



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

Anderson Pace

Análise espacial e conceitual de diferentes produtos cartográficos aplicados ao mapeamento de inundação

Florianópolis-SC  
2022

Anderson Pace

Análise espacial de diferentes produtos cartográficos aplicados ao mapeamento de  
inundação

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação  
em Geografia da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do título de Mestre em  
Geografia  
Orientador: Prof. Roberto Fabris Goerl, Dr.

Florianópolis – SC  
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pace , Anderson

Análise espacial de diferentes produtos cartográficos aplicados ao mapeamento de inundação / Anderson Pace ; orientador, Roberto Fabris Goerl , 2022.

119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Desastres. 3. Inundação. 4. Gestão Territorial. I. , Roberto Fabris Goerl. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

Anderson Pace

Análise temporal de diferentes produtos cartográficos aplicados ao mapeamento de inundação

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Gean Paulo Michel, Dr.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jairo Valdati, Dr.  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Geografia.

---

Profa. Dra. Rosemy da Silva Nascimento  
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia

---

Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl  
Orientador

Florianópolis - SC, 2022.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl, pela orientação espetacular neste trabalho, sempre muito compreensivo e paciente, com quem acabei aprendendo muito.

À Profa. Dra. Janete Josina abreu por ter apresentado com maestria as disciplinas de gestão de riscos e desastres.

Ao Prof. Dr. Harrysson Luiz da Silva por ter no passado todo seu conhecimento de uma forma mais agradável.

À Profa. Dra. Daniela Onça, por fazer eu refleti de forma precisa a nossa influência e contribuições para o avanço da geografia.

Ao Prof. Dr. Rafael Augusto Dos Reis Higashi pelas excelentes trocas durante a disciplina de processos geológicos e geomorfológicos, fazendo com que meu conhecimento se estendesse.

Ao Prof. Dr. Ruan Antonio Altamirano Flores pelas belas contribuições durante as saídas de campo.

Ao Prof. Dr. Everton da Silva pelos bons incentivos no uso de novas geotecnologias.

Ao grupo de trabalho, especialmente aos amigos que fiz junto ao PPGDN, fica aqui meu grande abraço.

Aos demais colegas da turma do PPGEIO 2019.

Aos amigos da UDESC, por todos os incentivos para chegar até aqui.

À minha amiga Graziela Bini Maziero, pelos incentivos diários e troca de idéias importantes para o meu desenvolvimento.

À Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável, na pessoa do Secretário Jairo Luiz Sartoretto por toda ajuda e contribuição.

À todos os amigos da Secretaria Executiva do Meio Ambiente - SEMA, por toda contribuição e troca de conhecimento, em especial os amigos, Anderson Miguel Chaves de Cordeiro, Antônio Slosaski, Bruno Nunes, Bruno Henrique Beilfuss, Enaldo Ribeiro Santos, Gustavo Antônio Piazza, Helena Zanella, José Emídio Trilha, Pedro André Brolezzi, Jorge Rebollo Squera, Rodrigo Nascimento e Silva.

Ao meu amigo Gabriel Arthur Loeff, pela ajuda incondicional ao longo desses anos de pesquisa.

À Prefeitura Municipal de Rio do Sul, Brusque por ter cedido os mapas de inundação, e todas informações necessárias para o desenvolvimento da pesquisa. Esta ajuda fortaleceu minha metodologia.

À Defesa Civil de Itajaí, na pessoa do sr. Julcemar Martinho Ferreira por ter cedido as informações de cheias ocorridas no município. Sua ajuda foi imprescindível.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFSC por toda ajuda sempre que solicitei.

À CAPES pela bolsa disponibilizada durante um período da pesquisa.

Aos amigos que estiveram próximo no meu cotidiano do desenvolvimento deste trabalho.

*Este trabalho é dedicado à minha querida esposa Gabi, às minhas filhas Beatriz e Sophia e ao meu filho Luiz Gabriel.*

Águas que banham aldeias  
E matam a sede da população...

Gotas de água da chuva

Alegre arco-íris

Sobre a plantação

Gotas de água da chuva

Tão tristes, são lágrimas

Na inundação...

Águas que movem moinhos

São as mesmas águas

Que encharcam o chão

E sempre voltam humildes

Pro fundo da terra”

GUILHERME ARANTES (1981)



## RESUMO

A inundação em áreas urbanas é um problema histórico com o qual a sociedade atual vem sofrendo de forma intensa principalmente nos últimos 20 anos. Cidades sofrem processos de urbanização que tem como principal resultado o aumento das áreas de inundação, principalmente nos centros urbanos. Isso traz como consequências, modificações na rede de drenagem existente que geralmente acaba sobrecarregando o sistema de drenagem como um todo. Inundações são eventos naturais, porém seus efeitos são potencializados pela ação antrópica. Ao enfrentar a ocorrência desse evento, a sociedade deve utilizar de ferramentas sustentáveis, como a utilização de cartas de inundação, no sentido de diminuir perdas humanas e econômicas. Uma das medidas preventivas de planejamento, é o mapeamento das áreas suscetíveis à inundação em um determinado local, pois assim é possível estimar a população que será afetada, as perdas econômicas e as áreas mais vulneráveis. Na região sul do Brasil, por exemplo, devido a fatores históricos, populações fixaram-se nas áreas mais planas, especialmente na região do Vale do Itajaí, local de estudo deste trabalho. Por isso, os municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul possuem uma série de produtos relacionados à inundação, direcionadas a esse tipo de evento. No entanto, cada produto tem sua qualidade relacionada ao tipo de dado cartográfico. A motivação para este estudo surgiu da análise técnica sobre os produtos cartográficos existentes, no qual foi percebido que a maior parte deles tem como principal tema a ser melhorado, a prevenção de inundações, através da identificação das manchas de inundação conhecidas. O objetivo desse trabalho foi comparar a análise conceitual de desastres para inundação e a acurácia espacial dos dados cartográficos disponíveis para esta área de estudo. Os modelos comparados auxiliam na construção de um novo tipo de análise, o qual identifica os mapas com maior probabilidade de ocorrência a inundação. O resultado obtido é um banco de dados geográficos, no qual foi possível fazer uma análise comparativa entre eles e, posteriormente, gerar com o método da matriz de confusão a indicação das áreas como verdadeiro positivo, verdadeiro negativo, falso positivo e falso negativo, logo, com a aplicação da métrica de precisão e sensibilidade, identificar se os produtos elaborados de fato possuem informações dos locais reais que acontecem as inundações. Além do cruzamento e comparativo das manchas de suscetibilidade, também foi analisado as manchas da setorização de risco das áreas urbanas, como metodologia alternativa, utilizando dados reais de eventos críticos, coletados em agências de Defesa Civil. Como resultado, constatou-se que o produto 1 cartas de suscetibilidade, elaborado pela CPRM obteve uma melhor taxa de acerto, totalizando uma média de 92.46% e de erro em 7.53%. Para o produto 2 elaborado pela CPRM, setorização de risco, foi encontrado valor referente a taxa de acerto médio de 88.8% e de 11.2% de erro. Para o produto 3 do banco mundial, foi identificado uma taxa de acerto de 92.22% e 7.72% de erro. Já para o produto 4, elaborado pela Defesa Civil Estadual, obteve-se uma taxa de acerto médio de 92.04% e de erro 7.95%. O município de Itajaí é o município com as melhores compatibilidades de acerto entre as manchas comparadas, para os produtos analisados, isto se justifica por apresentar sua planície aluvionar interligada com o Rio Itajaí-açu, ocupando assim maior parte da planície costeira, e ainda, ter grande parte de sua mancha urbana nas áreas de planície, já os municípios de Brusque e

Rio do Sul, apesar de terem apresentado uma menor taxa de acerto entre os verdadeiros positivos, apresentaram as maiores taxas de verdadeiro negativo, isto ocorre por apresentarem vales mais encaixados em vários trechos de desníveis entre as partes interfluviais e o fundo do vale. Os valores demonstrados pela métrica aplicada sobre a precisão e sensibilidade indicaram que os resultados 1, 5, 7, 8 e 10 apresentaram os valores de sensibilidade acima dos valores de precisão, assim, caracterizando uma baixa taxa de precisão entre os cruzamentos. Já os resultados 2, 3, 4, 6 e 9 apresentaram os valores de precisão maiores que o de sensibilidade, indicando desta forma, um acerto maior para os produtos utilizados. O município de Itajaí apresentou para todos os produtos uma sensibilidade maior do que a precisão, com uma média de 0.80 de precisão e 0.87 para sensibilidade, indicando que os produtos elaborados pelas instituições superestimaram áreas não inundáveis.

**Palavras-chave:** Desastres. Inundação. Gestão Territorial

## ABSTRACT

Flooding in urban areas is a historical problem with which society has been suffering intensely, especially in the last 20 years. Cities undergo urbanization processes that have as main result the increase of flood areas, mainly in urban centers. This results in modifications to the existing drainage network, which generally ends up overloading the drainage system as a whole. Floods are natural events, but their effects are enhanced by human action. When facing the occurrence of this event, society must use sustainable tools, such as the use of flood charts, in order to reduce human and economic losses. One of the preventive planning measures is the mapping of areas susceptible to flooding in a given location, as this makes it possible to estimate the population that will be affected, the economic losses and the most vulnerable areas. In the southern region of Brazil, for example, due to historical factors, populations settled in the flatter areas, especially in the region of Vale do Itajaí, the study site of this work. Therefore, the municipalities of Brusque, Itajaí and Rio do Sul have a series of products related to flooding, aimed at this type of event. However, each product has its quality related to the type of cartographic data. The motivation for this study arose from the technical analysis of existing cartographic products, in which it was noticed that most of them have flood prevention as their main theme to be improved, through the identification of known flood spots. The objective of this work was to compare the conceptual analysis of disasters for flooding and the spatial accuracy of the cartographic data available for this study area. The compared models help in the construction of a new type of analysis, which identifies the maps with the highest probability of occurrence of the flood. The result obtained is a geographic database, in which it was possible to make a comparative analysis between them and, later, generate with the confusion matrix method the indication of the areas as true positive, true negative, false positive and false negative, then, with the application of precision and sensitivity metrics, to identify whether the manufactured products actually have information on the actual locations where floods occur. In addition to crossing and comparing the susceptibility patches, the patches of risk sectorization in urban areas were also analyzed, as an alternative methodology, using real data from critical events, collected from Civil Defense agencies. As a result, it was found that product 1 susceptibility charts, prepared by CPRM, had a better hit rate, totaling an average of 92.46% and an error of 7.53%. For product 2 elaborated by CPRM, risk sectorization, values were found referring to an average success rate of 88.8% and 11.2% of error. For product 3 of the world bank, a hit rate of 92.22% and 7.72% of error was identified. As for product 4, prepared by the State Civil Defense, an average success rate of 92.04% and an error rate of 7.95% was obtained. The municipality of Itajaí is the municipality with the best match compatibility between the compared spots, for the analyzed products, this is justified by presenting its alluvial plain interconnected with the Itajaí-açu River, thus occupying most of the coastal plain, and also, having a large part of its urban area in the plain areas, the municipalities of Brusque and Rio do Sul, despite having presented a lower rate of success among the true positives, presented the highest rates of true negatives, this occurs because they present valleys more embedded in various stretches of unevenness between the interfluvial parts and the bottom of the valley. The values demonstrated by the applied metric on precision and sensitivity indicated that results 1, 5, 7, 8 and 10 presented sensitivity values above precision

values, thus characterizing a low accuracy rate between crossings. Results 2, 3, 4, 6 and 9 presented precision values greater than sensitivity, thus indicating a greater accuracy for the products used. The municipality of Itajaí presented sensitivity greater than precision for all products, with an average of 0.80 for precision and 0.87 for sensitivity, indicating that the products elaborated by the institutions overestimated non-flooding areas.

Keywords: Disasters. Inundation. Territorial Management

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Municípios de Estudo.....	26
Figura 2 - Municípios com mapeamento de inundação.....	54
Figura 3 - Cotas de Cheias no município de Rio do Sul.....	56
Figura 4 - Cotas de Cheias no município de Brusque.....	57
Figura 5 - Cotas de Cheias no município de Itajaí.....	59
Figura 6 - Acertos e erros sobre a manchas de inundação.....	65
Figura 7 - Mancha de suscetibilidade dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul (P1). ....	76
Figura 8 - Declividade dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul. ....	77
Figura 9 - Mapeamento de risco para o município de Brusque elaborado pelo CPRM: (A) Mancha de perigo - (B) Grau de vulnerabilidade (P3). ....	78
Figura 10 - Mapa de setorização de risco a inundação.....	80
Figura 11 - Mancha de inundação dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul...	81
Figura 12 - Mancha de perigo a inundação do P4.....	83
Figura 13 - Perfil Topográfico a montante. ....	102
Figura 14 – Perfil Topográfico central. ....	103
Figura 15 – Perfil Topográfico a montante. ....	103

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Itajaí-SC. ....	29
Gráfico 2 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Brusque-SC. ....	31
Gráfico 3 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Rio do Sul-SC. ....	34
Gráfico 4 - Distribuição da matriz de confusão. A esquerda (Verdadeiro positivo) e a direita (Falso negativo). ....	93
Gráfico 5 - Distribuição da matriz de confusão. A esquerda (Verdadeiro negativo) e a direita (Falso positivo). ....	93
Gráfico 6 - Precisão e Sensibilidade da Suscetibilidade. ....	95
Gráfico 7 - Precisão e Eficiência do Risco. ....	96
Gráfico 8 – Perfil Topográfico a montante. ....	99
Gráfico 9 – Perfil Topográfico central. ....	99
Gráfico 10 – Perfil Topográfico a jusante. ....	100
Gráfico 11 – Perfil Topográfico a montante. ....	101
Gráfico 12 – Perfil Topográfico central. ....	101
Gráfico 13 – Perfil Topográfico a jusante. ....	101

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados espaciais de inundação. ....	41
Tabela 2 – Classificação binária das frequências sobre as manchas comparadas...	63

## **LISTA DE FLUXOGRAMAS**

Fluxograma 1 - Resumo metodológico utilizado.....	25
Fluxograma 2 - Etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações .....	36
Fluxograma 3 - Procedimentos utilizados para alcançar os resultados desejados. ..	61

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA Agência Nacional de Águas.

APP Áreas de Proteção Permanente.

ASI Agência Espacial Italiana.

AVADAN Avaliação de Danos

CEOPS Centro de Operações do Sistema de Monitoramento e Alerta da Bacia do Itajaí.

CEPED Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DFD Direção do Fluxo de Drenagem.

DSM Digital Surface Model.

DTM Digital Terrain Model

EPAGRI Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.

FURB Fundação Universidade Regional de Blumenau.

GNSS Global Navigation Satellite System.

HAND Height Above Nearest Drainage.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPA Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

LIDAR Light Detection and Ranging.

LDD Local Drainage Direction.

MDE Digital Elevation Model.

NASA National Aeronautics and Space Administration.



NGA National Geospatial-Intelligence Agency.

SAAPI Sistema Aerotransportado de Aquisição e Pós-processamento de Imagens Digitais.

SAE Serviço Aéreo Especializado.

SC Santa Catarina

SBPC Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência.

SGB Serviço Geológico do Brasil

SDE-SC Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina.

SEMA Secretaria Executiva de Meio Ambiente

S2iD Sistema Integrado de Informações sobre Desastres

SIG Sistema de Informação Geográfico.

SRTM Shuttle Radar Topography Mission.

UMINHO Universidade do Minho

UNB Universidade de Brasília

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
3.1 DESASTRES NATURAIS .....	6
3.1.1 Perigo .....	7
3.1.2 Evento Natural .....	8
3.1.3 Suscetibilidade .....	8
3.1.4 Vulnerabilidade .....	9
3.1.5 Risco .....	10
3.1.6 Síntese dos Conceitos de Perigo, Evento, Suscetibilidade, Vulnerabilidade e Risco. ....	12
3.2 INUNDAÇÕES .....	14
3.3 GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES .....	16
3.4 CARTOGRAFIA DE RISCO .....	20
3.4.1 Cartografia Geotécnica .....	21
3.4.2 Cartografia de Risco Aplicado à Inundação .....	22
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	25
4.1.1 Itajaí – Baixo Vale .....	26
4.1.1.1 - <i>Litologia</i> .....	27
4.1.1.2 <i>Geomorfologia e Solos</i> .....	28
4.1.1.3 <i>Clima</i> .....	28
4.1.2 Brusque – Médio Vale .....	29
4.1.2.1 <i>Litologia</i> .....	30
4.1.2.2 <i>Geomorfologia e Solos</i> .....	30
4.1.2.3 <i>Clima</i> .....	31
4.1.3 Rio Do Sul – Alto Vale .....	32
4.1.3.1 <i>Litologia</i> .....	32
4.1.3.3 <i>Clima</i> .....	33
4.2 DADOS CARTOGRÁFICOS .....	35
4.2.1 Cartas de Suscetibilidade (1:25.000 – 1:50.000) .....	35
4.2.2 Setorização de Risco (1:1.000 – 1:2.000) .....	37
4.2.3 Banco Mundial (1:10.000) .....	38

4.2.4 Defesa Civil Estadual (1:10.000).....	39
4.2.5 Cobertura dos produtos utilizados.....	40
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS.....	59
4.3.1 Análise conceitual dos produtos cartográficos:.....	59
4.3.2 Análise da acurácia espacial dos dados:.....	61
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
5.1 ANÁLISE CONCEITUAL.....	69
5.1.1 Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - P1.....	75
5.1.2 Setorização de Risco Geológica – P2.....	78
5.1.3 Gestão de risco para o aumento da resiliência – P3.....	80
5.1.4 Simulação de manchas de inundação – P4.....	82
5.2 ACURÁCIA ESPACIAL.....	84
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>104</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Secretaria da Estratégia Internacional para Redução de Desastres EIRD ONU (2015), desastre é uma interrupção no funcionamento de uma sociedade, de causas catastróficas, como, impactos materiais, econômicos e ambientais que influenciam a capacidade da comunidade ou sociedade afetada de enfrentamento à situação mediante o uso de seus próprios recursos.

Os desastres têm se tornado tema cada vez mais presentes no cotidiano das populações. Conforme (CEPD,2013) existe um aumento considerável não apenas na frequência e na intensidade, mas também nos impactos negativos gerados (CEPED, 2013).

Grande parte dos desastres podem ser geridos e prevenidos por ferramentas geotecnológicas. Porém, mesmo com os avanços tecnológicos, a sociedade ainda convive quase que anualmente com impactos destes eventos, devido a questões de gestão territorial. A gestão de riscos e desastres, no entanto, tem ganhado atenção pela população nos últimos anos tendo em vista o aumento da parcela da sociedade que vem sendo afetada por esta problemática.

Com relação aos desastres, eles podem ser de origens naturais (meteorológicos, climáticos, geológicos, geomorfológicos). Inundações e deslizamentos (movimentos de massa) são eventos comuns, sendo que, os impactos gerados são o desalojamento, perda de propriedade, e diminuição dos acessos a infraestrutura (CEPED, 2013). Na Região Sul do Brasil, mais especificamente no estado de Santa Catarina, a ocorrência de desastres naturais está cada vez mais frequente, sendo os eventos de inundações, os mais recorrentes e intensos.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014), estes eventos acabam afetando de modo mais severo determinados grupos populacionais e espaços geográficos mais vulneráveis.

Nas grandes áreas urbanas, a inundação é um processo natural que ocorre quando a capacidade de escoamento fluvial no canal principal é superada, encaminhando o fluxo de água para o leito maior (PINHEIRO, 2007), na planície de inundação, onde geralmente estão instaladas as comunidades.

De todo modo, a urbanização aumenta com o crescimento econômico, o perfil da renda se altera e o emprego se concentra mais nos serviços e na indústria do que na agricultura, onde, após eventos de inundação, este processo de desenvolvimento poderá vir a ser interrompido em função do impacto causado.

A ocupação destes ambientes por algumas comunidades é histórica, sendo uma das condições para que os seres humanos ocupassem e se estabelecessem em uma certa região, principalmente por estarem localizados pertos dos rios. Entre (1995 e 2014), os danos e prejuízos causados por estes desastres em Santa Catarina totalizaram R\$ 17,6 bilhões, sendo que em relação às inundações, estes valores representam aproximadamente 81% do total declarados, com perdas em infraestrutura pública e unidade habitacionais (CEPED, 2016). Ainda, de acordo com o levantamento realizado pelo Banco Mundial (2020), entre os anos de 1995 e 2019 os prejuízos em Santa Catarina totalizaram R\$762,3 milhões distribuídos em 73 ocorrências.

As Inundações em áreas urbanas, no entanto, além dos danos econômicos, afetam fatores sociais e ambientais (MOMO et al., 2016). O mapeamento das áreas suscetíveis à inundação constitui um elemento fundamental na definição de medidas não estruturais, como por exemplo, o planejamento do uso e da ocupação do solo, e os planos de defesa civil (FRANK; PINHEIRO, 2003).

O conhecimento das causas de inundações nos municípios é uma forma de planejar e mitigar riscos e desastres, que no Brasil está preconizado na Lei 12.608 de 10 de abril de 2012, da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012).

Nas últimas três décadas, diversos estudos desta temática foram realizados em Santa Catarina, principalmente nos municípios do Vale do Itajaí, por meio do mapeamento das superfícies de inundação (MICHEL et al., 2020, SPECKHANN et al., 2017; MOMO, 2015; NOBRE et al., 2015; CORDERO et al., 2013; CORDERO e BUTZKE, 2005; PINHEIRO et al., 1987). O Último trabalho com foco nesse contexto, elaborado na região do Alto Vale do Rio Itajaí, é o Relatório Técnico dos Desastres de dezembro de 2020, ocorrido nos municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul-SC. De acordo com GPDEN/IPH/UFRGS, 2021, este trabalho teve como objetivo principal foi de fornecer uma resposta a sociedade, com o diagnóstico dos

fenômenos ocorridos, fornecendo desta forma, produtos para auxiliar na prevenção de eventos extremos similares e também em casos de recorrência.

Diversas iniciativas como reflorestamento de encostas, barramentos, drenagem e retificação de rios têm sido realizadas com vistas a minimizar efeitos das inundações. Entretanto, o crescimento desordenado e indiscriminado das áreas urbanas, do uso do solo e das ações antrópicas só agravam este problema (LEITE, 2003).

Para que se possa ter o entendimento de um cenário mais próximo da realidade das áreas de inundação é preciso avaliar os aspectos físicos e naturais, bem como a dinâmica superficial dos canais, principalmente os canais de ordem superior, como o leito principal dos rios, os quais representam a ligação entre os processos atuantes na vertente e os processos fluviais (MONTGOMERY, 1991; DIETRICH e DUNE, 1993).

Os estudos frequentemente empregados para a identificação das superfícies de inundação, consiste no levantamento e na localização das áreas atingidas pela inundação. Estas informações estão associadas diretamente aos dados históricos, coletados em cada município e junto a órgãos oficiais como a Defesa Civil Estadual e transformados em cartas e mapas.

Para a geração destes produtos, em sua maioria, têm-se focado principalmente em dados cartográficos de média e alta resolução espacial, como os dados elaborados pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável – SDS/2012. O estado de Santa Catarina, conta com um levantamento aerofotogramétrico com modelo digital de terreno com resolução espacial de 1(m) metro, essencial para gerar produtos de qualidade, com uma precisão adequada sobre a temática.

Este trabalho tem como objetivo comparar sob a ótica conceitual e espacial os mapas de inundação existentes em Santa Catarina para os municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul, e o mapeamento de áreas susceptíveis a inundação, além de oferecer um debate mais consistente para avaliar as áreas críticas e perigosas a ocorrências de inundações.

Este trabalho se justifica pelo fato de que os municípios analisados possuem um histórico recorrente de ocorrências de desastres de inundação com diversos

dados históricos registrados, e ainda informações de base cartográficas consolidadas pelas instituições oficiais. Esta avaliação é uma proposta para minimizar os impactos aos danos de prejuízos relacionados as inundações, que representam cerca de 81% do total repassados pelos municípios no estado.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a acurácia e integração conceitual de dados espaciais dos mapas de inundação existentes para os municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul, e validar com o uso dos dados de inundações oficiais dos eventos registrados pelas Prefeituras Municipais.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar o conceito acerca dos produtos consolidados das manchas de inundação para os municípios da área de estudo;
- Analisar as metodologias e escalas utilizadas na construção da base cartográfica das manchas de inundação para cada produto gerado área de estudo;
- Avaliar a acurácia espacial dos produtos cartográficos comparados;
- Discutir as características topográficas e geomorfológicas para os municípios da área de estudo, a partir dos resultados da acurácia espacial;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste estudo caracterizou os principais conceitos relacionados a gestão de riscos e desastres, com foco específico na geração de dados para a redução de impactos causados por inundações. Serão apresentados conceitos através de levantamentos bibliográficos sobre diversos temas: Desastres Naturais, Perigo, Evento, Suscetibilidade, Vulnerabilidade, Risco, Inundação, Redução de Riscos, Gestão de Riscos e Desastres e sua integração com a Geografia, Cartografia Geotécnica, Cartografia de Risco aplicada ao mapeamento das inundações.

O estado de Santa Catarina (SC) conta atualmente com alguns tipos de mapeamentos com diferentes objetivos e escalas. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), visando atender o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais elaborou as Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação para municípios prioritários de 23 estados do Brasil (CPRM, 2014).

As Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, foram elaboradas entre 2012 e 2016, a nível Estadual, para 98 municípios de SC, na escala geral de mapeamento de 1:25.000, podendo ser diferenciada para atender a escalas menores. Outro produto elaborado pela CPRM são as cartas de perigo, consolidadas para 5 municípios em SC, com o objetivo de identificar as probabilidades de ocorrer um determinado risco geológico a movimentos de massas.

A CPRM elaborou ainda as Cartas de Setorização de Risco, dando continuidade no mapeamento das áreas de risco geológico, atendendo os 295 municípios em Santa Catarina, na escala de 1:1.000 e 1:2.000.

O Banco Mundial, com o auxílio da empresa Inglesa Ambiental Technical, em 2016, elaborou o documento “Santa Catarina: A Gestão de Riscos de Desastres no Contexto do Planejamento Estratégico para o aumento da Resiliência a Perigos Naturais”, produzindo assim para os 295 municípios o mapeamento das inundações em escala de 1:25.000, calculando também o tempo de recorrência do evento para cada município.



A Defesa Civil de SC elaborou as “Cartas de Inundação e Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos” realizado em 2019 para 35 municípios catarinenses, em escala de 1:10.000.

### 3.1 DESASTRES NATURAIS

Os desastres naturais podem ser conceituados, de forma simplificada, como o resultado de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando danos e prejuízos que excede a capacidade dos afetados em conviver com o impacto (TOBIN e MONTZ, 1997; UNDP, 2004). O conhecimento dos fenômenos extremos e dos desastres naturais é fundamental para a efetividade de uma política de redução de desastres naturais.

Os desastres são distinguidos geralmente em função de sua origem. De acordo com as normativas da Política Nacional de Defesa Civil, existem três tipos de desastres: naturais, humanos e mistos (CASTRO, 1998). Nessa abordagem, a diferença está basicamente no nível de intervenção humana sobre o impacto ao sistema natural. Entretanto, se considerarmos somente este critério, a grande maioria dos desastres conhecidos como naturais, seriam de fato desastres mistos.

As atividades humanas vêm há algum tempo provocando alterações e impactos no meio ambiente. Por exemplo, a ocupação desordenada das áreas próximas dos rios cria um cenário de calamidade pública em períodos de cheias marcadas por um quadro de pessoas desabrigadas, acúmulo de lixo e proliferação de doenças (CRISTO, 2002).

O foco de análise sobre inundações não deveria estar no processo e sim no fenômeno desencadeador que dispara este tipo de desastre. No caso das inundações, se for desencadeada pela chuva, pelo avanço do mar ou a junção dessas (como as inundações costeiras), trata-se de um desastre natural, independente da vulnerabilidade da área afetada. Dentre a classificação dos desastres naturais, as inundações estão relacionadas diretamente aos desastres hidrológicos, ou seja, a influência da dinâmica fluvial sobre os fenômenos atuantes.

A ocorrência e a intensidade dos desastres vêm aumentando ao longo dos anos, em função de um planejamento não adequado devido a utilização das bacias hidrográficas e seus recursos naturais pela sociedade, principalmente pelo

desmatamento e crescimento desordenado. A ocupação de áreas suscetíveis a desastres naturais, é considerada um fator determinante para o aumento da vulnerabilidade das áreas atingidas por inundações. As áreas próximas às margens de rios, de acordo com a legislação, deveriam distanciar entre 10 e 500 metros, as chamadas Áreas de Preservação Permanente – APP's (Código Florestal 12.651/2012), que tem função de manutenção do meio natural, minimizando as inundações.

Desta forma, para que se tenha a compreensão dos principais desastres naturais, é necessário que se conheça os conceitos relacionados.

### 3.1.1 Perigo

O termo perigo é um dos termos menos compreendidos. Provavelmente, isto ocorre porque ele tem duas conotações distintas em inglês: danger e hazard. Danger refere-se a um fenômeno natural, de natureza variada, ou a um processo tecnológico, potencialmente danoso em si mesmo (RODRIGUES CARVALHO, 1998; ONU, 2004). Já hazard refere-se à possibilidade de um processo ou fenômeno natural potencialmente danoso ocorrer em um determinado local e em um período especificado. Para BATEIRA (2006), um hazard não é mais do que uma ameaça potencial.

Esta ameaça poderá ser de importância diversa ajustado o tipo de consequências que acarreta, quer seja para o homem ou para o meio ambiente. Dessa forma, a magnitude e a intensidade das ocorrências que influem direta ou indiretamente na vida humana é informação essencial para a definição e medidas através da intensidade e frequência.

Segundo Castro (2003, p. 85), perigo “[...] implica a existência do homem, que estima o que é, e o que não é um dano”, visto que nem sempre os fenômenos naturais causam prejuízos às comunidades, podendo, então, ser considerado apenas como um evento, ou seja, depende da relação de perigo.

Nesse sentido, Castro (2003, p. 87), expõe a definição adotada pelas Nações Unidas, a qual aponta que o perigo natural “é a probabilidade de ocorrência, em um determinado período, em uma determinada área, de um fenômeno natural potencialmente danoso”. Assim, pode-se entender basicamente que perigo consiste

em uma situação potencial para provocar danos, sendo que, quando é representado pela ocorrência de um fenômeno da natureza (meio físico), por exemplo, inundações, pode-se denominar perigo natural. Quando o perigo se materializa, o impacto gerado altera a normalidade do cotidiano populacional, acarreta em acidente, desastre ou catástrofe. Esses termos são referenciados segundo a intensidade com que as perdas, danos e prejuízos ocorrem.

### 3.1.2 Evento Natural

O evento é a concretização de uma situação perigosa ou não, é reflexo de um instante, uma parte do fluxo da matéria e energia, ou seja, é a união de uma matriz espaço-tempo. O evento pode ser caracterizado de forma natural ou antrópica. Quando as consequências negativas de um evento forem mínimas ou nulas, será considerado natural. No entanto, quando o evento ocorre e vira desastre, tem consequências graves, ele torna-se adverso e está condicionado a diversos fatores, entre eles a suscetibilidade, ameaça, vulnerabilidade e resiliência (SECRETARIA DE DEFESA CIVIL DE SC, 2017). Evento natural se diferencia de perigo natural, pois quando ocorre alguma anormalidade no ambiente, tem como consequência o resultado do impacto de um fenômeno natural extremo ou intenso sobre um sistema social, causando sérios danos e prejuízos que excedam a capacidade dos afetados em conviver com o impacto.

### 3.1.3 Suscetibilidade

A suscetibilidade está relacionada com as condições do meio ambiente frente a uma ameaça ou perigo. Ela indica condições de uma determinada área em relação à pré-disposição de um fenômeno e representar perigo de ocupação. A suscetibilidade pode ser separada segundo classes de probabilidade (IPT, 2007). É um cálculo de compatibilidade entre atributos, componentes ou condicionantes que fornecem a possibilidade do surgimento de eventos e ocorrências. O primeiro é dinâmico e modifica-se no tempo e espaço, e o segundo é estático e altera-se pelo produto do tempo geológico e clima.

O termo susceptibilidade também pode ter várias interpretações, Cerri e Amaral (1998), por exemplo consideram a suscetibilidade de uma área a ocorrência

de um determinado fenômeno geológico ou hidrológico relacionado com a possibilidade de ocorrência de consequências socioeconômicas que áreas suscetíveis apresentam. Por outro lado, Saito (2004) define suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente, seja por condições naturais ou antrópicas, para a ocorrência de evento perigoso. Esta última definição é a considerada a mais adequada e será utilizada nesta pesquisa.

#### 3.1.4 Vulnerabilidade

Vulnerabilidade, segundo Brasil (2007, p. 28), é definido como “[...] o grau de perda de um dado elemento, grupo ou comunidade dentro de uma determinada área passível de ser afetada por um fenômeno ou processo”. De acordo com a Instrução Normativa n. 02 (BRASIL, 2016), a vulnerabilidade está associada à exposição socioeconômica ou ambiental de um cenário sujeito à ameaça do impacto de um evento adverso natural, tecnológico ou de origem antrópica. Para Silva (2012, p. 47) vulnerabilidade é “[...] o grau de resistência de um sistema socioeconômico em relação ao impacto dos perigos naturais e desastres tecnológicos ou ambientais”, sendo ela determinada pelo grau de percepção e consciência do perigo à vulnerabilidade pela população, por sua condição de vida, pela infraestrutura e pelas políticas públicas relacionadas à gestão de desastres.

Já, segundo a estratégia Internacional das Nações Unidas para a redução dos desastres (UNISDR, 2009), este evento provoca graves perturbações do funcionamento de uma comunidade, perda de vidas, bens materiais, econômicos, e ambientais, sendo que muitas vezes a capacidade da sociedade, em ter algum suporte como resposta à estes eventos, são excedidas.

Um desastre também pode ser visto como uma ligação de um evento natural em um receptor vulnerável, que neste caso, pode ser comparável à população residente nestas áreas (SOBRAL, 2010).

Para muitos autores, a vulnerabilidade também está relacionada com as condições de recuperação e/ou resposta aos desastres de uma população atingida. Palacios et al. (2005) conceituam vulnerabilidade ao conjunto de condições e características, que envolve aspectos físicos, econômicos, políticos, sociais, ambientais, para que uma sociedade esteja mais ou menos exposta a um desastre.

De maneira geral, percebe-se uma concordância pela maior parte dos autores em relação aos conceitos de vulnerabilidade. Para se trabalhar com vulnerabilidade em uma comunidade, por exemplo, devem-se levar em consideração as condições humanas, ou seja, como vivem estas pessoas nestes locais, visto que, são elas que mais influenciam na severidade de um desastre. Dessa forma, pode-se dizer que vulnerabilidade está ligada à condição humana e sua capacidade de enfrentar um evento de vulnerabilidade, levando a uma medida de risco.

### 3.1.5 Risco

Conceitualmente, estudos sobre análises de riscos têm sido amplamente discutidos por diversos autores, podendo citar Varnes (1984), que expressa o Risco Específico definido pelo produto da probabilidade pela vulnerabilidade para um dado risco; Tominaga (2007) que define o risco como a possibilidade de se ter consequências prejudiciais ou danosas em função de perigos naturais ou induzidos; e Montoya (2013), que indica a probabilidade de ocorrência de um dano a uma população (pessoas ou bens materiais). Conforme UNDP (2004) o risco é a probabilidade de ocorrer consequências danosas ou perdas (mortos, feridos, edificações destruídas e danificadas, etc.), como resultado de interações entre um perigo natural e as condições de vulnerabilidade local.

Brasil (1995), através da Resolução n. 02 de 12/12/94 que trata de Política Nacional de Defesa Civil e Brasil (1999), Resolução n. 03 de 02/07/99, que versa sobre o Manual para Decretação de Situação de Emergência ou de Estado de Calamidade Pública, definem o risco como um acontecimento futuro, e ainda como a medida de danos ou prejuízos, expressa em termos de probabilidade.

De forma geral, o risco indica se um determinado evento, seja ele de origem natural ou humana, com intensidade específica, poderá acontecer, levando em consideração a vulnerabilidade de uma comunidade. Quanto maior a probabilidade de o evento ocorrer com grande intensidade, e quanto mais significativos os danos e prejuízos previsíveis, maior será o risco (SECRETARIA DE DEFESA CIVIL DE SC, 2017).

Risco é também compreendido como a relação entre a possibilidade de ocorrência de um processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências

sociais e/ou econômicas sobre um elemento, grupo ou comunidade (GEORIO, 2000). Quanto maior a vulnerabilidade, maior tende a ser o risco, assim quanto maior a intensidade e a frequência de determinado fenômeno ou processo perigoso maior tende a ser o risco.

Segundo Farah (2003), no Brasil, há uma carência de dados confiáveis no que diz respeito ao tipo de risco. Quando se trata de risco, deve-se considerar a probabilidade à ocorrência de fenômenos e à vulnerabilidade (fragilidade social, densidade demográfica, infraestrutura, conhecimento e percepção do risco, situação econômica, etc.) do sistema que está sob análise.

O conceito de risco envolve basicamente duas variáveis, a probabilidade e a vulnerabilidade e pode ser escrito por fórmulas matemáticas, que levam os parâmetros a serem considerados. De acordo com o Manual Técnico de Encostas produzido pela Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, o risco envolve a probabilidade de ocorrência do fenômeno perigoso e as consequências potenciais sociais e econômicas provocadas por ele (GEORIO, 2000), sintetizados pela seguinte equação:

$$R = P * C$$

Onde:

R - Risco

P - Possibilidade de ocorrência do fenômeno perigoso

C - Consequências/danos

De forma similar, o risco pode ser definido como a chance de ocorrência de um fenômeno perigoso que pode causar perdas e danos, e está diretamente relacionado com a vulnerabilidade desses elementos (BRASIL, 2007), ou seja, quanto maior a vulnerabilidade identificada, maior o risco presente.

$$R = P(fA) * C(fV) * g$$

Onde:

R - Risco

P (fA) - Probabilidade de ocorrência em função da ameaça ou perigo

C (fV) - Consequência ou danos em função da vulnerabilidade

g - Gestão de perigo e risco

Esta equação define os componentes utilizados na quantificação dos graus de riscos, estabelecidos em concomitância com a metodologia nacional do Ministério

das Cidades (BRASIL, 2007), relacionando a vulnerabilidade e a probabilidade de ocorrência.

### 3.1.6 Síntese dos Conceitos de Perigo, Evento, Suscetibilidade, Vulnerabilidade e Risco.

Buscando sintetizar os conceitos apresenta-se a tabela 1, elaborada por Bressani et al. (2016), com os principais autores e a sua definição em linhas gerais de cada conceito. Percebe-se que ocorre um consenso por parte dos autores pesquisados em relação aos conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade, sendo a primeira considerada como uma propensão do terreno à ocorrência de um determinado fenômeno e/ou processo físico, e a segunda como o potencial de perda da sociedade enfrentar o desastre.

Outro consenso verificado é em relação ao conceito de perigo, no entanto, autores citam dois termos: ameaça, considerada sinônimo do vocábulo de perigo, bem como a perigosidade, Bateira (2006).

O risco é utilizado a partir de duas abordagens, uma que o considera como probabilidade, que pode ser calculado e estimado, e que representa a maioria das referências citadas, outra que considera que o risco não pode ser quantificado, que ele deve ser analisado de forma empírica.

Tabela 1 - Conceitos de perigo, suscetibilidade, vulnerabilidade e risco

	<b>Conceito:</b>	<b>Fontes:</b>	<b>Descrição:</b>
<b>Suscetibilidade</b>	Suscetibilidade é a propensão do terreno à ocorrência de fenômeno e/ou processo físico	Saito, 2004; Kobiyama, 2006; IPT, 2007; Fell et al, 2005. Julião et al., 2009; Galderisi et al. 2010; Reckziegel, 2012; Silva, 2015; Spink, 2014.	Os autores consideram suscetibilidade como a propensão maior ou menor de ocorrência de um fenômeno, com base apenas nas características físicas.
	Vulnerabilidade é a capacidade da sociedade de enfrentar e/ou suportar um evento	Saito, 2004; Kobiyama, 2006; IPT, 2007; Fell et al., Julião et al., 2009; Galderisi et al. 2010; Reckziegel, 2012; Silva, 2015; Spink, 2014.	Alguns autores abordam vulnerabilidade considerando as características socioeconômicas. Alguns também trazem o conceito de resiliência, que consiste na capacidade da sociedade de suportar efeitos adversos.
<b>Perigo</b>	Perigo é uma situação potencial para provocar danos	Smith, 1992; Ojeda, 1997; Bateira, 2006; Kobiyama, 2006; Fell et al., 2008; Julião et al., 2009; Hermelin, 2007; Cardona et al., 2010.	Autores utilizam o termo ameaça e perigosidade, como sinônimos de perigo, consistindo numa potencialidade, e não probabilidade como é classificado o risco. O perigo não pode ser estimado.
	Ameaça é uma situação potencial para provocar danos	Campos, 1999; Lavell, 1999; Cardona, 2001.	Utilizam o conceito de ameaça ao invés de perigo, considerados por alguns autores como sinônimos (Campos, 1999; UM/ISDR, 2009; Monteiro & Pinheiro, 2012).
<b>Risco</b>	Risco é a probabilidade de ocorrência de evento danoso a partir da relação entre Suscetibilidade e Perigo.	Cerri e Amaral, 1998; Aneas de Castro, 2000; Nogueira, 2002; Castro, 2003; Bateira, 2006; Carvalho e Galvão, 2006; Kobiyama, 2006; Carvalho, Macedo e Ogura, 2007; Fell et al., 2008; JTC-1, 2008; Julião et al., 2009.	Consideram risco uma probabilidade que pode ser estimada e calculada. Os termos mais utilizados para a formatação do conceito são suscetibilidade e perigo.
	Risco é caracterizado pela interação entre ameaça e vulnerabilidade.	Campos, 1999; Lavell, 1999; Cardona, 2001.	Utilizam o conceito de ameaça para trabalhar com o risco, visto que alguns autores consideram ameaça como sinônimo de perigo (Campos, 1999; UM/ISDR, 2009; Monteiro & Pinheiro, 2012).
		Otway, 1992; Duclos, 2002; Lagadec e Guilhou, 2004; Granjo, 2004.	Consideram risco associado a ameaça e vulnerabilidade, no entanto não consideram risco uma probabilidade, e não pode ser estimado.

Fonte: Bressani et al. (2016)

Segundo Fontes (2011), para uma devida ocupação, impõe-se o conhecimento das condições geotécnicas locais, caracterizando processos e parâmetros e sistematizando informações sobre a suscetibilidade do meio. Estas



informações são importantes para o ordenamento da ocupação do território, evitando as áreas suscetíveis aos perigos, fornecendo a elas usos alternativos. No entanto, quando áreas já estão ocupadas, surge um novo elemento a ser considerado, a vulnerabilidade, que expressa perdas materiais e socioambientais envolvidas no processo. O conjunto das informações do perigo associado à vulnerabilidade dimensionam o risco. Torna-se, portanto, necessário promover sistemáticas capazes de minimizar e/ou resolver os problemas instalados, bem como ordenar futuras expansões, por meio da realização de estudos que caracterizem o meio físico natural, de forma a subsidiar o planejamento e o gerenciamento do uso e ocupação do solo.

Dessa forma, o mapa das áreas suscetíveis a inundação é um importante instrumento para o planejamento municipal, na medida em que permite a hierarquização dos problemas e a avaliação de custos de investimentos e dão suporte técnico às negociações com os ocupantes destas áreas.

Uma vez identificado os perigos e os riscos, é possível fazer uma análise geral do ambiente, podendo ser pontual ou referente a uma área maior, caracterizada então como uma área de perigo e risco. Para que a ocupação das áreas de planície e outros ambientes naturais não se transformem em áreas de riscos, esta deve ser realizada dentro de moldes técnicos adequados e de planejamento territorial. Nesse sentido, a efetiva intervenção do poder público, com objetivo de orientar a ocupação ordenada das áreas suscetíveis que sofrem com inundações, por exemplo, deve ser primordial procurando contribuir com a segurança e a preservação do meio ambiente urbano.

### 3.2 INUNDAÇÕES

Segundo Rossini (2001) os problemas ambientais urbanos são uma reação ao uso do solo, isto é, da ocupação inadequada do meio físico. Carvalho (2003), afirma ainda que, as ocupações em áreas suscetíveis à inundação, juntamente com a intensificação do uso da terra, agravaram os problemas de gestão das águas nas cidades: as águas não invadem as cidades, elas é que foram invadidas por essas.

De acordo com Tucci, 2008, os sistemas urbanos são primordialmente áreas de consumo e moradia. Possuem diferentes dimensões ou integração de várias

áreas como Regiões Metropolitanas. Em 1900, 13% da população mundial eram urbanas, atualmente chegam a 50%, ocupando apenas 2,8% do território do globo. O Brasil e o mundo estão se tornando cada vez mais urbano em razão do desenvolvimento econômico, gerando pressão sobre o ambiente ocupado pela urbanização.

Em relação ao conceito de inundação proposto por Kobiyama et al., (2006) destaca que:

A inundação, popularmente tratada como enchente é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele. Estas áreas planas próximas aos rios sobre as quais as águas extravasam são chamadas de planícies de inundação (KOBİYAMA et al., 2006, p.45).

Nesse sentido, os resultados notáveis desse desequilíbrio na drenagem são as inundações, que geram sazonalidade fluvial nas cidades. Isso demonstra a fragilidade do sistema hidrológico, no qual pequenas mudanças podem acarretar grandes alterações em seu funcionamento, com grandes impactos na qualidade de vida (BRAGA, 2003). Por isso, cabe destacar que o conceito de inundações está relacionado com fenômenos naturais provocados por chuvas intensas, podendo, por sua vez, gerar danos econômicos, sociais e ambientais.

De toda forma, a impermeabilização de superfícies na bacia hidrográfica aumenta a frequência e a magnitude das inundações, e também são dependentes da bacia hidrográfica em si, podendo ser bruscas ou graduais. Com a impermeabilização, parte da água que anteriormente infiltrava no solo, escoava por condutos de material impermeável, que aumenta o volume e a velocidade de escoamento superficial, exigindo uma maior capacidade das calhas dos rios. De acordo com Tucci (1995), os principais efeitos nas áreas que sofrem com as inundações são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

A precipitação pode escoar superficialmente ou infiltrar no solo, um solo coberto com vegetação possui a capacidade de melhor infiltração, diminuindo a quantidade de água no escoamento superficial, e conseqüentemente, menor a incidência de inundações (VON SPERLING, 2014).

Áreas que não apresentam vegetação morta ou viva em sua cobertura, como no caso da maioria das cidades, a ocorrência da detenção superficial é praticamente nula, resultando em que o volume precipitado é igual ao volume de escoamento, dando início à enxurrada nas áreas de maiores elevações, e com isso, contribuindo para inundações.

De acordo com BRASIL, (2007), as inundações se caracterizam pelo extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, atingindo uma cota acima do nível máximo da calha principal do rio, com a ocupação da planície de inundação ou área de várzea. Segundo Tominaga et al. (2009) a possibilidade de ocorrência de inundação é analisada tomando como parâmetro a combinação de condicionantes naturais e antrópicas. Entre os condicionantes são: as formas de relevo, características da rede de drenagem, características do solo e teor de umidade, a presença ou não da cobertura vegetal, urbanização e desmatamento afetam na qualidade das inundações.

Estas inundações podem ocorrer de diversos tipos, como: costeiras, graduais e bruscas. As costeiras têm como característica o próprio nome, de zonas costeiras. As graduais ocorrem progressivamente, com a elevação do nível das águas; e as bruscas, são as que ocorrem repentinamente (GOERL; KOBIYAMA, 2005).

### 3.3 GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES

De acordo com o Ministério da Integração (BRASIL, 2017), a gestão de riscos de desastres compreende o planejamento, a coordenação e a execução de ações e medidas preventivas destinadas a reduzir os riscos de desastres e evitar a instalação de novos riscos. É compreendida por Almeida e Pascoalino (2009) como uma prática antiga, executada desde a origem do homem na Terra, onde as pessoas ou os grupos analisavam ou mudavam o ambiente em busca de adaptá-lo às suas necessidades, estabelecendo, assim, um caráter autóctone.

Alguns fatores específicos da formação geológica de Santa Catarina podem contribuir para a ocorrência de desastres naturais, e como consequência se configuram em um arranjo perigoso, como a ocorrência de processos geomecânicos e hidrológicos, que aumentam a vulnerabilidade e, além disso, a atuação de

sistemas atmosféricos distintos geradores de pluviosidades intensas e concentradas (BRASIL, 2012).

Esta perspectiva de gestão de riscos é trabalhada nos países desenvolvidos, enquanto que, nas nações em desenvolvimento, onde as realidades políticas, socioeconômicas e culturais não contribuem para uma gestão de riscos com a maturidade observada nas desenvolvidas, uma possibilidade seria o desenvolvimento de aspectos educacionais, baseados em áreas vulneráveis integrando com planejamento territorial e a capacidade de suporte do solo.

O tema da gestão de riscos não é prioridade na agenda governamental (ALMEIDA e PASCOALINO, 2009), demonstrando falta de prioridade no tema em questão. No Brasil, o tripé da gestão de riscos – proteção, previsão e prevenção – tem sido alvo de preocupações, uma vez que essa gestão tem concentrado suas ações e medidas nos desastres quando estes já têm ocorrido (ALMEIDA e PASCOALINO, 2009), caracterizando uma cultura reativa e não preventiva.

No Brasil, somente a partir da Constituição Federal de 1988, o Estado, pela primeira vez, assume como prerrogativa da União: planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, em especial secas e inundações, bem como legislar sobre a defesa civil (DULAC e KOBİYAMA, 2017).

Os instrumentos da gestão de riscos são implementados especialmente com o reconhecimento da gestão ambiental, redução da pobreza e ferramentas de gestão financeira (EIRD/ONU, 2004).

Conforme Dulac e Kobiyama (2017), os planos e estudos setoriais para o desenvolvimento de objetivos comuns, mostram a necessidade de um nível mais elevado de compartilhamento das agendas dos órgãos responsáveis para implementação destes planos no contexto da intersetorialidade em todas as esferas. Ou seja, geralmente os planos não dialogam entre si, são elaborados de maneira separadas, não havendo conexões entre eles (exemplo planos de saneamento, planos diretores, planos de resíduos sólidos, planos de recursos hídricos e planos da Defesa Civil), o que dificulta a gestão e prevenção de riscos, pois as análises não são integradas e sistêmicas.

O Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (PNGRRDN), (BRASIL, 2012), apresenta alguns direcionamentos importantes e

objetivos integralizados no que diz respeito aos encaminhamentos frente aos desastres:

- Mapeamento, focado na produção de mapas de suscetibilidade, mapas de setorização de riscos, mapas de risco e cartas geotécnicas de aptidão à urbanização;
- Monitoramento e Alerta, que visa estruturar a rede nacional;
- Prevenção, voltados a execução de obras, que foram incorporadas ao Programa de Aceleração do Crescimento e configuram a carteira PAC Prevenção. Assim como as outras carteiras PAC, as obras de prevenção são monitoradas por meio das salas de situação promovidas pela Secretaria do PAC (SEPAC);
- Resposta, voltado ao socorro, assistência e reconstrução.

Observa-se uma evolução para uma abordagem mais integrada dos eixos que consideram fundamental o conhecimento de riscos, bem como as ações prospectivas e corretivas para redução desses, e a preparação para o manejo dos desastres, mesmo que de maneira tímida, nos últimos anos no Brasil (DULAC e KOBAYAMA, 2017). Isso porque está ocorrendo a incorporação da temática de gestão de riscos de desastres (GRD) às agendas do planejamento urbano e da gestão pública, pois introduz, pela primeira vez, a gestão de riscos de desastres ao orçamento da União.

Para desenvolver um adequado processo de gestão de riscos é necessário contar com capacidades locais de gerenciamento e resgatar com isto as experiências passadas. Assim, “é necessário avançar as pesquisas na área de gestão de riscos de desastres hidrológicos a partir do estudo das interfaces entre as Política de Recursos Hídricos, Proteção e Defesa Civil e Saneamento”, (DULAC e KOBAYAMA, 2017, p. 3).

A gestão local de riscos de desastre está relacionada ao processo de redução de riscos com foco nas comunidades. O local não se restringe aos limites do município, tendo a gestão de risco que se articular em outros níveis territoriais e sociais. O local é, muitas vezes, o depositário do risco, mas não, necessariamente, seu único produtor. Por vezes, o risco que se apresenta em uma comunidade está

relacionado a processos que ocorrem em outra localidade. Logo, o processo de gestão dimensiona os riscos objetivos, considera os riscos subjetivos e diferencia os diversos fatores que, inter-relacionados, os produzem. Uma gestão eficiente, depende ainda de decisões políticas intersetoriais, nos diferentes níveis de abrangência.

De acordo com Tominaga (2009), Santoro e Amaral (2011), para efetiva prevenção dos fenômenos naturais é necessário o respeito das leis da natureza, isto é, fenômenos naturais devem ser conhecidos. Os desastres naturais podem ser gerados por diversos fenômenos, são eles: inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furações, tempestades, estiagem, dentre outros. Contudo, a falta de gestão de riscos pode levar a situações de desastres naturais que acabam precisando de atendimentos emergenciais e uma reconstrução efetiva das áreas afetadas.

Muitos países não conseguem recursos para ações de prevenção e planejamento de suas áreas de risco porque estão sempre lidando com as atividades de emergência e reconstrução após os desastres frequentes. Por isso, a Gestão dos Riscos de Desastres (GRD) “possui característica intersetorial, uma vez que em seu contexto emergem aspectos relacionados tanto ao ambiente natural como à ocupação humana”, (DULAC e KOBIYAMA, 2017, p. 7).

Para a redução dos desastres, primeiramente deve-se procurar conhecer os riscos naturais, induzidos pelo homem ou pelo efeito tecnológico que ao ocorrerem provocam eventos que possam romper com a normalidade da situação de uma comunidade ou ecossistema, caracterizando-se então em um acidente ou desastre. As mudanças climáticas têm aumentado a frequência e severidade dos desastres causando danos em cidades em todo o mundo, principalmente pelos padrões de urbanização e desenvolvimento que contribuem para tipologias cada vez mais complexas de desastres (KAO; CHIU; TSAI, 2017).

Os fatores de vulnerabilidade social como a pobreza e a crescente ocupação populacional, ainda somados à intensificação da ação humana na sociedade industrial, à degradação acelerada do meio ambiente e o conseqüente aquecimento global fazem com os riscos e os impactos desses eventos sejam cada vez maiores (FREITAS et al; 2012).

A prevenção, gestão e redução de desastres cada dia mais tem se tornado um grande desafio para a maioria dos países, ficando evidente a necessidade de se reformular e aperfeiçoar a agenda regulatória, a qual visa a prevenção, gestão e redução dos desastres. A influência de eventos climáticos extremos fez com que diversos países em todo mundo focassem gradativamente nas diretrizes e ações de redução de desastres. Esta preocupação com os impactos dos desastres naturais ficou explícita através da criação do escritório das Nações Unidas de Assistência a Desastres - UNDRO, (DIALLO, 2014).

Isto revelou um reconhecimento internacional de que os esforços para reduzir os riscos de futuros desastres deveriam ser sistematicamente integrados nas políticas, planos e programas para o desenvolvimento sustentável e a redução da pobreza, e apoiada através da cooperação bilateral, regional e internacional, incluindo parcerias (UNISDR, 2015).

Desta forma, a gestão de riscos e desastres envolve diversos atores e desdobra-se em políticas, práticas e procedimentos para identificar, analisar, avaliar e monitorar os riscos e desastres. É um processo completo de avaliação e controle ou tratamento das informações, neste sentido torna-se um processo de gestão de riscos a desastres naturais, implementado de forma dinâmica e orgânica, e principalmente com a participação das comunidades locais garantindo uma redução dos riscos aos desastres de forma significativa.

### 3.4 CARTOGRAFIA DE RISCO

A cartografia de risco é uma ferramenta essencial para a gestão de desastres naturais, prevenção dos riscos coletivos e ocorrência de catástrofes. Nesse sentido, uma carta de risco de componente geológica e ou hidrológica deverá identificar e localizar convenientemente as vulnerabilidades de condição hídrica e suscetibilidades, que afetam o território. A cartografia de risco se traduz em um conjunto de cartas temáticas que espacializam os diversos riscos (naturais, mistos ou tecnológicos) mediante a aplicação de metodologias específicas e de trabalho de campo.

Os cenários de risco de uma comunidade ou município podem ser representados por um mapa, que é uma representação gráfica e escrita das

condições de risco determinadas pelas ameaças e vulnerabilidades existentes no lugar. Cria-se uma alerta quanto a ocupação de determinados lugares que se encontram com suscetibilidade de riscos à inundação (CEPED, 2012).

#### 3.4.1 Cartografia Geotécnica

O termo cartografia geotécnica é empregado de uma forma genérica para os produtos cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico aplicado para enfrentar os problemas gerados pelo uso e ocupação do solo (PRANDINI et al. 1995) ou que busquem avaliar e retratar as características dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações ou potenciais (ZUQUETTE, 1993).

Cerri (1990) afirma que as cartas geotécnicas devem mostrar a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos e suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo e a dinâmica dos principais processos atuantes e o reflexo destes (naturais e induzidos) nas formas do uso e ocupação do solo.

Freitas (2000) considera a carta geotécnica como produto resultante da necessidade de caracterização dos terrenos, comprometido com uma intervenção ou solução para uso e ocupação do solo, levando em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, os quais induzem ou condicionam o desenvolvimento de processos e fenômenos responsáveis pela dinâmica da crosta terrestre.

Cerri (1990) classifica as cartas geotécnicas como cartas geotécnicas clássicas, cartas de suscetibilidade e cartas de risco. Bittar et al. (1992) defendem a subdivisão em cartas geotécnicas dirigidas, cartas geotécnicas convencionais, cartas de suscetibilidade e cartas de risco geológico.

Prandini et al. (1995) e Zaine (2000) classificam as cartas geotécnicas em cartas de riscos geológicos, cartas de suscetibilidade e cartas de atributos ou parâmetros. Por outro lado, segundo Zaine (2000), embora haja uma diversidade de termos empregados para denominar os diferentes tipos de cartas e/ou mapas geotécnicos, parece haver uma certa similaridade entre os tipos de documentos produzidos.

Para Freitas (2000), a carta geotécnica é um instrumento voltado a aplicações nas diferentes solicitações do homem na ocupação do ambiente e deve estar



sempre comprometida com uma intervenção ou solução, buscando-se permanentemente um sentido para sua elaboração, calcado em sua aplicação, ou seja, “mudam-se os objetivos; pode-se, então, mudar o método de abordagem para sua elaboração”.

A partir das conceituações descritas, entende-se que cartas geotécnicas são os produtos cartográficos que retratam a distribuição dos diferentes tipos de rochas e solos (residuais e transportados), considerando suas características mecânicas e hidráulicas no contexto do meio físico (formas do relevo, geodinâmica externa – processos atuantes, uso e ocupação do solo), com o intuito de se definir as limitações, potencialidades e necessidades de intervenções para a consolidação do uso urbano e rural.

#### 3.4.2 Cartografia de Risco Aplicado à Inundação

As inundações provocam danos elevados, tanto nos aspectos físicos ou naturais, como nos econômicos (ROCHA, 1995). A avaliação econômica dos danos causados pelas inundações deve ser um dos principais elementos a ter em conta nas decisões a tomar sobre a gestão deste risco. Podem-se referir aqui danos sobre as pessoas e sobre materiais da habitação, como é o caso das edificações e dos veículos, danos no comércio, serviços, infraestruturas e nos equipamentos públicos.

Para desenvolver um processo adequado de gestão das áreas suscetíveis à inundação é necessário contar com capacidades locais de gerenciamento e resgate de experiências já ocorridas. Com a inserção da cartografia de detalhe, se torna cada vez mais visível na gestão de riscos a desastres naturais a inserção do planejamento no apoio a tomada de decisão durante a ocorrência dos eventos.

A cartografia aplicada para a gestão de risco à inundação é adequada pois auxilia na elaboração de mapas de risco, com a definição de áreas suscetíveis e ou vulneráveis à inundação. A cartografia de risco também permite conhecer aspectos físicos, sociais e econômicos, sobrepondo informações para efetuar análises com base na informação. As ferramentas da cartografia de risco são eficazes através de técnicas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo possível atualizar de forma rápida e dinâmica as características do mapeamento, obtendo desta um produto dinâmico e contínuo sobre as alterações que ocorrem na paisagem.

A construção de um mapa que identifique e delimite áreas suscetíveis a inundações permite antecipar as reações das pessoas diante a essas situações. Neste sentido, a avaliação do risco de inundação e a elaboração da cartografia de risco das áreas inundáveis, tornam-se essenciais no planejamento local e regional associada à decisão técnica.

Alonso et al. (2010) indicam que a cartografia de risco de inundação apresenta como objetivo demarcar áreas inundáveis e, caso seja possível, relacionar estes dados com as magnitudes de volumes e as próprias frequências de ocorrência, assim como, com a identificação dos elementos e processos expostos e respectiva vulnerabilidade.

Com efeito, a cartografia de risco de inundação permite delimitar zonas adjacentes aos rios com base na probabilidade destas áreas serem afetadas por eventos extremos. A identificação das zonas de risco, sintetiza um conjunto de conhecimentos litológicos, geomorfológicos, pedológicos, hidrológicos, de uso e ocupação do solo, hidráulicos e socioeconômicos da superfície inundável, assim como a importância da valoração do nível de risco (ALONSO et al., 2010).

Após ser feita a identificação e a caracterização das áreas suscetíveis à ocorrência de inundações, bem como a identificação das áreas com maior exposição de pessoas, sobretudo onde podem manifestar-se com gravidade elevada, sendo as de maior suscetibilidade, é possível definir as melhores estratégias de resposta aos desastres.

Desta forma, testar a eficácia dos meios e recursos existentes, perceber os aspectos físicos e funcionais à mobilidade e encontrar alternativas de gestão integrada, incluindo a aplicação do princípio da precaução e o apoio à decisão (SÁ e VICÊNCIO, 2011). Neste aspecto, a cartografia de risco é utilizada como um instrumento que os gestores podem contar como medida de proteção e de mitigação aos riscos de inundação.

De toda forma, o uso da cartografia de riscos precede possíveis ocupações em áreas suscetíveis a inundações, permitindo a análise dos riscos presentes no território de modo a cooperar na implementação das ações de prevenção.

Pode ser integrada em diversos planos e permite uma gestão do uso do solo compatível com o risco, reduzindo desta forma as consequências prejudiciais, como

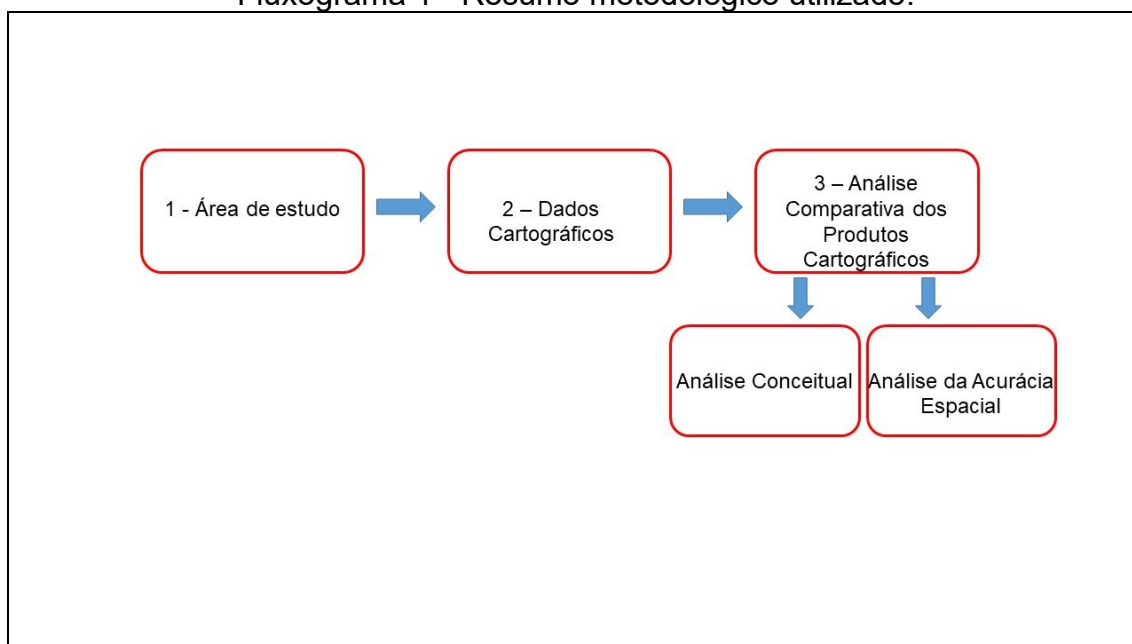
inundações em áreas urbanas, principalmente na definição e no planejamento do processo de urbanização destas áreas.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a realização deste estudo consistiu em três etapas. Em primeiro lugar a definição da área de estudo, neste caso, são os municípios de Brusque, Rio do Sul e Itajaí, todos situados em Santa Catarina. Em um segundo momento, a compilação das informações e bases cartográficas disponíveis para os municípios em questão. De posse dessas informações, a análise criteriosa e auditoria cartográfica de todos esses produtos obtidos de diferentes escalas e fontes. Após isto, a verificação e aplicação dos produtos cartográficos na análise territorial dos municípios em questão.

Resumidamente os procedimentos metodológicos descritos para a realização desta pesquisa foram divididos nas 3 etapas descritas acima e ilustrada, conforme fluxograma 1 abaixo:

Fluxograma 1 - Resumo metodológico utilizado.



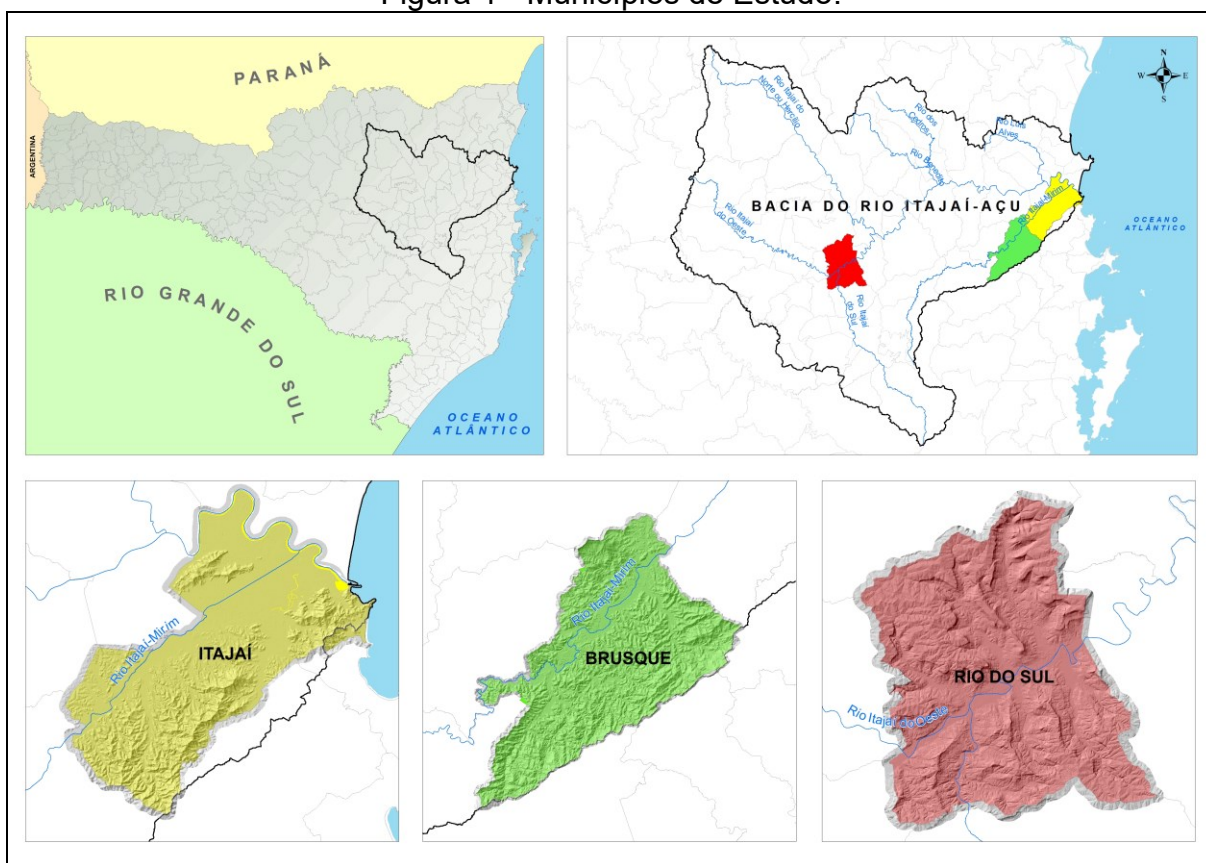
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de trabalho deste estudo está situada em três municípios localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Itajai-Açú, a qual está inserida na Região Hidrográfica RH-7, no Vale do Itajaí.

Os municípios escolhidos (Figura 1) para esta pesquisa são Itajaí, Brusque e Rio do Sul (SC). Possuem particularidades quanto a ocorrência de desastres de inundações, em função da topografia das áreas com vales mais encaixados, proporcionando uma contribuição para os eventos de inundação. Cada um dos três municípios possui especificidades, principalmente nas áreas atingidas pelas inundações. Foram selecionados municípios do baixo, médio e alto vale do rio Itajaí-Açu, de modo que se possa observar o comportamento e característica de cada um deles frente a um desastre de inundação.

Figura 1 - Municípios de Estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.1.1 Itajaí – Baixo Vale

O município de Itajaí localiza-se no Baixo Vale do Itajaí e foi escolhido devido ao alto índice de eventos de inundação de acordo com a consulta realizada no S2id, e ainda por possuir, grande parte da mancha urbana, na planície de inundação. Está

localizado na foz da bacia hidrográfica e de acordo com a defesa civil estadual é um dos municípios que mais sofre com precipitações elevadas, pois em alguns casos, possui influência da sobrelevação do Rio Itajaí. Itajaí possui uma área de 288.402 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 219.536 pessoas, (IBGE, 2019).

#### 4.1.1.1 - Litologia

As litologias mapeadas pela CPRM (2013), para o município de Itajaí, pertencem ao Complexo Metamórfico Brusque, situado na porção leste do Escudo Catarinense, e que faz parte de uma das clássicas áreas de cinturões de dobramentos do sul do Brasil, estendendo-se como uma faixa de direção NE-SW.

A presença de zonas de alta deformação e geração de zonas de cisalhamento é indicativa de feições de “fatias ou lascas” nos tipos litológicos, mais precisamente no quartzito com lentes de quartzo leitoso, observado nas áreas visitadas. Essas feições entre contatos litológicos dados por falhas e intensos cisalhamentos denotam uma estrutura bastante fragilizada nas elevações situadas no município de Itajaí, quando associadas a declividades maiores que 25°. Estas características estruturais, aliadas à heterogeneidade litológica dada pela clorita xistos, micaxistos e quartzitos, denotam alta fragilidade potencial geotécnica (SANTA CATARINA, 2014).

A planície costeira catarinense é caracterizada pela sequência deposicional tipo laguna barreira, que apresenta uma graduação de ambientes deposicionais continentais-fluviais, transicionais até alcançar o ambiente marinho. Regionalmente, onde não há o desenvolvimento de uma bacia de drenagem efetiva e a planície é mais estreita, tal sequência é interrompida, restando apenas os remanescentes marinhos e transicionais.

Contudo, a planície aluvionar de maior representatividade é aquela ligada geneticamente ao Rio Itajaí Açu e seus afluentes do baixo vale. Ocupando a maior parte da área total da planície costeira, e sendo formada de depósitos de diversas fases do rio como depósito de dique marginal, depósito de rompimento de dique, depósito de barra de meandro e depósitos de planícies de inundação, são considerados de fragilidade média e alta por sua susceptibilidade natural a enchentes e alagamentos. A cidade de Itajaí localiza-se entre as planícies aluviais

do rio Itajaí Açu e do Rio Itajaí Mirim e a área estudada está situada em região de depósitos quaternários (CEPED, 2014).

#### 4.1.1.2 Geomorfologia e Solos

A estrutura geomorfológica predominante no município de Itajaí está relacionada ao compartimento “Serras do Leste Catarinense ou Serras do Tabuleiro-Itajaí”. Este compartimento de relevo é formado por um conjunto de serras cristalinas subparalelas entre si com disposição predominante NE-SW e que se iniciam ao sul da Serra do Mar e do Planalto de São Bento, margeando todo lado leste do estado até a altura do município de Jaguaruna, no sul catarinense (SANTA CATARINA, 2014). No município de Itajaí ocorre ainda, as Unidade de relevo, como a Planície Fluvial e Planície Litorânea (SANTA CATARINA, 2014).

Os solos para o município de Itajaí são Podzol Álico hidromórfico A moderado e textura arenosa, fase floresta tropical de restinga, relevo plano. As inclusões são de Areias Quartzosas Marinhas, Solos Aluviais, Glei Húmico, Glei Pouco Húmico e Podzol não hidromórfico, (EMBRAPA, 2004).

No Vale do Itajaí a formação dos solos é resultado da interferência do clima sobre as rochas matrizes polimetamórficas do Complexo Cristalino (BEDIN, 2013).

Para a utilização agrícola, estes solos devem ser mantidos com cobertura vegetal permanente, pois quando drenados e desprotegidos de vegetação natural, perdem rapidamente seu conteúdo de matéria orgânica da parte superficial, restando então a areia quartzosa que é componente exclusivo do solo.

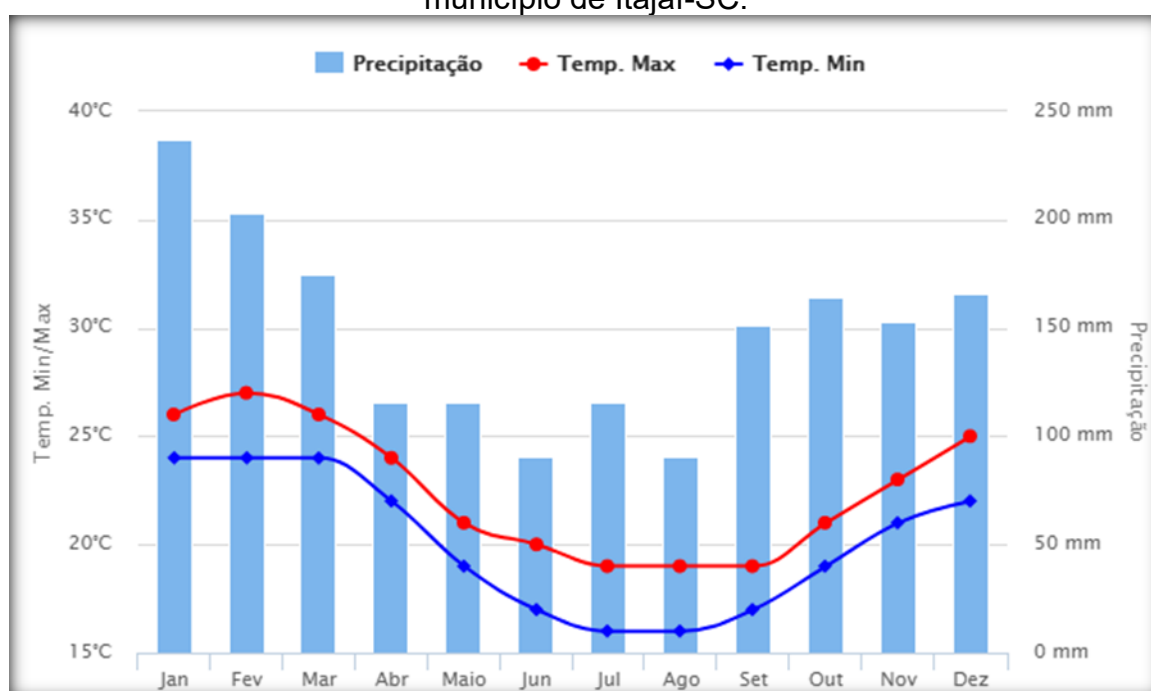
A erosão é facilitada após o cultivo, pois a matéria orgânica tende a desaparecer, ficando a areia exposta suscetível principalmente à erosão eólica devido à falta de coesão das partículas. Pelo fato de serem solos muito pobres, arenosos e de drenagem restrita, são pouco usados para agricultura, notando-se áreas com pastagem natural e reflorestamento com pinus e eucalipto (EMBRAPA, 2004).

#### 4.1.1.3 Clima

Em um aspecto geral, o clima do município de Itajaí é quente e temperado, ocorrendo uma pluviosidade significativa ao longo do ano. Segundo Monteiro,

(2001), a classificação do clima é Cfa. Em Itajaí a temperatura média é de 20,2 °C, possui uma pluviosidade anual de 1.596 mm. De acordo com a análise do gráfico1, ficou constatado que em Itajaí o mês de julho é o mais seco, com aproximadamente 78 mm e o mês de fevereiro o mês com maior índice de precipitação, com 214 mm. Os índices pluviométricos apresentados no gráfico 1 referem-se à média mensal dos últimos 30 anos para o município de Itajaí, com destaque para os meses entre setembro e março, o município tem média anual de 1.779 mm.

Gráfico 1 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Itajaí-SC.



Fonte: Climatempo, (2020)

Conforme consulta ao Sistema Integrado de Informações Nacionais sobre Desastres (2020), entre os anos de 1970 e 2015, o município de Itajaí teve 29 eventos de inundação, enxurrada e alagamentos registrados ao longo do período citado, variando no tempo de retorno.

#### 4.1.2 Brusque – Médio Vale

O município de Brusque, localiza-se no médio Vale do Itajaí, banhado pelo Rio Itajaí-Mirim. Foi escolhido para a pesquisa, por ser um dos municípios com mais áreas de risco a inundações, principalmente no que diz respeito aos últimos históricos de eventos ocorridos em Santa Catarina, conforme informação da



Prefeitura Municipal. E ainda, pelo fato de haver uma alta densidade populacional consolidada em uma área composta por relevo irregular, ocasionando problemas relacionados a enchentes.

O município possui uma área de 283.446 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 134.723 pessoas (IBGE, 2019). Brusque pertence ao domínio dos sedimentos Cenozóicos inconsolidados ou pouco consolidados, depositados em meio aquoso (CPRM, 2013; BRUSQUE, 2020).

#### 4.1.2.1 Litologia

Considerando o aspecto geológico, Brusque se apresenta no Embasamento Cristalino, com predominância de granulitos, entre meado com vales da cobertura sedimentar quaternária e recortado por inúmeras falhas geológicas (SANTA CATARINA, 1991). A Unidade geológica é formada por ambiente de planícies aluvionares recentes, sendo que da base para o topo se tem cascalho, areia e argila. Formado por Depósitos Aluvionares: conglomerados de areis grossas e finas, cascalhos e sedimento sílico-argiloso, em calhas de rios e planícies de inundação (CPRM, 2013).

#### 4.1.2.2 Geomorfologia e Solos

A geomorfologia do município de Brusque é composta pelas Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (planícies de inundação ou baixadas inundáveis e abaciamentos) (SANTA CATARINA, 2014), cuja característica do relevo é pertencente aos Patamares do Alto Rio Itajaí, (SANTA CATARINA, 1991).

Brusque pertence a bacia hidrográfica do Rio Itajaí, que faz parte da vertente do Atlântico. Os rios apresentam perfil longitudinal irregular no curso superior, com topografia acidentada, e no curso inferior formam-se meandros, características de rios de planície.

Apresenta a vegetação da Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) e áreas remanescentes desta mata que se entremeiam com a vegetação secundária e atividades agrícolas, (SANTA CATARINA, 1991). Inclui formações florestais primárias e secundárias em diferentes estágios de desenvolvimento, diferentes tipos de formações pioneiras e de refúgios ecológicos (LEITE, 2003).

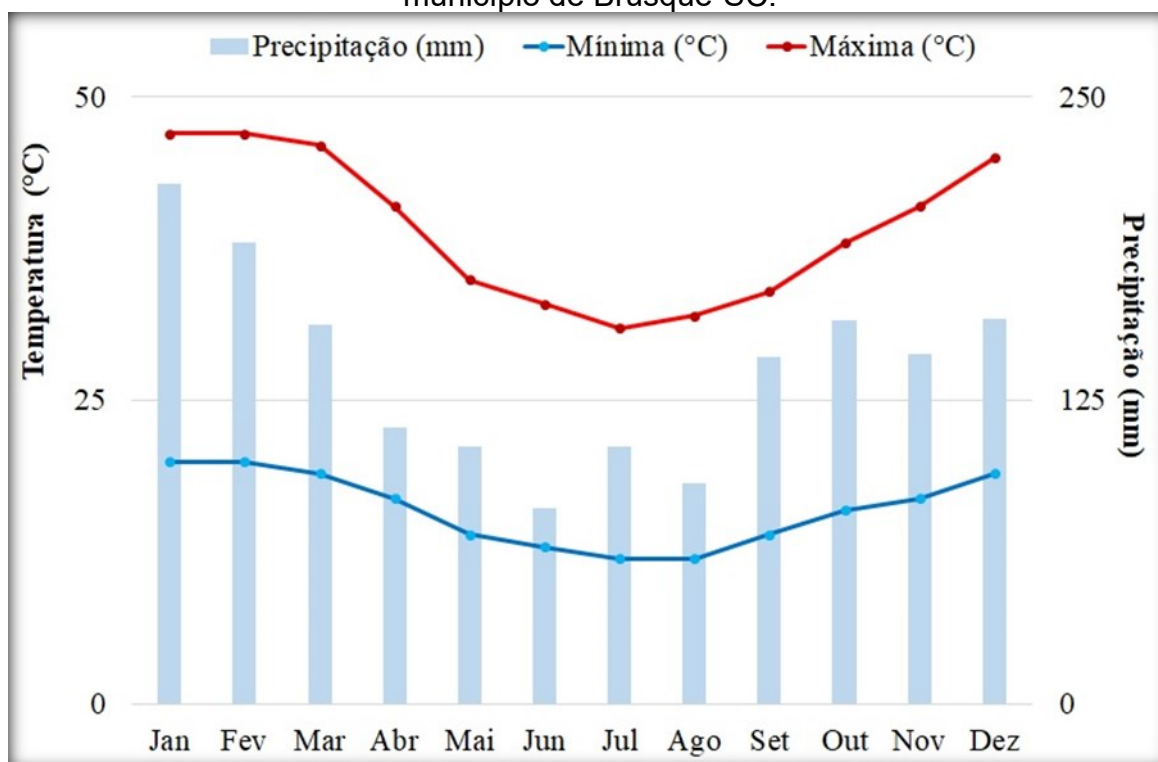
Há predominância de solos Cambissolos (solos de menor profundidade e em desenvolvimento), utilizados para o plantio de milho, feijão e outros, bem como para pastagem e reflorestamento e também, aparecem os solos Glei Húmico e Glei Pouco Húmico (solos de elevado teor de matéria orgânica, em ambiente de umidade excessiva, usados para o plantio de arroz irrigado, hortaliças e cana-de-açúcar) (SANTA CATARINA, 1991).

#### 4.1.2.3 Clima

Segundo Köppen, em Brusque e região, predomina o clima mesotêmico úmido com verões quentes (Cfa) e, com temperatura média anual entre 18°C e 20°C. Quanto à pluviosidade, a quantidade de chuvas varia entre 1.600mm e 1.800mm anuais, de acordo com gráfico 2 (SANTA CATARINA, 1991; CLIMATEMPO, 2020).

Em relação a quantidade de eventos de desastres naturais, conforme os dados do S2ID, entre os anos de 1970 e 2015, o município de Brusque teve 21 eventos de inundação, enxurrada e alagamentos registrados.

Gráfico 2 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Brusque-SC.



Fonte: Climatempo (2020).

#### 4.1.3 Rio Do Sul – Alto Vale

O município de Rio do Sul em Santa Catarina, localizado no Alto Vale do Itajaí, escolhido como um dos locais de estudo, por ser um município suscetível as inundações e com os maiores índices pluviométricos deste tipo de eventos desde o início de sua colonização e urbanização.

##### 4.1.3.1 Litologia

A litologia existente no município de Rio do Sul está integrada a Unidade de Rio Bonito, a qual corresponde a parte basal do Grupo Guatá compreendendo um pacote sedimentar predominantemente arenítico depositado sobre o Grupo Itararé. A Formação Rio Bonito é constituída de uma seção arenosa basal, uma média essencialmente argilosa e uma superior, areno-argilosa, onde se encontram os principais leitos de carvão (SCHNEIDER et. al. 1974; MACHADO, 2013).

- Formação Depósitos Aluvionares: conglomerados de areias grossas e finas, cascalhos e sedimento sítico-argiloso, em calhas de rios e planícies de inundação, (CPRM, 2013).

##### 4.1.3.2 Geomorfologia e Solos

No que diz respeito a geologia, o município abrange 3 formações geológicas predominantes:

- Formação Taciba: compreende uma sequência sedimentar de idade permo-carbonífera cujos depósitos são compostos essencialmente por sedimentos pelíticos. Esta formação corresponde ao topo do Grupo Itararé e é constituída por folhelhos, argilitos, ritmitos, arenitos, diamictitos e siltitos (FRANÇA, POTTER, 1988; SCHNEIDER et. al. 1974).

A unidade de relevo é dos Patamares do Alto-Itajaí, caracterizada pela dissecação e pela presença de patamares, vales estruturais e relevos residuais de topo plano (mesas), limitados por escarpas, (SANTA CATARINA, 1991; 2014).

A altitude média para o município fica em torno de 340 metros em relação ao nível do mar. Apresenta rios em vales abertos em seu interior, onde se instalou o município de Rio do Sul (SANTA CATARINA, 2014).

A paisagem modelada em rochas sedimentares apresenta os vales dos rios, afluentes do rio Itajaí, escavando camadas com resistências diferentes, o que forma degraus nas encostas. Relevos tabulares de chapadas são encontrados com frequência na paisagem deste compartimento a leste, sustentados por camadas de arenitos, especialmente os da Formação Rio Bonito. Também são comuns encostas com patamares estruturais (degraus) amplos por causa da sucessão de camadas mais resistentes de arenitos que as constituem (SANTA CATARINA, 2014).

Há predominância de solos Cambissolo Bruno Húmico, Cambissolo Bruno, Cambissolo e Cambissolo Húmico (solos de menor profundidade e em desenvolvimento, usados para o plantio de milho, feijão e outros, bem como para pastagem e reflorestamento) (SANTA CATARINA, 1991).

#### 4.1.3.3 Clima

No município de Rio do Sul, o clima é quente e temperado. Segundo a Köppen e Geiger o clima é classificado como Cfa. Rio do Sul tem uma temperatura média de 19,3 °C. A pluviosidade média anual é 1529 mm (SANTA CATARINA, 2014; CLIMATEMPO, 2020). Os dados apresentados (Gráfico 3) representam o comportamento médio da chuva e da temperatura ao longo do ano.

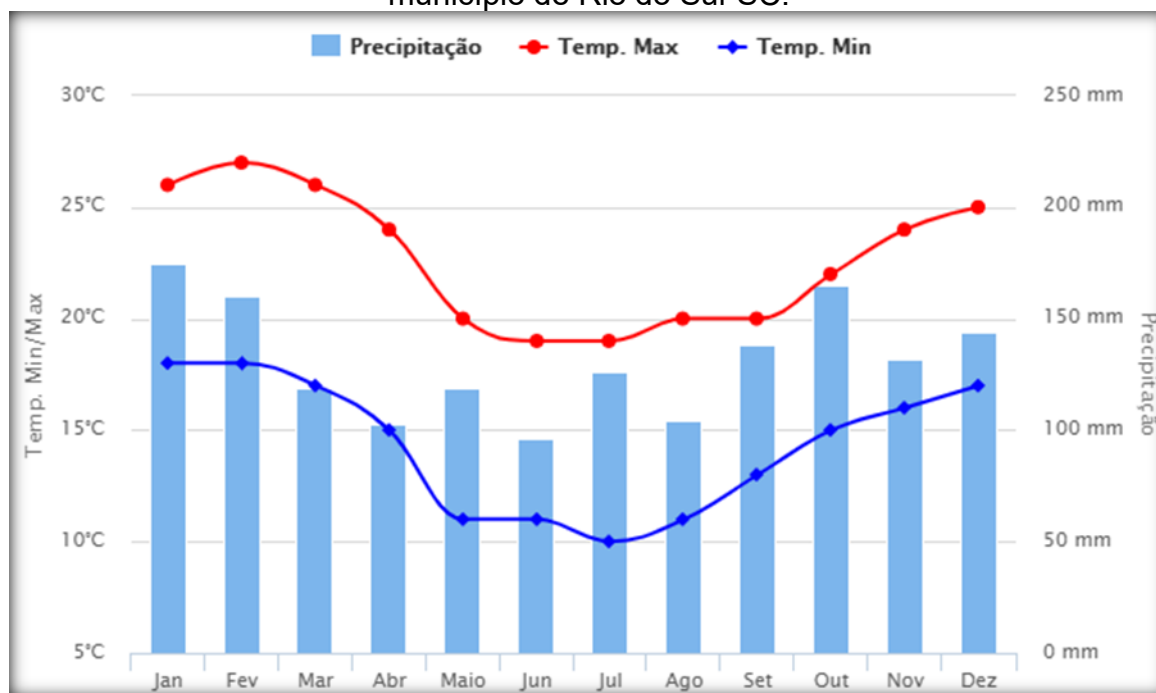
De acordo com o gráfico 3 há uma especificidade no município de Rio do Sul, onde as precipitações mais significativas ocorrem nos meses de janeiro, fevereiro e outubro apresentando precipitações superiores a 150 mm, e os meses de setembro, novembro e dezembro com variações de chuvas entre 120 e 140 mm.

Nota-se ainda, variações nos meses de maio, com 120 mm e julho com 130 mm, demonstrando que no município de Rio do Sul ocorrem precipitações bem distribuídas ao longo dos anos, porém contínuas, indicando ocorrências de chuvas volumosas em todos os meses do ano.

O gráfico aponta ainda a variação de temperatura máxima e mínima, indicando que nos meses com maiores precipitações houveram temperaturas de quase 25°C e 28°C, enquanto que nos meses de menores precipitações tiveram

temperaturas entre 13°C e 15°C. Vale ressaltar que no mês de julho, apesar de ter obtido a menor temperatura com 10°C, chegou a uma precipitação de 130 mm, demonstrando desta forma ser um município com muita chuva e pouca variação de temperatura ao longo do ano.

Gráfico 3 - Média pluviométrica e de temperatura dos últimos 30 anos para o município de Rio do Sul-SC.



Fonte: Climatempo, (2020).

De acordo com os registros históricos do S2ID, a partir de uma análise temporal variando de 1970 e 2015 ocorreram 28 eventos de inundação, enxurrada e alagamentos no município de Rio do Sul.

De acordo com (Bogo, 2016), é preciso observar os dois principais aspectos dessa situação: o ambiente físico no qual a cidade está inserida e a antropização do espaço resultante do crescimento demográfico e sua consequente urbanização. Ainda conforme Pandolfo et al. (2002), além do clima subtropical, a mais importante constatação é o índice de pluviosidade, que pode variar até 1.500 mm anuais relacionada a uma bacia hidrográfica de alta capacidade. O município está inserido em uma planície no alto vale do rio Itajaí-Açú, e também, em decorrência de barramentos e impermeabilizações das áreas, onde os eventos acabaram se intensificando ao longo dos últimos anos. O município possui uma área de 258.4 km<sup>2</sup>, com uma população estimada de 71.061 pessoas (IBGE, 2019).

## 4.2 DADOS CARTOGRÁFICOS

A diferença entre os dados cartográficos dos demais dados que podem ser tabulados é sua componente espacial, ou seja, quando mencionamos isto podemos dizer que, estes dados representam fenômenos da superfície terrestre e estão relacionados com seu posicionamento por meio de coordenadas cartográficas, ou sua localização no espaço geográfico e não somente informações de um local específico.

Para cada município da área de estudo (Brusque, Rio do Sul e Itajaí), foi apurado em sites de Instituições federais, estaduais e municipais, como S2id, CPRM, ANA, Defesa Civil Nacional e Defesa Civil Estadual, além da Defesa Civil Municipal, as informações cartográficas digitais e oficiais de inundação. Com as Instituições identificadas, buscou-se analisar quais os projetos consolidados, o ano de publicação das informações, os formatos dos dados gerados, os relatórios conclusivos, bem como, as escalas do mapeamento para cada um dos produtos disponibilizados pelos órgãos públicos. Abaixo serão descritas as instituições que tiveram seus dados utilizados nesta pesquisa. Estas informações cartográficas serão discriminadas em maior detalhe na análise dos resultados.

### 4.2.1 Cartas de Suscetibilidade (1:25.000 – 1:50.000)

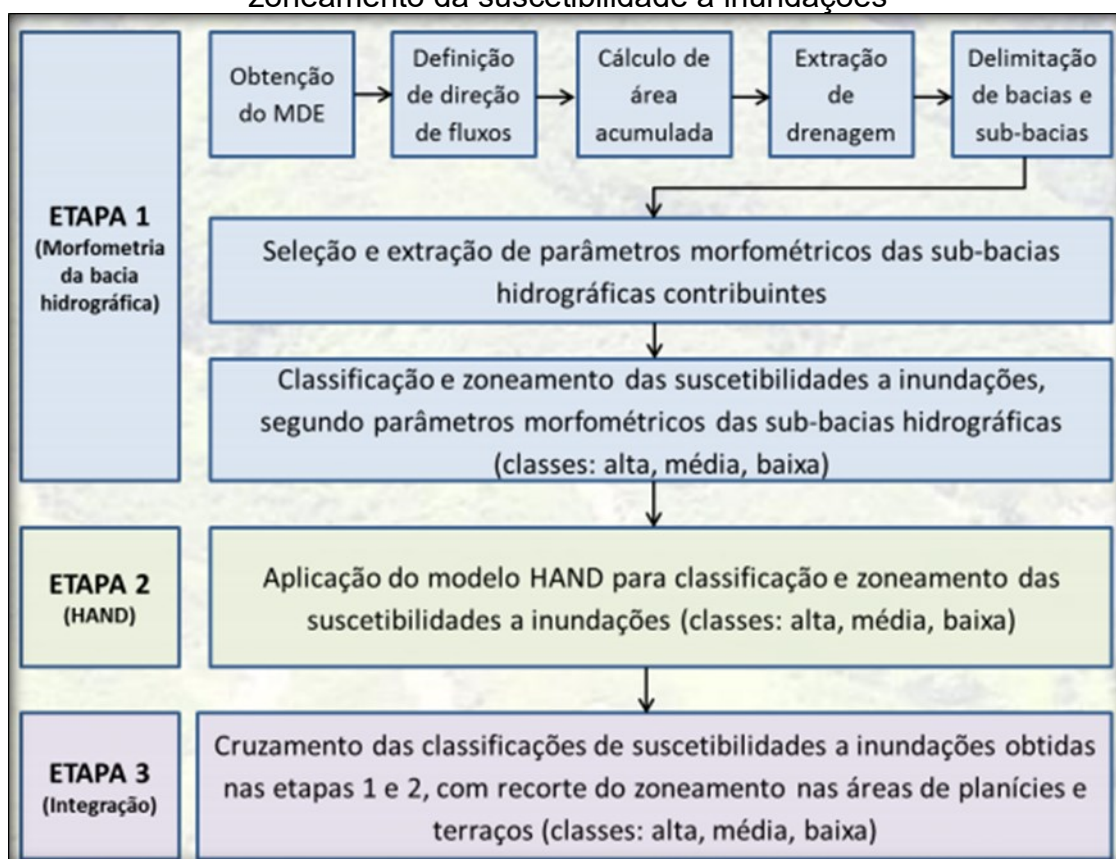
O CPRM elaborou entre os anos de 2012 e 2016, o mapeamento das áreas suscetíveis a inundação para 98 municípios de Santa Catarina, onde foi aplicado 3 etapas principais de caracterização (Fluxograma 1): (i) identificação da suscetibilidade das bacias a partir de índices morfométricos; (ii) espacialização dos graus de suscetibilidade com a aplicação do modelo HAND, conforme Rennó et al. (2008); e (iii) cruzamento das classificações obtidas, aplicando o recorte do zoneamento nas áreas de planícies e terraços.

O HAND, possui correlação com a calha principal de corpos hídricos mais próximo com a topografia do terreno a ser estudado, e tem demonstrado que em áreas com baixa altura relativa há a tendência de maior suscetibilidade a inundações, como no caso dos municípios observados no projeto. Esta modelagem de inundações representa as variáveis que influenciam nos processos de cheias, inundações e alagamentos.

Trata-se de uma normalização topográfica da paisagem que usa como principal parâmetro de entrada o Modelo Digital de Elevação (MDE) e classifica as áreas de acordo com distâncias verticais relativas aos cursos de água mais próximos. O resultado da simulação do HAND é estreitamente relacionado com a qualidade (resolução espacial e acurácia vertical) do dado topográfico. O modelo considera a menor distância vertical relativa de qualquer ponto em relação à rede de drenagem, indicando alta suscetibilidade ao evento.

Além da área de contribuição, outro ponto chave do HAND é o intervalo de fatiamento dos seus valores, (Speckhann et al., 2017). Por meio de álgebra de mapas, o qual é extraído os valores do modelo HAND na planície de inundação.

Fluxograma 2 - Etapas básicas executadas para fins de análise, classificação e zoneamento da suscetibilidade a inundações



Fonte: CPRM, (2014).

A primeira etapa deste processo foi realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que desenvolve a setorização das ameaças relacionadas a inundações e/ou deslizamentos. Conquanto a análise do risco dependa da análise das ameaças

e da análise da vulnerabilidade, tornou-se relevante realizar uma segunda etapa relacionada a avaliação da vulnerabilidade ao risco de desastre.

Conforme (CPRM, 2014), o mapeamento realizado das áreas suscetíveis à inundação, compreende a necessidade de elaboração do modelo básico aplicável em nível nacional, com as adaptações necessárias a cada região, bem como em condições de propiciar a comparabilidade entre os municípios mapeados, de modo a subsidiar a formulação e implantação de políticas públicas.

De toda forma, a proposta neste mapeamento de áreas suscetíveis é o de estabelecer bases tecnológicas para um desenvolvimento contínuo de um modelo integrado e atualizável de produção de cartas de suscetibilidade a processos do meio físico, os quais podem gerar desastres naturais.

De acordo com o (CEPED, 2014), a proposta deste produto determinou a construção de indicadores de avaliação dos riscos nos municípios e a gestão direcionando ações prioritárias. Também possibilitou a construção de dados espaciais e informações que permitiram orientar a uma reflexão sobre os processos de construção de vulnerabilidade e dos riscos de desastres no Brasil. Desta forma, o projeto pontuou a construção de instrumentos que pudessem favorecer a gestão local dos riscos, no âmbito municipal, e propor as metodologias adequadas a serem aplicadas em áreas específicas.

Dos três municípios que formam a área de estudo, dois (Brusque e Itajaí) possuem mapeamentos na escala 1:25.000 – 1:50.000. O município de Rio do Sul não consta na página do Serviço Geológico do Brasil, Gestão Territorial/Prevenção de Desastres, (<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Santa-Catarina-5087.html>) (CPRM, 2013) Porém, foi disponibilizado pela CPRM um banco de dados no formato geodatabase (.gdb) para o município de Rio do Sul, a carta de suscetibilidade, na escala de 1:25 000.

#### 4.2.2 Setorização de Risco (1:1.000 – 1:2.000)

A partir do ano de 2014, após já terem sido elaborados mapas de suscetibilidade para 821 municípios no Brasil, a CPRM continuou os trabalhos de mapeamento de áreas de risco geológico, onde em SC foi realizado o mapeamento



da setorização dos 295 municípios, concluídos em 2019. Estas setorizações de riscos geológicos se restringem às regiões atualmente ocupadas e, portanto, constituídas por edificações sujeitas a serem atingidas por algum evento geológico, natural ou por ação antrópica. Logo, em função da quantidade e intensidade dos indícios observados em campo, o grau de risco neste mapeamento foi classificado em baixo, médio, alto ou muito alto, sendo os dois últimos objetos principal do projeto.

Os mapeamentos da setorização de riscos geológicos possuem a definição referente a possibilidade de ocorrência de um acidente x consequências (perdas de vidas e/ ou bens materiais) e possui uma aplicação geral para a prevenção de desastres e gestão de riscos. Em função da escala utilizada no mapeamento, de 1:1.000 a 1:2.000 possui níveis de detalhes para subsidiar uma série de ações, as quais devem ser trabalhadas de forma integrada, principalmente o poder público na seleção das áreas prioritárias a serem contempladas por obras destinadas à prevenção de desastres.

Neste trabalho de setorização de risco, há uma série de informações de base contidas nos dados espaciais, como, tipologia do desastre com maior frequência, neste caso, a inundação, situação das áreas mapeadas, como diversa instalações e ocupações, o descritivo das cotas de cheias e as possíveis residências atingidas, os tipos de construções, o nível de risco para cada setor mapeado e as sugestões de intervenção, como a aplicação de estudos hidrológicos para avaliar o padrão de recorrência das inundações, com a implantação de um sistema de monitoramento e alerta das áreas de risco.

#### 4.2.3 Banco Mundial (1:10.000)

O Banco Mundial elaborou no ano de 2016, o documento “Santa Catarina: A gestão de riscos de desastres no contexto do planejamento estratégico para o aumento da resiliência a perigos naturais” (BIRD, 2016), que mapeou através de modelagem hidrodinâmica o perigo à inundação todos os municípios catarinenses. Este relatório utilizou quatro etapas principais:

- (i) referenciar geograficamente, refinar e analisar os dados disponíveis e conjuntos de dados de entrada, entre os quais citam-se os registros de precipitação (1991–2010), inundações históricas e dados fluviais das bacias hidrográficas.

- (ii) desenvolvimento do modelo hidrológico. O processo de modelagem envolve o uso de várias técnicas ou conhecimento local para entender o comportamento do volume de água ao longo de eventos de inundações e definir qual será a sua distribuição, em termos geográficos.

- (iii) realização da modelagem, usando modelos bidimensionais, que envolve a análise do escoamento sobre a superfície da planície de inundação.

- (iv) aferição e validação dos resultados considerando-se eventos históricos, (BIRD, 2016).

De acordo com o procedimento metodológico desenvolvido pelo Banco Mundial (2016) foi desenvolvido um modelo de catástrofe (CAT) composto por:

- Geração de um conjunto robusto de planos de informação geoespacial, usando bancos de dados estaduais e nacionais compilados em um único sistema de tecnologia da informação;

- Desenvolvimento de modelos de exposição residenciais e não-residenciais para possibilitar a estimativa do valor das edificações e sua vulnerabilidade a eventos de inundação;

- Produção de um modelo estadual de inundações para distintos períodos de retorno, usando informações hidrometeorológicas históricas e modelos digitais de terreno e de superfície. Não foram usados cenários climáticos, já que os pressupostos normalmente utilizados para defini-los tornariam a tentativa de modelagem matemática no contexto específico do Modelo de Catástrofe (CAT) um tanto quanto imprecisa;

#### 4.2.4 Defesa Civil Estadual (1:10.000)

Conforme, Defesa Civil (2018), os dados referentes as cartas de inundação elaboradas pela Defesa Civil, foram consolidados através de um contrato com a empresa Fractal Engenharia. Estes estudos de inundação contemplaram a definição das manchas de inundação para vazões de referência, bem como a definição da curva-chave em pontos de interesse e uma análise da evolução da inundação nos

municípios. As vazões de cheia foram calculadas com base nos dados das estações fluviométricas existentes, determinando níveis de severidade.

Os mapas de inundação foram elaborados para níveis de vazão, de modo a caracterizar o extravasamento gradual da calha dos rios. Foram realizadas simulações com os hidrogramas e regiões afetadas. Os tempos de recorrência foram calculados com base nos dados consistidos das estações fluviométrica.

As manchas de inundação foram geradas utilizando o modelo HAC-RAS (HEC, 2016), o qual trata de um modelo unidimensional e bidimensional de fundo fixo, capaz de efetuar os cálculos dos perfis de superfície d'água em escoamento permanente e não permanente, em canais com superfície livre.

Esses perfis podem ser calculados em regimes subcríticos, supercrítico e misto, onde poderão ocorrer mudanças de regime supercrítico para subcrítico ou de subcrítico para supercrítico.

O procedimento de cálculo baseia-se na solução da equação da conservação do momento unidimensional. O modelo também utiliza as equações de momento em situações onde o perfil da superfície d'água varia rapidamente. Essas situações incluem, dentre outras, os ressaltos hidráulicos, as pontes e as confluências de rios. Permite, ainda, a avaliação do efeito de estruturas hidráulicas (pontes, galerias, barragens, etc).

#### 4.2.5 Cobertura dos produtos utilizados

No que se refere a cobertura dos dados disponíveis para o estado de Santa Catarina, oriundos de projetos em conjunto com a CPRM, sendo os produtos 1 e 2; Banco Mundial (BIRD) – produto 3 e Defesa Civil de Santa Catarina – produto 4 - podem ser analisados na Tabela 2 e figura 3.

Vale ressaltar que o produto 2, setorização de risco, de acordo com (CPRM,2015), o qual tinha como principal objetivo, setorizar as áreas de risco geológico, caracterizar e cartografar porções urbanizadas do território sujeitas a sofrerem perdas ou danos decorrentes da ação de eventos adversos de natureza geológica, para assim subsidiar a tomada de decisões assertivas relacionadas às políticas de ordenamento territorial e prevenção de desastres.

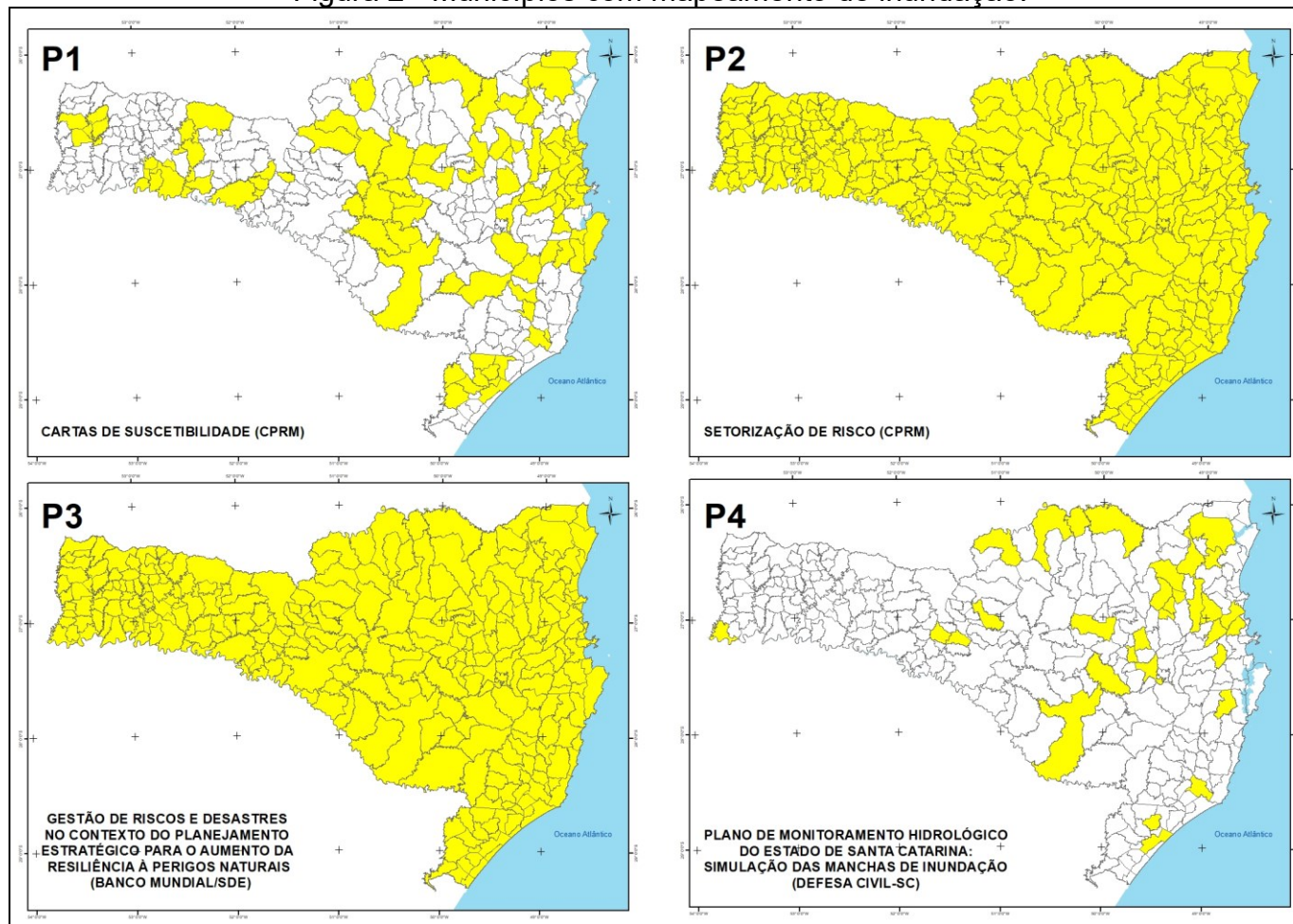
De toda forma, para o Estado de Santa Catarina, a setorização mapeada no projeto, não consolidou a elaboração das manchas de inundação para todos os municípios, logo, setorizando outras tipologias de desastres.

Tabela 1 - Dados espaciais de inundação.

<b>Produtos</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>	<b>Ano de produção</b>	<b>Brusque</b>	<b>Itajaí</b>	<b>Rio do Sul</b>
Cartas de Suscetibilidade	CPRM	1:25.000	2012/2013	X	X	X
Setorização de Risco	CPRM	1:2.000	2015/2019	X	X	X
Santa Catarina: Gestão de riscos e Desastres para aumento da resiliência	Banco Mundial	1:25.000	2016	X	X	X
Plano de Monitoramento Hidrológico de Santa Catarina - Simulação de Manchas de Inundação	Defesa Civil Estadual	1:10.000	2018/2020	X	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 2 - Municípios com mapeamento de inundação.

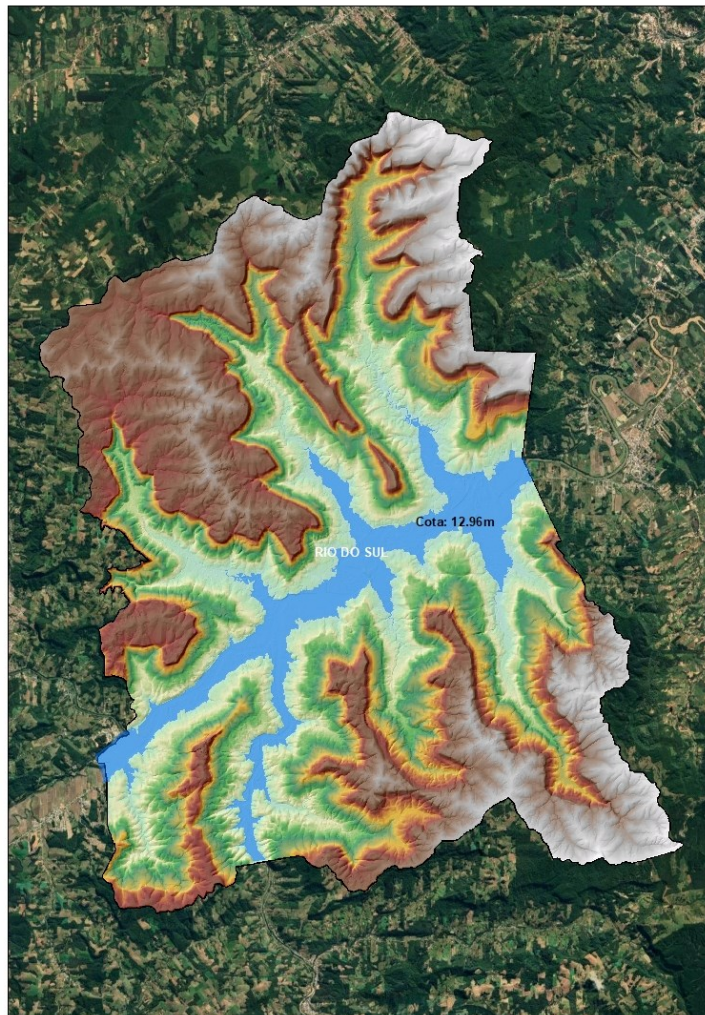


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Além dos dados oficiais apresentados anteriormente, oriundos de Instituições Públicas Federais e Estaduais, verificou-se a necessidade de levantar os dados elaborados pelos municípios, através da defesa civil municipal.

No município de Rio do Sul, com o objetivo de elaborar um conjunto de medidas permanentes que visam evitar, prevenir ou minimizar as consequências dos eventos desastrosos, socorrendo desta forma as populações atingidas, preservando vidas, limitando os riscos de perdas materiais e restabelecendo o bem-estar social, foram levantadas as cotas de cheias pela Defesa Civil municipal, com o intuito de identificar todas as cotas mínimas e máximas de cheias para as ruas com histórico de inundações. (RIO DO SUL, 2020). A cota máxima atingida foi de 12,96 metros no evento ocorrido em setembro de 2011 (Figura 3).

Figura 3 - Cotas de Cheias no município de Rio do Sul.



Fonte: Defesa Civil Municipal de Rio do Sul-SC  
Elaborado pelo autor (2022).

Em 2014 a Defesa Civil de Brusque apresentou os estudos das cotas e cartas de enchente do município.

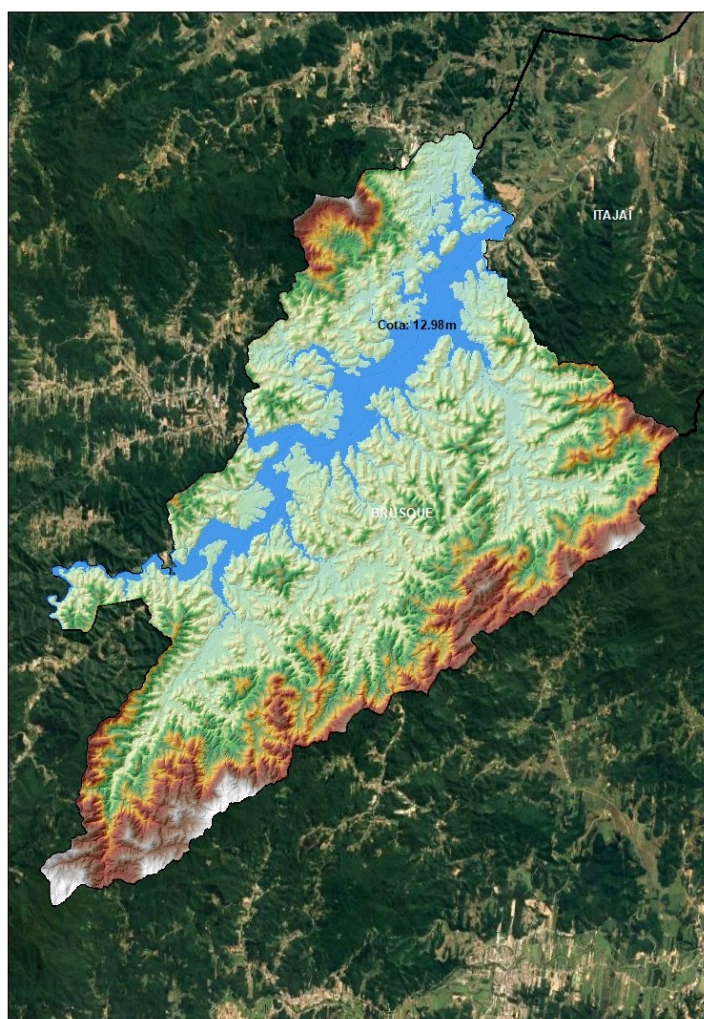
De acordo com as informações da Prefeitura Municipal de Brusque (BRUSQUE, 2020), durante os trabalhos de campo foram levantados mais de 1.900 pontos onde foram estabelecidas as cotas de cheia, ou seja, com quantos metros de elevação do rio a água poderá atingir o local. Além disso, baseado na enchente de 2011, quando o rio chegou a **12,98 metros**, foi feita a carta enchente. Esta informação da Cota de cheias foi desenvolvida de modo a complementar os monitoramentos já realizados, como o radar meteorológico, que antecipa a



quantidade de chuvas, a telemetria, onde é possível verificar em tempo real o nível do rio.

Desta forma o município passa a ter uma maior gestão sobre o seu território, restringindo de certa forma, alguma construção ou empreendimento em locais com maiores probabilidades de inundação. A Figura 4 apresenta a cota de cheia de **12,98 metros**.

Figura 4 - Cotas de Cheias no município de Brusque.



Fonte: Defesa Civil Municipal de Brusque-SC  
Elaborado pelo autor (2022).

No município de Itajaí o monitoramento das cotas de inundação é realizado através da Defesa Civil Municipal, onde possuem uma base de dados históricos, com os mapas do levantamento das enchentes dos anos de (1983, 1984, 2001,

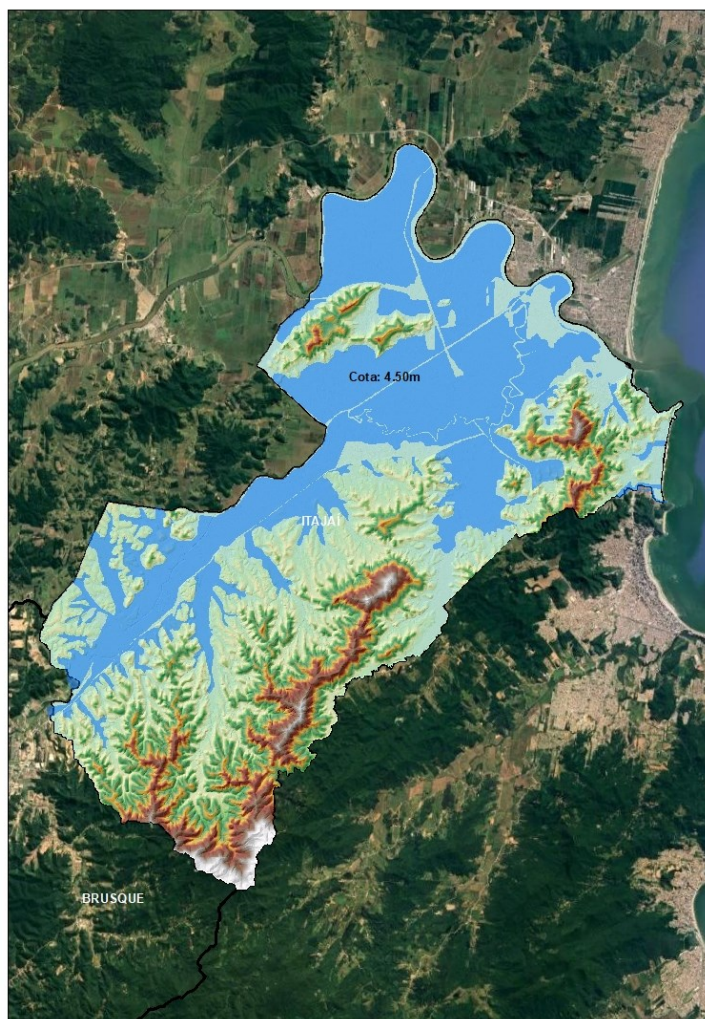


2008, 2011), com mapas de avaliação de riscos em alguns bairros, áreas irregulares e de deslizamentos.

Em 2011 foi elaborado um relatório de avaliação de danos, com os apontamentos por logradouro atingidos pelas cheias, com informações de desabrigados (Defesa Civil Municipal, ANO).

Os mapas de cota de inundação existentes são dos anos de 1983, 1984, 2001, 2008, 2011, e também por maré em 2013, mapa de cota de inundação do evento de 2014 e ainda o mapa de cota de inundação de 2015. Estas manchas de inundação foram geradas através de vetorização manual das cotas obtidas durante levantamentos de campos nas vias públicas realizados pelos agentes de defesa civil. A (Figura 5) apresenta a cota máxima de inundação registrada no evento ocorrido em 2008, atingindo a cota de **4,50 metros**.

Figura 5 - Cotas de Cheias no município de Itajaí.



Fonte: Defesa Civil Municipal de Itajaí-SC  
Elaborado pelo autor (2022).

### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Identificadas as manchas de inundação para os municípios de Brusque, Rio do Sul e Itajaí, provenientes de cada instituição, foi confeccionado um banco de dados geográfico digital referente a cada feição geométrica dos 4 produtos existentes para cada município. Nesta etapa foram realizadas consultas ao site das prefeituras e defesa civil municipal, onde foram levantadas todas as informações contidas em relação a elaboração dos produtos cartográficos. Estes produtos que foram elaborados pelas Instituições, juntamente com o mapa de suscetibilidade a inundação, teve como intuito obter uma facilidade no acesso a cada informação espacial armazenada.

Para que se possa ter um entendimento em relação aos dados relacionados utilizados nesta pesquisa, se fez necessário a composição das seguintes análises:

#### 4.3.1 Análise conceitual dos produtos cartográficos:

Nesta análise foi comparado o conceito de suscetibilidade apresentado na revisão bibliográfica, com as informações contidas no banco de dados geográficos da Carta da suscetibilidade. Foi verificado toda base existente referente a carta de suscetibilidade à inundação, posteriormente, será consultado as informações contidas na tabela de atributos de cada carta, com a definição das classes de alto, médio e baixa inundação. Vale ressaltar que todas as informações associadas a geometria de cada mancha de inundação, tais como, processos, classes de inundação, descrições, serão dimensionadas com os conceitos de inundação abordados, visto que, Saito, (2004), define suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, representando a fragilidade do ambiente para a ocorrência de evento perigoso.

O perigo foi analisado sobre o conceito abordado por Castro, (2003), onde, implica a existência do homem que estima o que é, e o que não é um dano, porém para chegarmos a uma análise compatível com o risco, precisamos identificar os elementos que fazem parte dos processos, como a identificação dos diferentes tipos de deslizamentos, dos fluxos de detritos, queda de blocos, e principalmente as informações descritivas em detalhes, assim abordadas neste produto.

Verificados os conceitos apresentados nas cartas de setorização de riscos, que de acordo com o exposto por GEORIO, (2000), é definido como a chance de ocorrência de um fenômeno perigoso, que pode causar perdas e danos, logo, foi demonstrado nas análises dos resultados obtidos neste trabalho.

Os elementos compostos atribuídos a este projeto da CPRM, onde será consultado todas as informações inseridas na tabela de atributos, como os municípios atendidos, a localização do risco, o código do setor, os processos gerais atuantes, os processos específicos, a situação de dano potencial, as descrições gerais, observações sobre as ocupações, e as sugestões de intervenção.

Assim, podendo caracterizar se os elementos de risco mencionados nas informações cartográfica do projeto se mantem a uma coerência do conceito de riscos.

Foi analisado também o produto elaborado pelo Banco Mundial, os quais apresentam informações de suscetibilidade a inundação, abordando o conceito de forma objetiva, como uns dos desastres que mais causam danos à população. Neste projeto, será consultado as informações armazenadas em seu banco de dados geográficos, visto que, há elementos referente ao tempo de retorno para cada ano simulado. Será realizado uma consulta prévia nas demais informações contidas neste banco de dados geográficos, pois há informações referente ao censo demográfico, uso e cobertura do solo, e as perdas relacionadas a este tipo de desastres.

Sobre o produto elaborado pela Defesa Civil Estadual, foram analisados os principais conceitos de suscetibilidade, perigo, riscos, gestão de desastres e as informações contidas em seus atributos, pois mencionam informações quanto ao tempo de recorrência das inundações, com base no histórica das cotas de cheias.

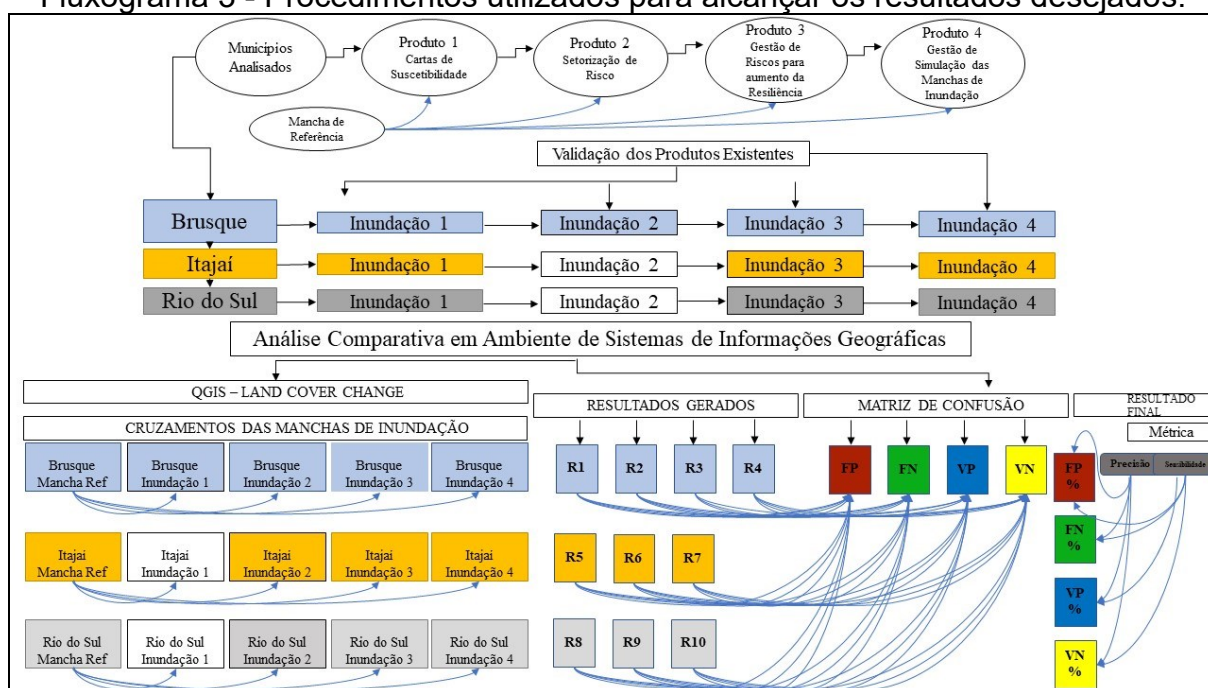
Todos esses elementos mapeados são imprescindíveis para que seja caracterizado o perigo com potencial de dano, os quais podem ser obtidos através do banco de dados geográficos das cartas de risco, utilizados nesta pesquisa, pois nele constam informações como o setor mapeado, as diferentes tipologias de desastres, uma descrição precisa com as informações locais, apresentando as informações empíricas, em conformidade com a condições do ambiente mapeado, e ainda, com a classificação de potencial como alto, médio e baixo.

De todo modo, as análises sobre os conceitos abordados em cada projeto foram verificadas e apontadas, dando ênfase a coerência dos objetivos de cada projeto.

#### 4.3.2 Análise da acurácia espacial dos dados:

Para o processo de análise e comparação das informações espaciais, realizado através do cruzamento dos dados referente as manchas de inundação observadas, sendo adicionado posteriormente todas as manchas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Serão inseridos também, os dados (georreferenciados) de campo provenientes dos mapeamentos de Cota de Inundação de cada Município oriundas da Defesa Civil Municipal, o qual foi utilizado como dado principal para as análises comparativas (Fluxograma 3).

Fluxograma 3 - Procedimentos utilizados para alcançar os resultados desejados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Estes dados serão utilizados como informação geoespacial de referência ou real para a comparação analítica dos produtos existentes. Para os municípios de Rio do Sul e Brusque serão utilizados dados referentes as cotas de inundação do evento ocorrido no ano de 2011, sendo em Rio do Sul atingindo a cota máxima de 12,96

metros e Brusque com 12,98 metros. Para a cidade de Itajaí os dados referentes a inundação de 2008, atingindo o pico de 4,50 metros.

A precisão sobre as cotas de cheias para os municípios da pesquisa tornou-se fundamental na avaliação, visto que, essas cotas foram implementadas com base nas informações históricas de cada evento de cheia, com a identificação dos níveis dos rios, desta forma, indicando os anos com as maiores ocorrências dos picos de cheias. De um modo comparativo no processo inicial de análise, foi inserido o dado referente a mancha de inundação oficial dos municípios, onde posteriormente será lançado os produtos pré-existent das instituições, assim validados nesta pesquisa. Sendo que todos estes produtos serão comparados para verificar a precisão e eficiência sobre a matriz de confusão em relação as informações ditas como verdades de campo, assim, registradas pelos municípios.

Cada mapeamento será classificado tendo em vista a “taxa de acerto” em relação as áreas coerentes com as inundações em campo. Para aumentar a confiabilidade das informações, serão utilizadas as informações de cotas registradas pelos municípios através da Defesa Civil Municipal, consultadas e utilizadas através do site de cada município.

Sabe-se que o resultado de acerto de cada mapeamento depende também da escala com o qual cada produto foi gerado, de acordo com a metodologia utilizada, no caso dos municípios da pesquisa serão utilizados além da régua de nível no Rio, o cadastro com o uso de GPS geodésico das cotas de cheias nas ruas, assim, correlacionando o nível do rio com a exatidão da cota de cheia a ser atingida, Desta forma, será possível identificar também qual a escala mais adequada para este tipo produto (mapas de inundação).

Com todas as informações cartográficas no formato shapefile (.shp) incorporadas dentro do ambiente SIG, será possível avaliar o desempenho das manchas de inundação e aferir os resultados em relação a geometria das verdades referente as taxas de acertos e as áreas de erros representadas em campo.

O cálculo da sobreposição dos polígonos e das verdades registradas serão identificados por meio da ferramenta de geoprocessamento para análise espacial. Com o resultado das intersecções entre as manchas será possível levantar as áreas onde existem um aumento na representação das manchas, ou ao contrário, assim,

será possível também identificar as áreas de acerto sobre os mapeamentos consolidados nesta pesquisa. As comparações dos resultados serão realizadas com base no método para determinar a qualidade dos resultados da simulação de inundação por classificação binária, assim proposto por (Jafarzadegan e Merwade 2017), o qual denominou de precisão os acertos do mapeamento em relação a área inundada e sensibilidade os acertos do mapeamento em relação a área não inundada. Quanto mais próximo de 1, melhor o acerto dos modelos de precisão e sensibilidade. A matriz de confusão aplicada mostra as frequências de classificação para cada classe prevista de um determinado modelo, conforme figura 7.

Tabela 2 – Classificação binária das frequências sobre as manchas comparadas.

		Mancha Comparada	
		Sim	Não
Mancha de Referência	Sim	Verdadeiro Positivo	Falso Negativo
	Não	Falso Positivo	Verdadeiro Negativo

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Nesta sequência, foi realizado a análise da qualidade espacial de cada produto existente, desta forma sendo possível avaliar e comparar qual melhor modelo aplicável para cada tipo de desastre.

Os produtos existentes, os quais constatados que houve alguma omissão por parte da CPRM em não mapear de forma abrangente determinadas áreas que historicamente possuem algum tipo de risco às inundações, ou seja, se nos produtos apresentados pela CPRM, os quais possuem pequenas áreas mapeadas, assim, será identificado a finalidade de cada produto gerado, e se realmente atendem à proposta do projeto elaborado.

Posteriormente foi consultado através do site MapBiomas, todas as manchas urbanas dos municípios, as quais serão comparadas com as manchas de inundação existentes, de modo que, possa ser verificado se CPRM mapeou somente as pequenas áreas, talvez, porque sejam as mais vulneráveis dentro da área urbana do município. De todo modo, será comparado as manchas urbanas com as cartas de perigo, de risco e de suscetibilidade da CPRM, onde será demonstrado caso haja alguma incompatibilidade no mapeamento, assim, caracterizando uma omissão, não

somente em relação a qualidade cartográfica dos produtos apresentados, mais também em relação a estas áreas que ainda faltam ser mapeadas e incorporadas a plataforma da CPRM.

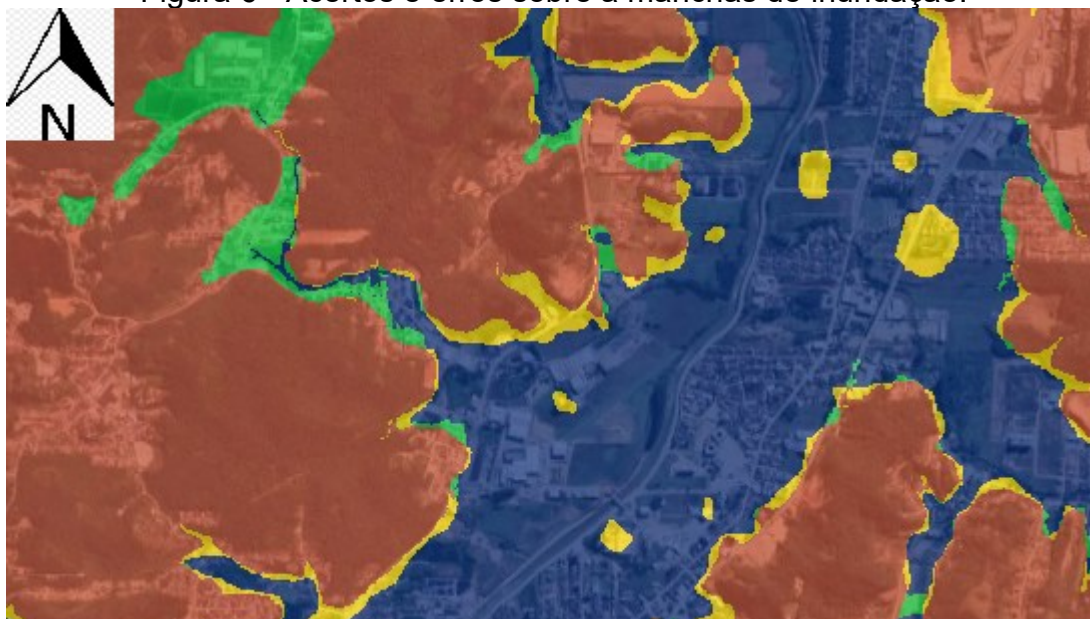
É notório que existem uma diferença cartográfica nos mapeamentos realizados, mas também há uma diferença conceitual no objetivo principal para a produção destes produtos. Todos os mapeamentos realizados pelas instituições, e utilizados nesta pesquisa possuem padrões de qualidade da informação geoespacial visíveis, sendo então integrados na gestão territorial, ou até mesmo servir como insumo cartográfico para a tomada de decisão dos gestores públicos.

Com os produtos cartográficos existentes validados, foi realizado o cruzamento dos mapas para cada município, onde ficou determinado através do método da matriz de confusão, as frequências de classificação para cada modelo gerado com as áreas suscetíveis à inundação. Este método irá avaliar o índice de acurácia do cruzamento de cada mancha de inundação, identificando os erros de omissão, que seriam as áreas inundáveis mais que não foram contempladas no mapeamento, ou seja, o modelo comparado subestimou a mancha de referência e os erros de comissão, as quais correspondem as áreas de inundação que foram dimensionadas pelo modelo de forma equivocada, causando uma extrapolação de informações no mapeamento, ou seja, o modelo superestimou a área real, bem como as taxas de acerto, como verdadeiro positivo e as áreas coincidentes, não sendo mapeada nem pela mancha de referência e nem pela mancha comparada, sendo os verdadeiros negativos, indicando assim, uma coerência nos limites entre a área observada, com as manchas de inundação oficiais.

Conforme a Figura 6, a área em azul está condicionada a representação da área observada, onde toda área de sobra em verde demonstra os erros de omissão, quando ocorre a subestimação da área, pois os dados representados no cruzamento das informações não conseguiram mapear estas áreas como sendo inundáveis. Já as áreas em amarelo, o modelo apresentado superestimou, indicando que esta área inunda, onde não verdade não inunda pelo modelo de referência, logo, isto demonstra uma relação direta entre a qualidade do produto final em relação a escala, o método utilizado, bem como, as informações cartográficas de base representadas sobre as manchas.



Figura 6 - Acertos e erros sobre a manchas de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022) – Escala 1;10.000

Já as áreas em vermelho, representando a área assim simulada e ou observada, demonstra as áreas de comissão, ou seja, houve um erro de subestimação da área analisada, então o modelo mapeou como áreas que inundam em locais onde efetivamente não inunda.

Para aplicação da matriz de confusão foi utilizado como base o limite da mancha de inundação de referência de cada município fazendo uma intersecção com os produtos cartográficos consolidados pelas instituições. Após a inserção das manchas de inundação, de referência e dos produtos existentes sobre o limite político de cada município, foi aplicado os valores na tabela de atributos, 0 para as áreas do território onde não há inundação e o valor 1 para as áreas com manchas de inundação.

O resultado de cada cruzamento das manchas de inundação, irá gerar mapas com as áreas de acertos, superestimadas e subestimadas, e acrescentadas ao resultado, tais informações servirão para identificar o percentual estatístico sobre os índices analisados para a área, que apresenta omissão, comissão e acertos das manchas de inundação geradas pelos produtos secundários, assim conferindo com os dados da verdade de campo, em conformidade com as manchas registradas pelos municípios.

Após a identificação das áreas sobre os arquivos construídos, foi realizado a conversão do arquivo de vetorial para raster, onde este arquivo gerado foi interpolado com o valor de píxel de 5 metros de modo que apresentasse uma compatibilidade em relação aos demais produtos cartográficos utilizados nesta pesquisa. Logo, com os dados organizados e separados por produtos e por município foi possível dar sequência as próximas etapas do processo.

Por fim, será determinado através do método da matriz de confusão uma carta-imagem com as áreas suscetíveis a inundação para cada município, de forma a analisar ainda se os mapas oficiais de suscetibilidade construídos pelos órgãos e comparados nesta pesquisa, possuem de fato os elementos cartográficos de um mapa de suscetibilidade, assim apresentados. Esse mapa final de cada município vai identificar o percentual em área, com a discrepância em omissão e comissão das manchas de inundação em relação aos produtos comparados, com isto, será possível identificar a acurácia do resultado de todos os produtos comparados, principalmente em municípios com condições topográficas diferentes, assim, conseguindo validar os dados produzidos pelas instituições, identificando estas áreas de inundação representadas a partir dos dados de entrada.

Neste caso, em se tratando de áreas inundáveis, temos uma avaliação do modelo gerado, onde obtemos quatro classes específicas sobre os resultados da aplicação das análises comparativas:

O uso do plugin de classificação semi-automática utilizado no software de sistemas de informações geográfica QGIS, utilizou-se a ferramenta “Land Cover Change” ou “Mudança de cobertura do solo”, onde foi permitido a comparação entre duas classificações para avaliar as mudanças sobre as manchas de inundação. A saída dos arquivos comparados demonstra a mudança de cobertura sobre as manchas de inundação.

O resultado da estatística das mudanças sobre a cobertura das manchas de inundação comparadas em píxel, ou seja, ele define o valor total do píxel das manchas e faz uma distribuição dos valores do píxel para cada matriz.

Após o resultado dos cruzamentos das manchas de inundação de referência para cada município em relação as manchas de inundação de cada produto elaborado tanto pela CPRM quanto pela Defesa Civil Estadual, será realizado o

cálculo da área em km<sup>2</sup> e em percentual, de acordo com a distribuição dos valores do píxel, conforme Equação 1 e 2.

Neste caso, foi adotado o critério do valor do píxel multiplicado pelo fato de escala médias das manchas e inundação 1:25.000, assim dividido por 1.000.000. Logo chegando ao valor da área em km<sup>2</sup> de cada estatística comparada na matriz de confusão.

Com os valores em km<sup>2</sup> foi possível a conversão da distribuição da estatística em percentual e, desta forma, possibilitou aplicar a métrica entre a precisão e a sensibilidade.

Para a definição da métrica, foi utilizado o método de classificação binária, o qual é aplicável em áreas com pequenas variações de inclinação, com bom desempenho em cheias simulação (Stephens et al. 2014; Samela et al. 2017), e é, portanto, apropriado neste estudo. A matriz bidimensional inclui quatro cenários, com precisão baseada em uma comparação com os resultados referente a mancha de inundação e referência e a mancha comparada.

- **O Verdadeiro positivo (TP)**: ocorre quando no conjunto real, a classe que estamos buscando foi prevista corretamente no modelo. Ou seja, áreas inundáveis modeladas correspondem a realidade;

- **Falso positivo (FP)**: ocorre quando no conjunto real, a classe que estamos buscando prever foi prevista incorretamente.

**Verdadeiro negativo (TN)**: ocorre quando no conjunto real, a classe que não estamos buscando prever foi prevista corretamente.

**Falso negativo (FN)**: ocorre quando no conjunto real, a classe que não estamos buscando prever foi prevista incorretamente.

Uma vez que a área de referência e a área comparada são determinadas, a precisão do produto foi avaliada pelo cálculo da medida de precisão e sensibilidade, com base nas equações (1) e (2).

$$Precisão = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$\textit{Sensibilidade} = \frac{TP}{FN + TP} \quad (2)$$

Logo, a precisão irá tratar somente dos acertos positivos, ou seja, ele irá utilizar os verdadeiros positivos do modelo, e irá dividir pela soma dos (TP + FP), assim ele irá pegar todos os valores o qual foi previsto como verdadeiro (Inundável), e fazer a razão entre o que o modelo acertou e o total, logo, a porcentagem dos acertos, dos itens que foram classificados como positivos, os quais são verdadeiramente positivos.

Neste caso, só uma acurácia muito alta, que é o valor da razão entre o número de acertos e o total da amostra, não quer dizer que o modelo é perfeito.

Já a sensibilidade identifica a relação dos acertos com os valores originais do modelo para avaliação, e ele irá pegar os TP (verdadeiros positivos) e dividir pela soma dos TP (verdadeiros positivos) + FN (falso negativo), ou seja, tudo que o modelo falar que é positivo, ele irá pegar aquela razão e dividir os acertos pelo total de positivos da amostra.

No caso de inundações, a previsão do modelo gerado é de suma importância, pois a taxa de acerto, trata das áreas suscetíveis a serem inundadas, que em vários casos, tratam da relação de vidas humanas nos locais onde existe o perigo.

## 5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos em: análises conceituais e acurácia espacial, e estão respectivamente descritos abaixo.

### 5.1 ANÁLISE CONCEITUAL

Os resultados das análises conceituais apresentadas estão condicionados a relação dos conceitos apresentados na pesquisa com as informações cartográficas existentes nos produtos, foi levado em consideração à forma de representação dos dados espaciais e se os mesmos estão coerentes com os conceitos abordados na pesquisa.

O produto “Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações” elaborado pela CPRM apresentou informações significativas sobre os diversos conceitos utilizados na pesquisa, pois há uma definição coerente sobre a suscetibilidade, o qual no projeto está condicionada a uma determinada área em relação à possibilidade de um fenômeno que possa trazer algum perigo, e ainda quando há um determinado fenômeno, seja geológico ou hidrológico, assim referente a possibilidade de ocorrer diversas consequências sociais, econômicas e ambientais.

Os produtos cartográficos apresentados no projeto da CPRM também possuem coerência com os conceitos identificados, pois mencionam informações de base, as quais devem, necessariamente, constar nos mapas de suscetibilidade, pois para elaboração destes produtos é preciso entender a dinâmica do território, identificando os aspectos físicos, como a hipsometria, declividade, padrões de relevo, o que de fato, foi realizado na elaboração do mapeamento de suscetibilidade, atendendo assim, os critérios conceituais.

O segundo produto utilizado na pesquisa é a “Setorização de risco geológico”, a qual apresentou como risco geológico, a caracterização das porções do território do município sujeitas a sofrerem perdas ou danos causados por eventos adversos de natureza geológica. Percebe-se que o conceito apresentado neste projeto possui uma harmonia com o conceito de risco apresentado na referência bibliográfica, pois

retratam de uma forma geral, a probabilidade de ocorrência do fenômeno e as consequências potenciais sociais, econômicas e ambientais, assim provocadas.

Os produtos cartográficos específicos apresentados neste projeto abordam informações de referência, com a identificação dos setores de risco, atribuindo ao local do evento à tipologia existente de desastre, bem como, a definição do grau de risco, aplicando as áreas com alto e muito alto risco a ocorrências dos fenômenos geológicos, o que acarretará em perdas, principalmente de vidas humanas.

O terceiro produto utilizado é o “Santa Catarina: A gestão de riscos de desastres no contexto do planejamento estratégico para o aumento da resiliência a perigos naturais”, aborda diversos conceitos relacionados na pesquisa, como a gestão de riscos e desastres, a qual condiciona ao gestor público as ações devidas de planejamento, coordenação e execução de políticas públicas voltadas a uma gestão de riscos mais eficiente, com ações contínuas e emergenciais, com a elaboração de planos e estudos, focado no processo de redução dos riscos.

O perigo à inundação também é abordado no projeto do banco mundial, ou seja, no mapeamento realizado a atenção ao tema foi priorizada em função de que a inundação é uma forma de desastres que mais causam danos, principalmente sociais e econômicos. Neste projeto o termo “susceptibilidade” está relacionado ao ponto até o qual, um perigo pode afetar um determinado local. É citado também os termos de perigo natural, que quando desencadeado, tem o potencial de causar efeitos negativos em uma localização específica, durante um determinado período, desta forma, caracterizando um mapa de perigo.

O termo vulnerabilidade também é representado neste projeto, com as condições físicas pré-existentes as quais podem ser afetadas pela ocorrência de um fenômeno natural, ocasionando efeitos negativos em diversos processos, serviços e produção.

Logo, há uma integração neste projeto quanto ao mencionado por Tucci (2001), pois possui características de Mapas de Inundação para o “planejamento”, onde apresentam informações relevantes para determinados tempos de retornos.

Os produtos cartográficos elaborados possuem características restritas à mapas de susceptibilidade visando o planejamento, visto que, ele funciona como um dado orientativo as áreas de inundações, pois além de identificar de modo pouco

preciso as manchas de inundação, fazem relação as informações cartográficas socioeconômicas, definindo indicadores dos possíveis locais que sofrerão perdas e os locais com alguma exposição econômica às inundações.

Toda base cartográfica está contida em um servidor de dados geográficos, separadas por temas, onde há 3 manchas de acordo com o período de recorrência, para 50, 100 e 1.000 anos, apresentando um fatiamento quanto aos valores de cotas, já os dados de perdas possui informações relativas aos valores em reais das possíveis perdas econômicas para cada setor analisado.

O quarto produto analisado para a análise comparativa é referente ao projeto elaborado “Plano de monitoramento hidrológico do Estado de Santa Catarina”. Para fins de comparação dos conceitos apresentados, o projeto cita conceitos hidrológicos de simulações de cheias, com a construção de manchas de inundação, apresentando uma definição relacionada ao tema, visto que, o projeto atendido visa também uma gestão dos riscos de desastres nos municípios atendidos, desta forma compatibilizando com o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres Naturais (PNGRRDN), onde são citados alguns direcionamentos e objetivos integrados, principalmente no que tange a elaboração de mapas de suscetibilidades, de riscos, entre outros, logo, há uma consolidação de ações de modo a se obter conhecimentos cada vez mais precisos sobre os riscos, visando assim, a criação de alternativas para a redução desses elementos.

Em relação aos dados cartográficos elaborados, atendem as informações, escalas e critérios para construção de dados espaciais e são utilizados para comparação analítica em relação aos dados de inundação de referência. No arquivo de simulação apresentado há uma definição quanto aos valores máximos e mínimos definidos por município.

Todas as informações elaboradas nos projetos citados possuem uma coerência em relação aos conceitos cartográficos, visto que, são compostos por uma representação gráfica e escrita das condições de risco, em conformidade com as ameaças, perigo e vulnerabilidade particulares de cada região. Ainda, há elementos da cartografia de risco, a qual poderá ser de componente geológica e ou hidrológica, caracterizando um conjunto de dados espaciais de diversos riscos.

As cartas de setorização de risco a movimentos gravitacionais, bem como as cartas de perigo, demonstram com clareza as informações contidas em um mapa utilizando cartografia geotécnica, pois neles constam informações principalmente no aspecto das formas de relevo e a dinâmica atuante dos processos erosivos, impactando diretamente no uso e ocupação do solo.

Já os dados cartográficos apresentados nos Mapas de suscetibilidade, do banco mundial, as cartas de inundação da defesa civil estadual, possuem informações e conceitos relacionados a cartografia de risco aplicado as inundações, pois apresentam informações com a definição das áreas suscetíveis e ou vulneráveis à inundação. Em todos estes produtos cartográficos, há construções de mapas com as delimitações de manchas de forma dinâmica e contínua, de modo que, possa informar as pessoas, as suscetibilidades reais, permitindo desta forma, uma reação antecipada ao evento. A visão cartográfica das manchas de inundação permite a delimitação de zonas próximas aos rios, verificando a probabilidade destas zonas serem impactadas ou não por algum desastre.

Assim, o conceito da cartografia de riscos, o qual poderá representar um conjunto de mapas temáticos, que espacializam os diversos fenômenos atuantes, aplicando técnica de campo e metodologias de uma determinada área, é uma ferramenta essencial, visando uma gestão adequada do território, e principalmente informando as pessoas a necessidade de não se ocupar estas regiões.

Os resultados previstos na elaboração desta pesquisa estão condicionados a partir da modelagem dos dados, com a criação de uma nova cobertura da mancha de inundação para os municípios, o qual, terá que apresentar uma eficiência quanto a área a ser representada, identificando a precisão e sensibilidade das manchas de inundação comparadas, porém deve ser analisado os resultados do modelos em cada município em função da topografia destes, pois a eficiência representada na distribuição das manchas de inundação deverá ser compatível com o relevo, desta forma, verificando o desempenho do modelo em acertar as áreas suscetíveis a inundação, e ainda validando os mapeamentos que tiveram alguma comissão ou omissão em dados cartográficos já consolidados para estes municípios.

Com base nos cruzamentos das informações espaciais dos produtos existentes, além de identificar as áreas que apresentaram algum falso negativo



(dados não mapeados pelo modelo), bem como falso positivo (com os dados mapeados além do limite da mancha de referência dos municípios). De toda forma, deverá apresentar neste cruzamento, a representação dos locais onde os resultados das intersecções aplicadas apontam que inunda e os dados de referência dos municípios não apontam estes locais como inundáveis, bem como os apontamentos dos locais onde os resultados das análises dizem que não inunda, e os dados de referência dos municípios com base no históricas das cotas de cheias dizem que inunda, assim, e ainda os verdadeiros positivos, sendo a taxa de acerto na comparação entre as manchas e o verdadeiro negativo, sendo as áreas comparadas tanto na mancha referência e a comparada realmente não inundam. Assim, foi possível analisar quais as formas de relevo que interferem no resultado apresentados.

Mapa de suscetibilidade a inundação, irá apresentar de forma espacial as áreas propensas a serem atingidas pelas inundações. O mapa fornecerá base para quantificação em percentual das áreas suscetíveis a inundação para os municípios de Rio do Sul, Brusque e Itajaí, de acordo com as taxas de acertos.

Por fim, apresentado um Banco de dados espaciais onde as informações georreferenciadas representadas pelos mapeamentos elaborados, bem como os dados raster (MDE e Ortofoto) disponíveis para consulta e atualização no banco de dados geográficos.

Dando sequência aos resultados foram definidas a classificação dos produtos cartográficos por município quanto aos termos e conceitos relacionados a temática de desastres sionaturais.

Neste sentido apresenta-se os produtos analisados, relacionando-os com os termos e conceitos associados a temática de desastres. Para tanto, é necessário lembrar de alguns conceitos importantes, como suscetibilidade, perigo e risco. A suscetibilidade, considera as características de geomorfologia, hidrografia e precipitação, as quais podem tornar o local suscetível a inundação. Ainda as interferências como mudança do nível de base, desvios e retinizações de canais, são interferências humanas que podem contribuir para tornar um determinado lugar suscetível a inundação. Nestes termos, pode-se considerar a suscetibilidade ou não como uma característica inerente ao meio natural, mas que pode ser intensificada

com a ação antrópica. A suscetibilidade é o passo inicial para análise, pois é desta maneira que se identifica o perigo a inundação.

Perigo é, segundo Castro (1998), tanto o fenômeno em potencial quanto o fenômeno em si. O perigo ocorre quando um evento extremo acontece em áreas ocupadas por uma população, causando interrupções na situação de normalidade (Marandola e Hogan, 2003). O termo hazard recebe diferentes traduções, mas não há na língua portuguesa uma palavra que corresponda exatamente. Os autores que trabalham o tema áreas de risco na Geografia no Brasil traduzem o termo hazard como perigo. O perigo é a indicação da área inundável, porém se além de indicar a área passível de ser inundada, for também apontar as possíveis perdas e danos que a inundação pode ocasionar, considera-se que há um risco. Veyret e Richemond (2007), descrevem que risco é a percepção de um perigo possível, mais ou menos previsível por um grupo social ou por um indivíduo que tenha sido exposto a ele. Cerri e Amaral (1998) definem risco como a probabilidade da ocorrência de um evento que causa perdas e danos. Castro apud Real Academia Española (2000) descreve que a palavra risco implica na proximidade de um dano, desgraça ou contratempo econômico.

Fatores como a susceptibilidade de uma determinada área, relacionados à vulnerabilidade e ao perigo, pressupõe, sempre a perda. Essa relação da probabilidade da ocorrência de um acidente associada o grau de vulnerabilidade do sistema receptor é dado como risco. Palácios et al. (2005) já afirmam que risco pode ser estimado pelo provável número e características de perdas humanas, feridos, propriedades danificadas e interrupção de atividades econômicas que podem produzir um desastre. Cerri e Amaral (1998) descrevem que existem riscos sociais, antropogênicos, biológicos e riscos físicos. No caso do estudo dessa pesquisa, vale ressaltar a importância do conhecimento das esferas dos riscos físicos conhecidos como hidrológicos, os quais englobam as inundações, tema de estudo da presente pesquisa. Neste sentido, foram analisados os modelos de inundação já existentes, identificando sua tipologia dentro da temática. A discussão acerca da apresentação dos produtos, foi elaborada a partir do conhecimento do significado de cada termo, classificando os produtos como setorização de suscetibilidade a inundação (P1), setorização de riscos (P2) e (P3), e, por fim o mapeamento do perigo a inundação

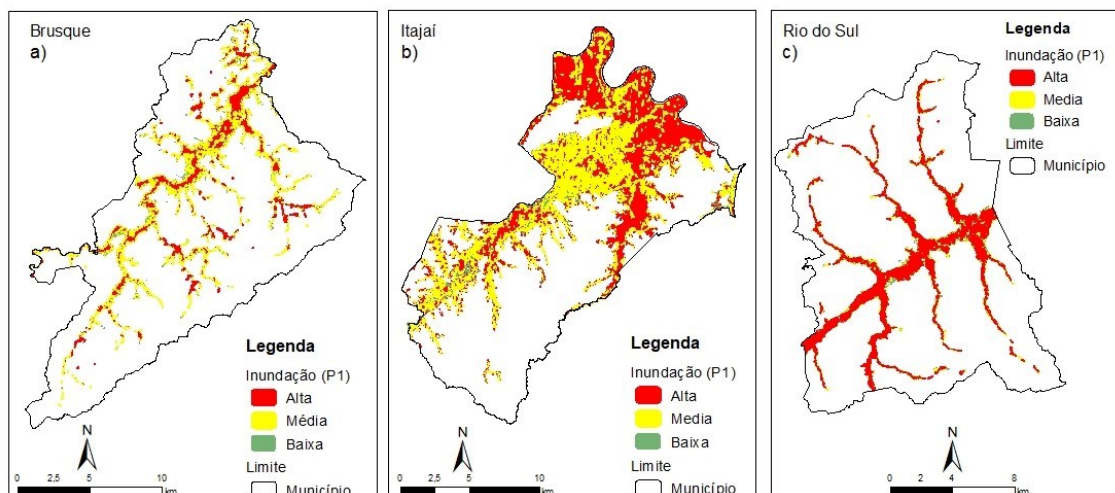
(P5). Toda a descrição para assim classificar P1, P2, P3 e P4, são descritos a seguir.

#### 5.1.1 Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - P1

O produto “Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações” - P1, elaborado pela CPRM para os municípios de **Rio do Sul, Brusque e Itajaí, figura 7**, mostra a setorização da possível ocorrência de inundações por classes de acordo com a intensidade, representadas na escala 1:25.000 em setores de baixa, média e alta suscetibilidade. Tal classificação em setores, permite enquadrar o P1 como de fato uma carta de suscetibilidade, visto que seu conceito está atrelado a intensidade ou escala de um determinado ambiente a sofrer impacto frente a um perigo natural (UNDP, 2004; IPT 2007). Ainda a suscetibilidade, pode ser entendida como a predisposição a ocorrência de perigos condicionados pelas características do meio físico natural, ou seja, a suscetibilidade vai depender da geologia, geomorfologia, pedologia, dinâmica climática local e uso e ocupação da terra. Saito (2004) descreve a suscetibilidade como uma característica inerente ao meio, a qual representa a fragilidade do ambiente, seja por condições naturais ou antrópicas que podem desencadear na ocorrência de um evento perigoso. Neste sentido, a autora considera que tanto os aspectos do meio físico natural, como de intervenções humanas, podem tornar o ambiente suscetível a perigos como movimentos de massa, inundação, enxurradas, dentre outros.

As cartas de inundação da CPRM analisadas nesta pesquisa, foram elaboradas a partir do estudo das características do meio físico natural de cada um dos municípios, levando em consideração (segundo nota técnica explicativa do documento) o relevo, por meio de fotointerpretação de imagem de satélites e produtos derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), como hipsometria, curvas de nível, declividade e relevo sombreado. Tais características inerentes ao meio físico natural foram analisadas para identificar a suscetibilidade dos municípios a inundação.

Figura 7 - Mancha de suscetibilidade dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul (P1).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A suscetibilidade a inundação no município de Brusque corresponde a 13,2% da área total do município, o município de Itajaí possui 40% da sua área total como suscetível a inundação, e o município de Rio do Sul 10,7% da sua área total. Ao analisar relevos, a CPRM (2012), atribuiu pesos a fim de setorizar as áreas que indicam predisposição ou potencialidade a inundações, sendo as plan cias com alta suscetibilidade a inundação, as baixadas al vios coluvionares intermediárias e os terraços de modo geral, rampas de alívio-colúvio e depósitos tecnogênicos admitidos como áreas de baixa inundação (CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2012). A Tabela 3 mostra o percentual das de inundação para cada classe (alta, média e baixa) em cada município.

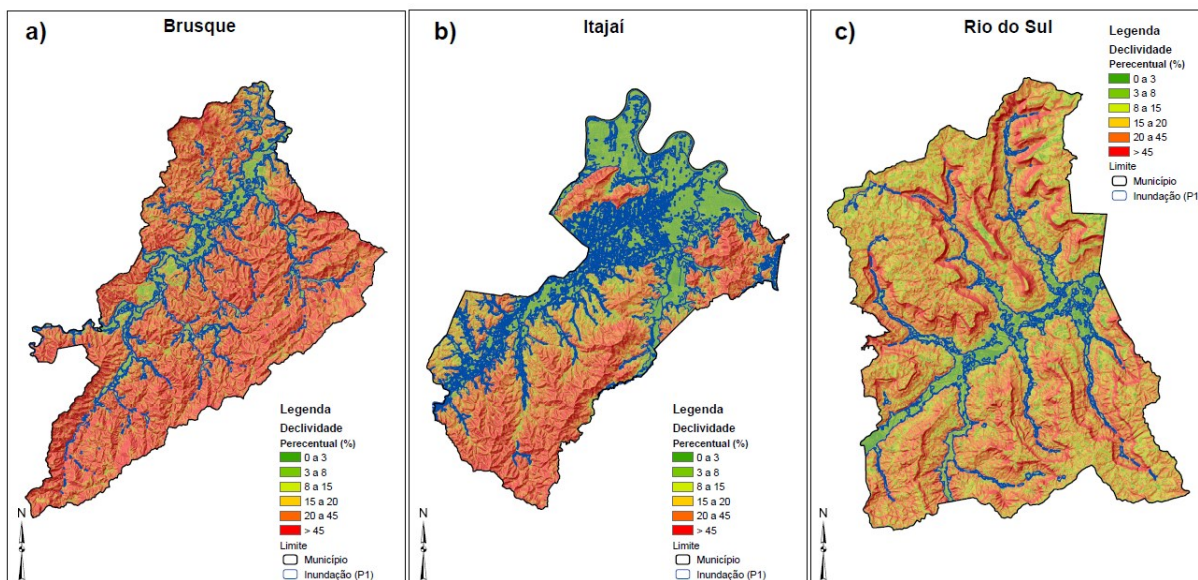
Tabela 3 - Estatística do percentual de classes de inundação nos municípios.

Brusque	�rea (km <sup>2</sup> )	%	Itajaí	�rea (km <sup>2</sup> )	%	Rio do Sul	�rea (km <sup>2</sup> )	%
<b>Município</b>	<b>284.74</b>		<b>Município</b>	<b>288.64</b>		<b>Município</b>	<b>260.8</b>	
<b>Alta</b>	<b>23.66</b>	<b>8.3</b>	<b>Alta</b>	<b>83.42</b>	<b>28.9</b>	<b>Alta</b>	<b>19.02</b>	<b>7.29</b>
<b>Média</b>	<b>9.56</b>	<b>3.35</b>	<b>Média</b>	<b>22.3</b>	<b>7.72</b>	<b>Média</b>	<b>7.05</b>	<b>2.7</b>
<b>Baixa</b>	<b>3.17</b>	<b>1.11</b>	<b>Baixa</b>	<b>11.95</b>	<b>4.14</b>	<b>Baixa</b>	<b>2.13</b>	<b>2.13</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Observa-se, que nos fundos de vale, há uma maior probabilidade de inundação, em função da interferência direta da declividade, **figura 8**, contribuindo no acúmulo superficial, logo, indicando as áreas com maiores susceptibilidades.

Figura 8 - Declividade dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

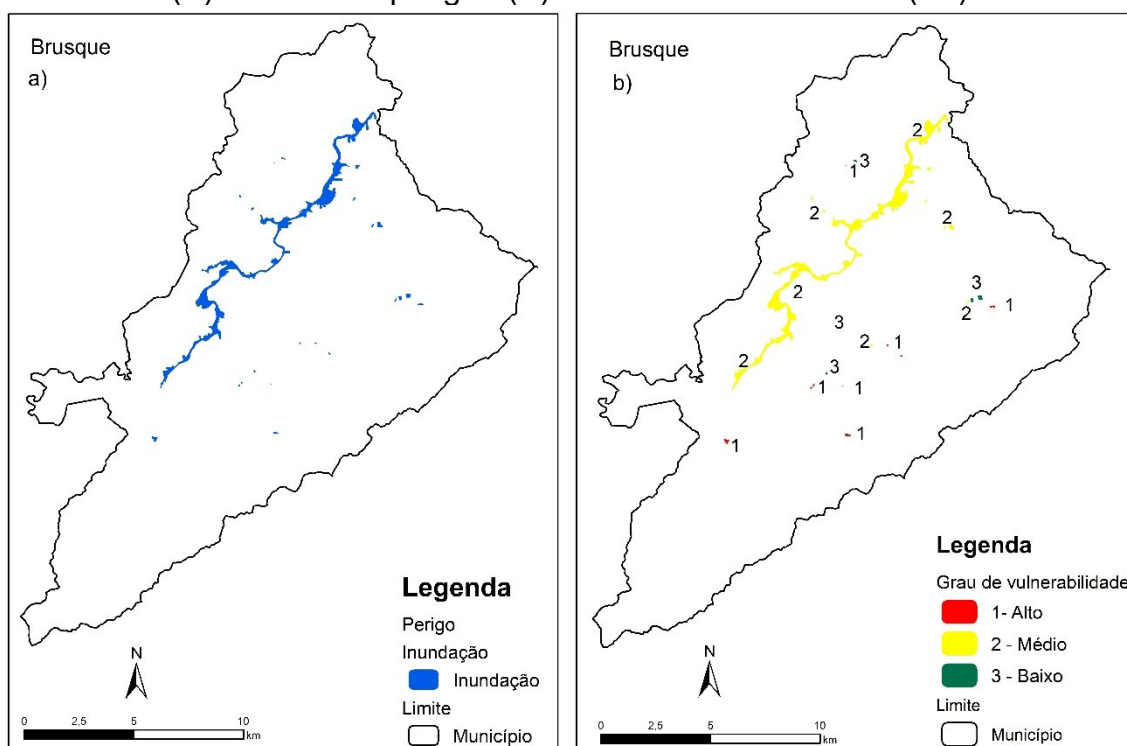
A declividade, assim como a altitude, o uso da terra e a pluviosidade, influencia no nível de inundação. Nota-se pela Figura 9 que as classes com declividades inferiores a 8%, são áreas mais sujeitas a ocorrer as inundações. Os municípios de Brusque e Rio do Sul apresentam áreas de classes de alta declividade em todo entorno da bacia, o que favorece o rápido escoamento das águas pluviais e fluviais em direção ao rio principal, com maior área de inundação entre as maiores classes no município de Brusque, sendo as menores declividades apenas ao longo do rio principal da bacia. Em Itajaí, município localizado no baixo vale da bacia hidrográfica do Itajaí-Açu, as declividades se encontram em classes mais baixas, sendo as mais elevadas encontradas apenas na porção meridional do município. Por fim, no município de Rio do Sul predominam as classes médias e altas de declividade, o que pode ser um fator de risco no processo de inundação nas áreas de planície.

### 5.1.2 Setorização de Risco Geológica – P2

A setorização de risco realizada – P2 pela CPRM em escalas 1:1.000 e 1:2.000, abrange todos os municípios estudados nesta pesquisa, mostrando tipologias de risco associados a movimentos de massa. Quanto as inundações, o P3 apresenta o mapeamento apenas para o município de **Brusque**.

Condizente com o conceito de risco apontado nesta pesquisa por meio de Varnes (1984), Tominaga (2007) e Montoya (2013) e UNDP (2004), os quais se referem ao termo como a probabilidade de ocorrência de um fenômeno perigoso em interação com as condições de vulnerabilidade local, o P3 mostra os possíveis prejuízos econômicos caso o perigo de inundação se concretize. O termo risco está atrelado a vulnerabilidade, porque é ela quem indica a exposição socioeconômica ou ambiental de um cenário sujeito ao perigo, portanto, para se obter o mapa de risco, é necessário também conhecer a vulnerabilidade do elemento, sistema ou área a ser atingida. Neste sentido, o P2 apresenta a partir do mapa de perigo, o mapa de vulnerabilidade do município de Brusque, conforme observa-se na **Figura 9**.

Figura 9 - Mapeamento de risco para o município de Brusque elaborado pelo CPRM:  
(A) Mancha de perigo - (B) Grau de vulnerabilidade (P3).

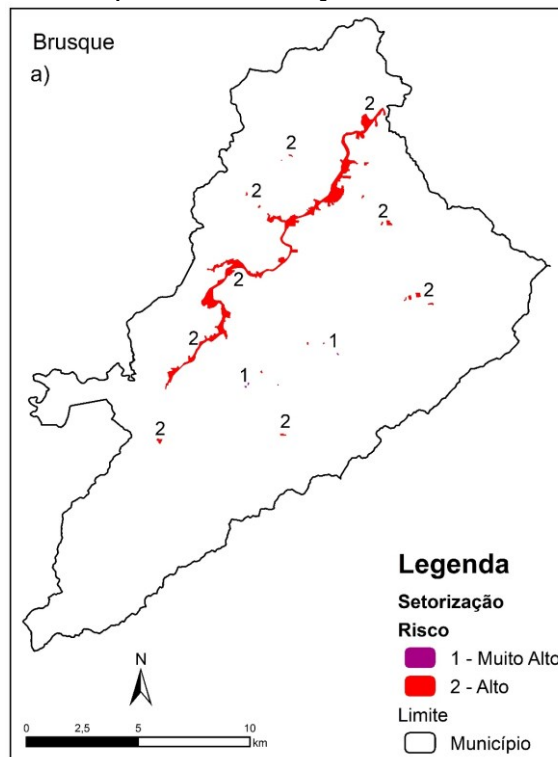


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na **Figura 9** é possível diferentes graus de vulnerabilidade, classificados de acordo com a intensidade das possíveis perdas e danos caso a inundação ocorra. O **Anexo 01** desta pesquisa exemplifica alguns dos dados utilizados para a construção do mapa de vulnerabilidade, bem como para a construção da relação entre perigo e vulnerabilidade. Neste anexo, informações sobre onde as edificações estão localizadas, tais como exemplos as casas construídas dentro da planície de inundação; ou borda de fluxo de água; a ocorrência de enxurrada em períodos de chuvas intensas e inundações em córregos, sinais de assoreamento e excesso de vegetação nas margens dos rios; assoreamento do canal, modificação no leito do córrego, como intervenções do tipo retificação e canalizações subdimensionadas; ocupações irregulares nas margens dos canais e com sinais de erosão e deposição ilegal de resíduos urbanos no leito; áreas com características de brejo e com relevo plano nos terrenos não ocupados de cotas inferiores a dos lotes industriais; vias que em períodos de chuvas intensas atingem 1,5 m de lâmina d'água; drenagens das encostas convergentes no sentido dos córregos; córregos com trechos fechados, abertos e parcialmente canalizados entre os lotes residenciais, entre outras áreas que em geral já possuem histórico de inundações.

Além das características da localização das ocupações, também foram levantadas as informações quanto ao número de casas e pessoas a serem atingidas pela inundação, bem como o tipo de edificação. Residências de alvenaria ou mistas; residências de alvenaria com rampa de acesso a garagem, muro e portão elevados para coibir a entrada de água no lote/residência; muros trincados, moradias com umidade na parede e porta danificada; registros de processos que atingem principalmente a rua e a frente de lotes levando até 24 horas para escoar a água; moradias de diversos padrões construtivos, ruas pavimentadas com obras de drenagem pluvial, córregos retificados e canalizados; ocupações industriais de alvenaria e lotes aterrados em cotas superiores ao terreno natural; moradias de alvenaria e madeira com marcas de inundações recentes nas paredes; são exemplos de informações que se encontram no banco de dados do P3 para Brusque e que subsidiaram o mapa de vulnerabilidade. A mancha de perigo somado a vulnerabilidade, a **Figura 10** apresenta o mapa de risco.

Figura 10 - Mapa de setorização de risco a inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

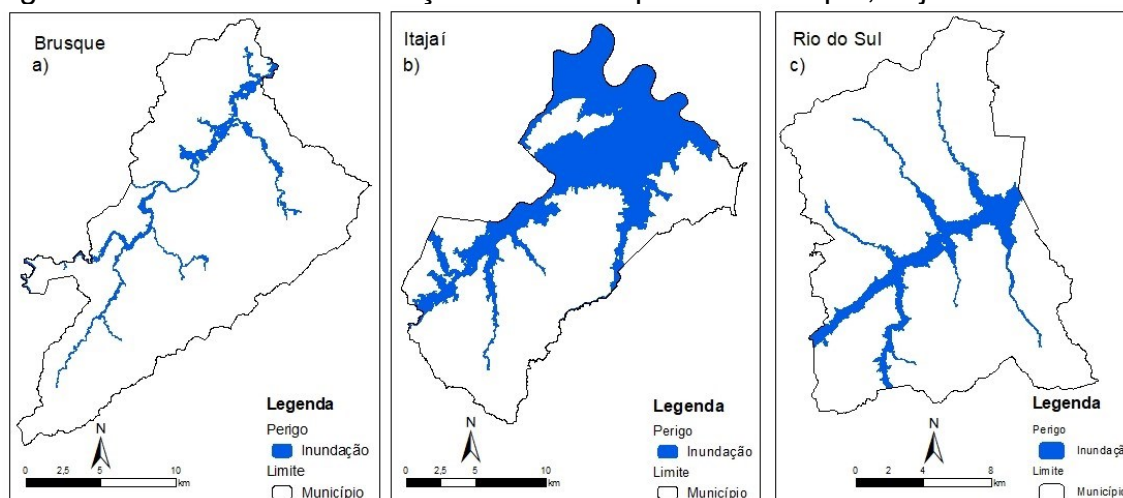
A descrição que constitui a setorização de riscos está caracterizada pelas observações in loco, correspondendo a um conjunto de atributos que dizem respeito à vulnerabilidade do sistema, em concordância com os termos de risco e vulnerabilidade utilizados nesta pesquisa. Da área total do município de Brusque o P2 considera como risco muito alto **0,000003,14 %**.

### 5.1.3 Gestão de risco para o aumento da resiliência – P3

O P3, trabalho realizado pelo Banco Mundial, intitulado como Banco “Santa Catarina: A gestão de riscos de desastres no contexto do planejamento estratégico para o aumento da resiliência a perigos naturais”, mostra a mancha de perigo de inundação para um tempo de retorno de 50 anos, conforme mostra a **Figura 11**.



Figura 11 - Mancha de inundação dos municípios de Brusque, Itajaí e Rio do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Além da mancha de inundação, a partir da contabilização dos desastres pretéritos, foi realizada uma avaliação dos possíveis prejuízos, caso o perigo a inundação se concretize, no entanto, a avaliação dos prejuízos foi mediante aos custos dos desastres anteriores. Não há espacialização das áreas por vulnerabilidade dos elementos e/ou sistemas a ser atingidos, mas sim uma estatística de perdas e danos para o futuro (tempo de retorno de 50 anos) a partir dos desastres anteriores. Também, por meio da análise dos desastres anteriores, o P3 apresenta um plano de resiliência a desastres de inundação.

Apesar deste produto ter sido elaborado com tempos de retorno para as perdas de 50, 100 e 1.000 anos, para a modelagem dos resultados desta pesquisa, utilizou-se somente o tempo de retorno de 50 anos.

A partir do mapa da mancha perigo a inundação, foi analisado o risco, cuja vulnerabilidade foi medida a partir do cruzamento das informações de probabilidade a inundação como as informações socioeconômicas do Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, porém tais informações de risco constam no relatório técnico como gráfico e não como mapas.

Considera-se que o P3 pode ser utilizado na gestão de riscos e desastres, a qual condiciona ao gestor público as ações devidas de planejamento, coordenação e execução de políticas públicas, com ações contínuas e emergenciais, elaboração de planos e estudos, com ênfase no processo de redução dos riscos. Neste sentido, apesar de adotar uma metodologia baseada em recursos que não atendem a

observação in loco, pois a vulnerabilidade foi estimada em custos a partir dos gastos com os desastres anteriores, considera-se que o P3 aborda todas as etapas previstas dentro dos conceitos até então descritos nesta pesquisa. Quanto as áreas, a Tabela 4 apresenta o percentual inundável da área de cada município. Nota-se que o município de Itajaí, no baixo vale da bacia é o que apresenta maior percentual de área inundável, seguido do município de Rio do Sul e Brusque.

Tabela 4: Percentual das áreas sujeitas a inundação nos municípios

Município	Brusque	Itajaí	Rio do Sul
Área do município (km <sup>2</sup> )	284,74	288,64	260,8
Área inundável (%)	2,9	35,06	6,71

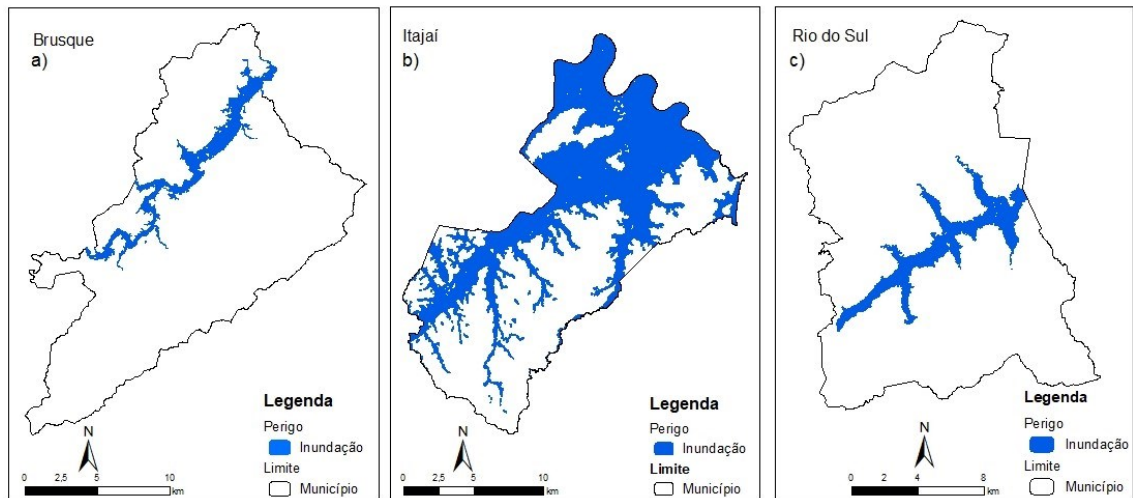
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 5.1.4 Simulação de manchas de inundação – P4

O P4 se refere aos mapas de perigo para os municípios de Rio do Sul, Brusque e Itajaí elaborado pela Defesa Civil Estadual durante o Projeto Plano de Monitoramento Hidrológico de Santa Catarina. Todo mapeamento realizado para esta pesquisa foi utilizado o produto elaborado para o tempo de retorno de 50 anos, onde, pode ser visualizado na **Figura 12**. A base da modelagem do município, foi elaborada com dados do modelo digital de terreno e levantamentos topográficos realizados na região, de forma, a contemplar a modelagem hidráulica, como parte integrante do conjunto de documentos e produtos implementados para a rede de monitoramento hidrológico de Santa Catarina.

Nesta pesquisa, o termo perigo é definido por Castro (2003), que caracteriza-o como a possibilidade de ocorrência em um determinado período e em uma determinada área, de um fenômeno natural potencialmente danoso, mas não chega a dimensionar áreas ou possíveis valores de perdas e danos, sendo considerado, portanto, perigo.

Figura 12 - Mancha de perigo a inundação do P4.

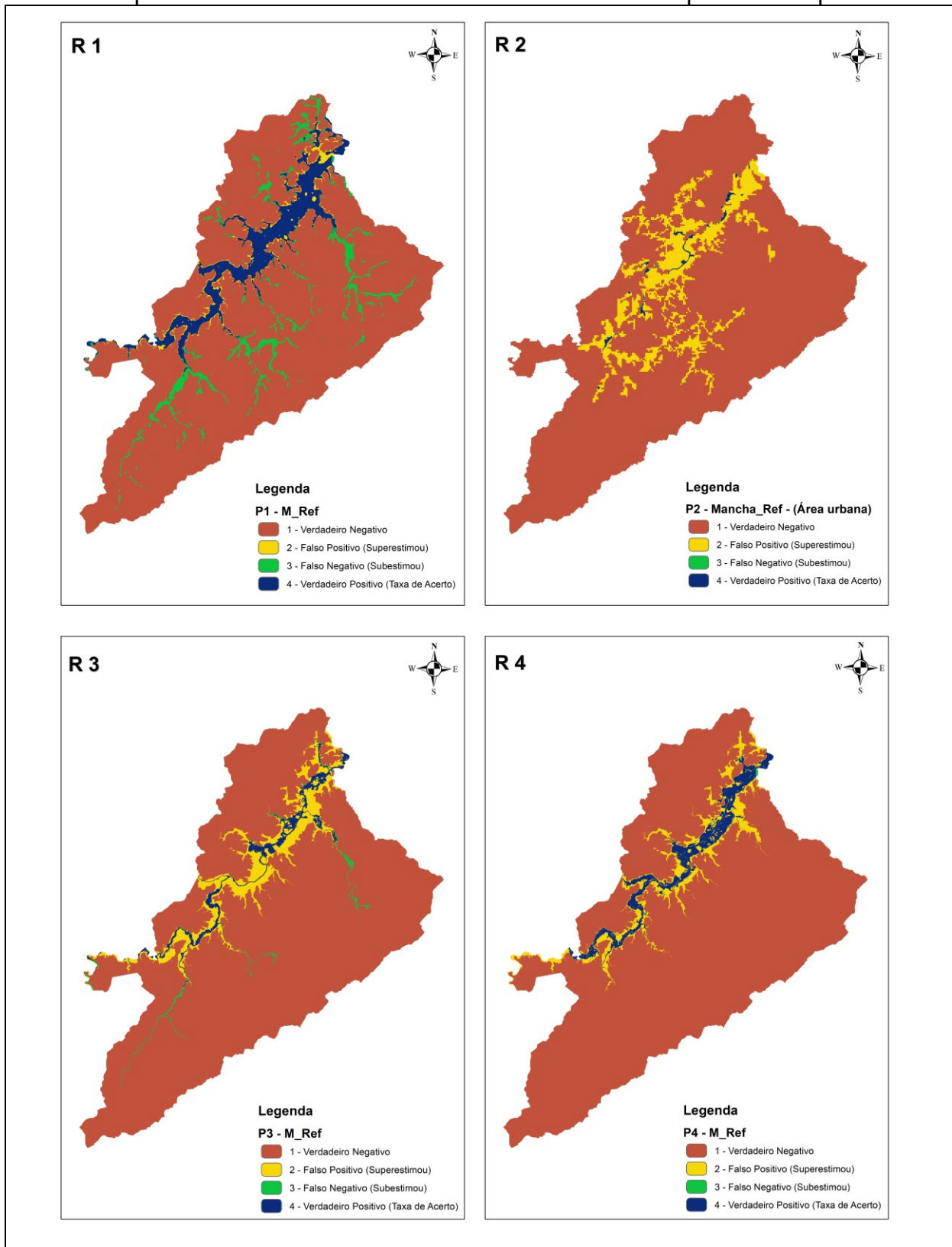


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O P4 apontou 4,2% da área total do município de Brusque como de risco a inundação. Já do município de Itajaí 28,42% foi setorizado como área como de risco alto, 11,8% de risco médio e 3% como risco baixo. Por último, o município de Rio do Sul 5,7% de área com risco a inundação.

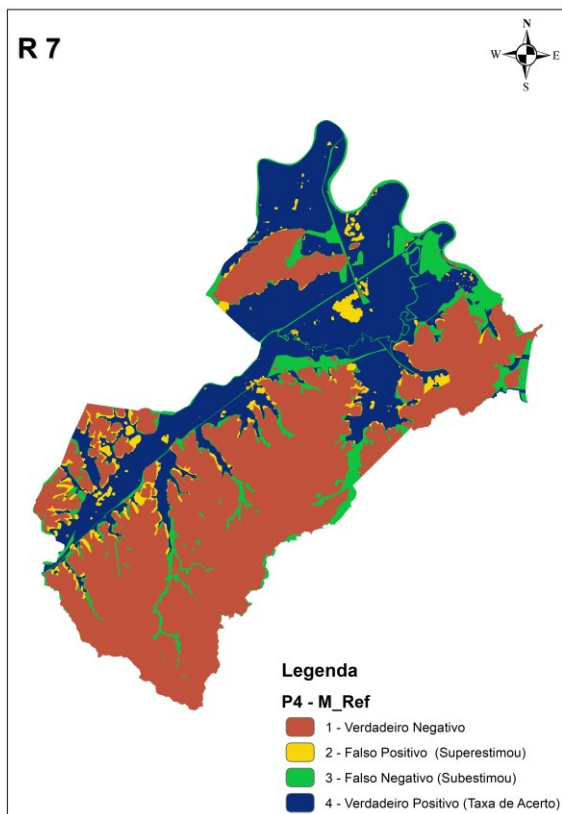
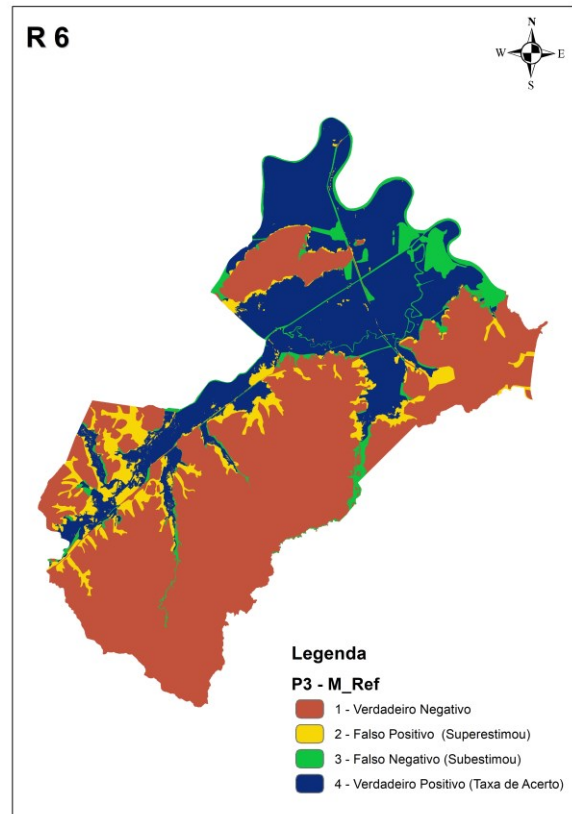
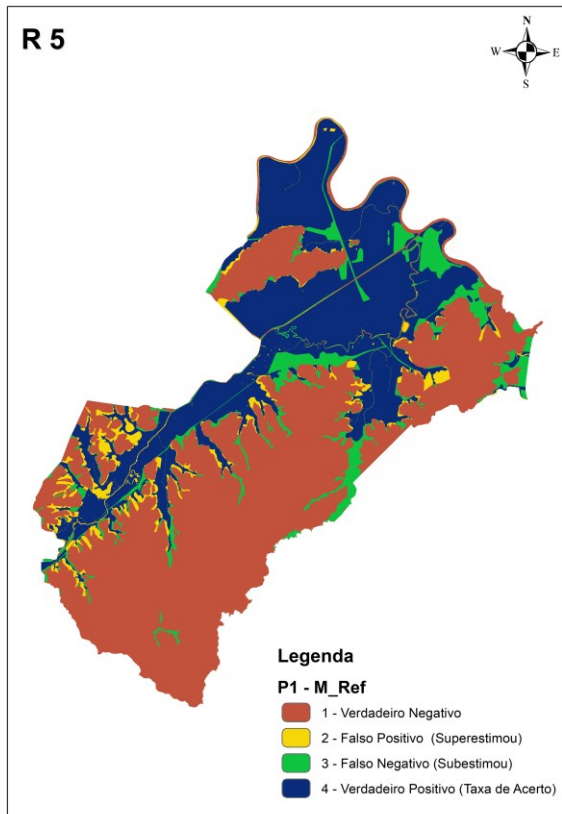
## 5.2 ACURÁCIA ESPACIAL

Mapa 1 - Resultados da matriz de confusão no município de Brusque.



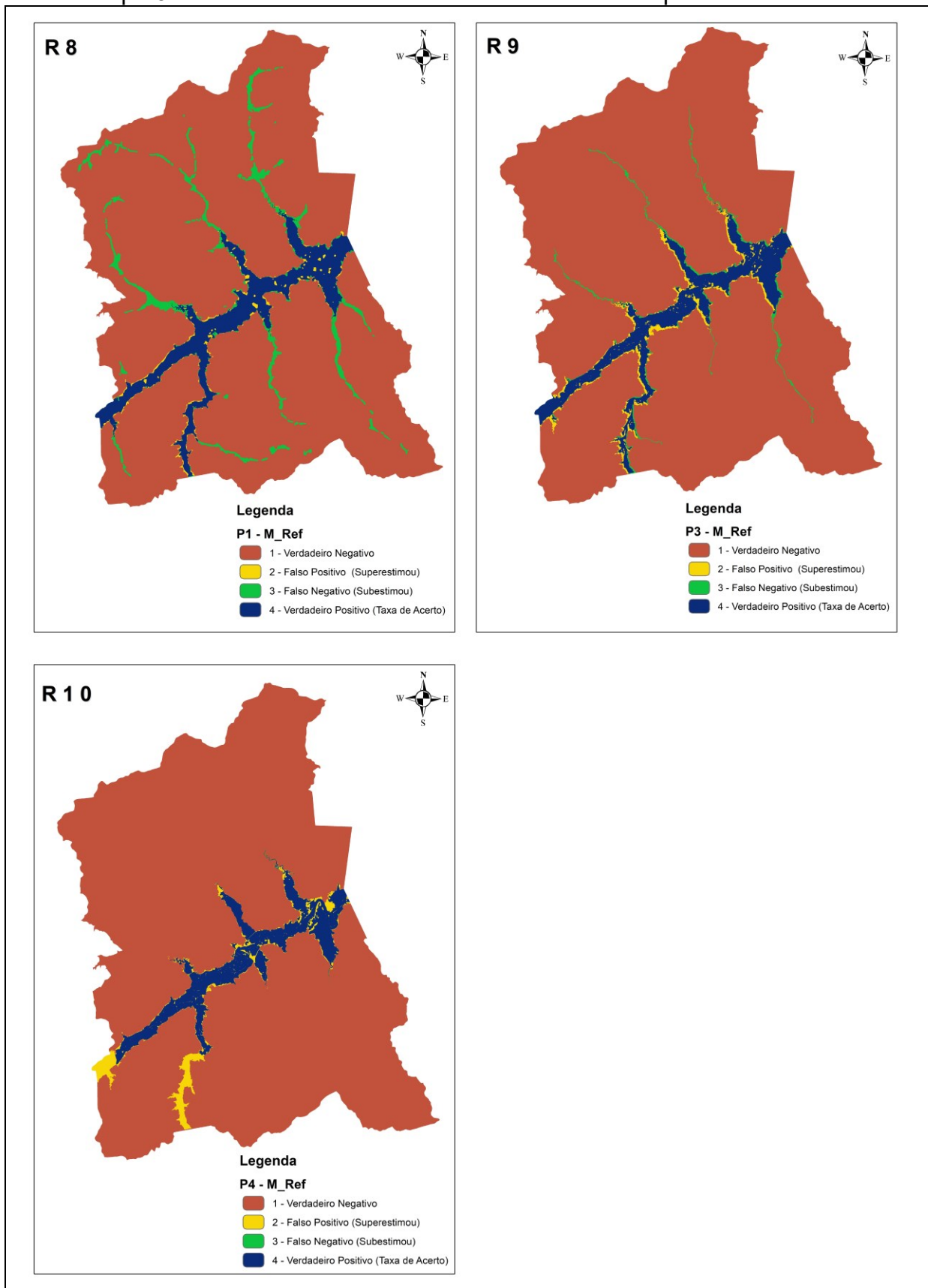
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Mapa 2 - Resultados da matriz de confusão no município de Itajaí.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Mapa 3 - Resultados da matriz de confusão no município de Rio do Sul.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Tabela 5 – (Percentual da distribuição das manchas).

<b>R1</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>7.83</b>			
	<b>VN</b>		<b>85.58</b>		
	<b>FP</b>			<b>4.96</b>	
	<b>FN</b>				<b>1.64</b>

<b>R2</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>0.47</b>			
	<b>VN</b>		<b>88.33</b>		
	<b>FP</b>			<b>0.04</b>	
	<b>FN</b>				<b>11.16</b>

<b>R3</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>2.33</b>			
	<b>VN</b>		<b>89.91</b>		
	<b>FP</b>			<b>0.62</b>	
	<b>FN</b>				<b>7.14</b>

<b>R4</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>4.13</b>			
	<b>VN</b>		<b>90.51</b>		
	<b>FP</b>			<b>0.02</b>	
	<b>FN</b>				<b>5.34</b>

<b>R5</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>32.77</b>			
	<b>VN</b>		<b>55.49</b>		
	<b>FP</b>			<b>7.80</b>	
	<b>FN</b>				<b>3.94</b>

<b>R6</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>29.31</b>			
	<b>VN</b>		<b>57.62</b>		
	<b>FP</b>			<b>5.68</b>	
	<b>FN</b>				<b>7.38</b>

<b>R7</b>		<b>Mancha Gerada %</b>			
		<b>VP</b>	<b>VN</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>Mancha de Referência</b>	<b>VP</b>	<b>32.78</b>			
	<b>VN</b>		<b>53.01</b>		

	FP			10.30	
	FN				3.92

<b>R8</b>		Mancha Gerada %			
		VP	VN	FP	FN
Mancha de Referência	VP	7.20			
	VN		88.53		
	FP			3.62	
	FN				0.65

<b>R9</b>		Mancha Gerada %			
		VP	VN	FP	FN
Mancha de Referência	VP	6.39			
	VN		91.12		
	FP			1.03	
	FN				1.46

<b>R10</b>		Mancha Gerada %			
		VP	VN	FP	FN
Mancha de Referência	VP	5.92			
	VN		92.11		
	FP			0.04	
	FN				1.93

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A análise aqui elaborada, consiste no cruzamento dos dados das manchas de referência do município de Brusque, Itajaí e Rio do Sul, dito como a verdade de campo, com os produtos analisados, referente as cartas de suscetibilidade, setorização de risco nas áreas urbanas, consolidadas pela CPRM, as manchas do banco mundial e da defesa civil estadual. Logo, a partir das análises, foi possível identificar a comparação entre as duas classificações, desta forma, avaliar as mudanças de coberturas das inundações existentes.

Os valores apresentados nos resultados, utilizou-se como referência teórica e explicativa a **tabela 5**, onde valores coincidentes entre a mancha de referência e a mancha gerada considerando como verdadeiro positivo por exemplo, e assim, segue para as outras combinações e comparações. A tabela 3 demonstra um percentual da distribuição dos valores cruzados com relação a área do município, em quatro categorias:

A representação demonstrada no resultado 1, da tabela 5, indica que 7.83% do município de Brusque obteve uma coincidência de área inundável, ou seja, a taxa de acerto (verdadeiro positivo), 1.64% indicando as áreas como falso negativo, ou



seja, a mancha de referência mapeou que inunda e a mancha do produto da CPRM, cartas de suscetibilidade indica que não inunda, demonstrando que o modelo da CPRM subestimou essa área. Ainda, 4.96% do município ficou classificada como falso positivo e 85.58% como verdadeiro negativo, indicando que tanto a mancha de referência quanto a mancha comparada indicam que esta área realmente não inunda.

Considerando a área total do município de 284,74 Km, observa-se que os valores foram distribuídos em 4 categorias, onde foram definidos os cruzamentos dos produtos da mancha de referência e manchas gerada, obtendo-se os resultados dos cálculos de cada cruzamento e seus respectivos valores em km<sup>2</sup>.

Ao analisar a tabela 5, os resultados 1,2,3 e 4 para o município de Brusque, constata-se que o maior valor corresponde as áreas onde a mancha de referência diz que não inunda e de fato o modelo gerado mostra que esta mesma área não inunda.

O resultado 2 se dá em função do cruzamento realizado das manchas urbanas contidas sobre as manchas de referência do município, da mesma forma, foi utilizado a mancha urbana sobre a mancha da setorização do risco, desta forma, é possível avaliar a estatística do risco existente no município.

De toda forma, o resultado apresentado, conforme tabela 5 demonstra que apenas 0.47% da área mapeada, se referem a taxa de acerto ou os verdadeiros positivos, logo, analisando de forma minuciosa, percebe-se que este valor representado indica que a setorização de risco consolidada pela CPRM não mapeou toda mancha urbana do município e sim somente uma porção do território urbano. Isto se dá em função de que algumas áreas mapeadas pela setorização de risco como inundáveis, e não urbanas, são áreas que acompanham os afluentes.

O risco aqui analisado, se encontra exclusivamente em regiões onde existem edificações nas quais há permanência humana e representam áreas de risco alto e muito alto. A identificação de áreas de risco é feita em campo e se baseia na observação das características morfológicas do terreno, na identificação de indícios de instabilidade de taludes e encostas, no histórico de ocorrência dos eventos adversos de natureza geológica, e no grau de vulnerabilidade das construções e de seus moradores.

Logo, o risco representado no resultado 2 se torna pouco preciso, em função da área da mancha urbana, bem como a área do risco assim setorizada pela CPRM, pois a área mapeada de inundação abrange somente as áreas de risco alto ou muito alto, portanto os valores comparados entre as manchas de inundação acabam sendo incompatíveis, logo, para que se faça um ajuste adequado no resultado, seria necessário setorizar as manchas de baixo e médio risco, aonde de fato, precisaria ser analisado o risco, pois no resultado 2 as áreas indicadas como verdadeiro negativo representam toda mancha urbana compatível com as manchas de referência do município, e as áreas como falso negativo representam as manchas mapeadas pela setorização da CPRM, porém não mapeadas pela mancha de referência do município, este último tem relação direta com a escala de origem das manchas urbanas.

Assim, para avaliar o risco foi necessário obter o mapa de vulnerabilidade a inundação, onde ficou apontado toda correlação entre o perigo e a vulnerabilidade dos elementos expostos no território, como os tipos de construções, infraestrutura, quantidade de pessoas que poderão vir a serem afetadas por algum desastre de inundação.

Para o resultado 3 foi realizado o cruzamento entre a mancha de referência do município, com as manchas constituídas no projeto do banco mundial. Ficou constado uma baixa de compatibilidade nos resultados, visto que, a área referente aos verdadeiros positivos (taxa de acerto), totalizou apenas 6.62km<sup>2</sup> da área total do município, com aproximadamente 2.33% da área mapeada. Já as áreas classificadas como falso positivo, obteve 256.01km<sup>2</sup>, abrangendo 89.91% da área do município, ainda, 7.14% identificados como falso negativo, bem como apenas 0.62% da área classificadas como falso positivo, desta forma, demonstrando que tanto a mancha de referência quanto a mancha do banco mundial, tiveram uma compatibilidade para as áreas não inundáveis.

Para o resultado 4 foi realizado o cruzamento entre a mancha de referência do município, com as manchas constituídas pela defesa civil estadual. Assim, na primeira análise houve uma identificação mais precisa quanto a duas manchas mapeadas, porém constatou-se que as áreas ditas como verdadeiro negativo, ficou entre os maiores percentuais, desta forma, nota-se um acerto maior quanto as áreas

que realmente não foram mapeadas como inundáveis. Outro aspecto que chamou a atenção foi o fato de as áreas classificadas com falso positivo, foi de 0.02%, sendo 0.07km<sup>2</sup>, assim no comparativo entre as manchas houve pouca área superestimada, enfatizando um acerto também em relação a esta parte do território

As informações apresentadas no resultado 5, mostra uma maior compatibilidade na distribuição das áreas identificadas como inundáveis ou não, superestimadas ou subestimadas. Isto se reflete em função do município de Itajaí ter pouca variação altimétrica, portanto áreas com topografias mais suaves possuem as manchas mais compatíveis com a realidade, independente dos métodos utilizados para a geração das manchas de inundação. A taxa de acerto, possui aproximadamente 32.77% do cruzamento entre as manchas, demonstrando dentre os cruzamentos, uma das maiores compatibilidades sobre os verdadeiros positivos.

Semelhante ao resultado 5, no município de Itajaí, após o cruzamento entre a mancha de inundação referência e as cartas de inundação do Banco Mundial para o resultado 6, indica também uma compatibilidade na distribuição dos resultados sobre a matriz de confusão, onde apresenta cerca de 29.31% do seu território com área classificada como verdadeiro positivo, indicando uma boa taxa de acerto.

Esta compatibilidade está associada ao uso das mesmas informações cartográficas de base, logo, mesmo após a modelagem, as manchas se mantêm semelhantes em função da calibração do modelo com o valor da cota de cheia conhecida e ainda com o uso do modelo digital de terreno, com a mesma resolução espacial.

Percebe-se ainda um aumento quanto as áreas classificadas como verdadeiro negativo, indicando uma elevação dos valores quanto as áreas que foram superestimadas nos resultados. Estas diferenças acontecem em função do uso variado das cotas de cheias conhecidas, logo, interferindo diretamente na consolidação de uma nova mancha de inundação.

Sobre o resultado 7, diante do cruzamento da mancha de referência com a cartas de simulação e cheias da defesa civil, destaca-se as maiores áreas definidas pela matriz de confusão como verdadeiro positivo, com 32.78%, demonstrando a maior taxa de acerto dentre todos os cruzamentos de suscetibilidade sobre as áreas onde realmente inundam, conseqüentemente atribuída a uma menor área

classificada como verdadeiro negativo, com 53.01% das áreas onde apresentadas pelas duas manchas, realmente não inundam.

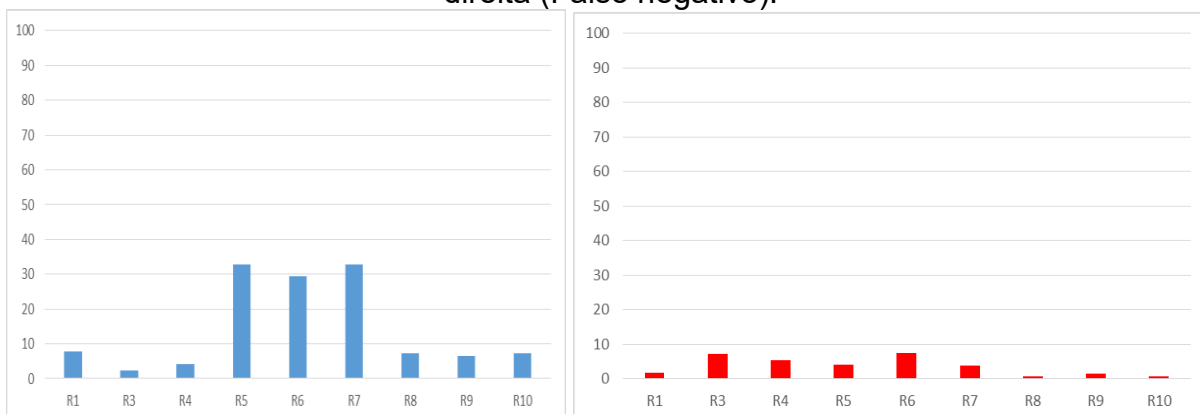
O resultado 8, referente ao município de Rio do Sul, sendo o cruzamento das manchas de inundação de referência com as cartas de suscetibilidade da CPRM, demonstrou pouca variação de verdadeiro positivo, com 7.20% do território, ainda de acordo com o resultado, o falso negativo indica que no comparativo entre as manchas houve pouca subestimação entre os cruzamentos.

O resultado 9, a partir do cruzamento das manchas de inundação de referência com as manchas do banco mundial, demonstrou o valor de 6.39% para as áreas classificadas como verdadeiro positivo, 16.65km<sup>2</sup> do território, ainda 1.46% classificadas como falso negativo, e apenas 1.03% como falso positivo. A área referente ao verdadeiro negativo com um valor de 91.12%, de uma área de aproximadamente 237.59km<sup>2</sup>. Essa distribuição indica que apesar do valor baixo quanto as áreas de acerto, do verdadeiro positivo, houve uma coerência com a mancha de inundação do banco mundial, quanto as taxas de acerto, e ainda com baixo valor da mancha subestimada e também da superestimada.

O resultado 10, a partir do cruzamento das manchas de inundação de referência com as manchas das cartas de simulação de cheia, a partir do tempo de retorno de 50 anos demonstrou uma compatibilidade quanto as áreas classificadas como verdadeiro positivo, com 5.92%, porém as áreas classificadas como verdadeiro negativo houve uma superestimação da área não mapeada pela mancha de referência. Estas informações estão relacionadas com as áreas de abrangência das cartas de simulação de cheias, onde foi utilizado diversas vazões, de forma, que pudessem caracterizar o extravasamento gradual da calha do rio, por isso algumas manchas acabaram entrando pelos vales, indicando também as áreas de possíveis inundações nestas regiões.

De uma forma geral temos nos gráficos abaixo uma distribuição de acordo com cada classe da matriz, assim definidas pontualmente, onde:

Gráfico 4 - Distribuição da matriz de confusão. A esquerda (Verdadeiro positivo) e a direita (Falso negativo).

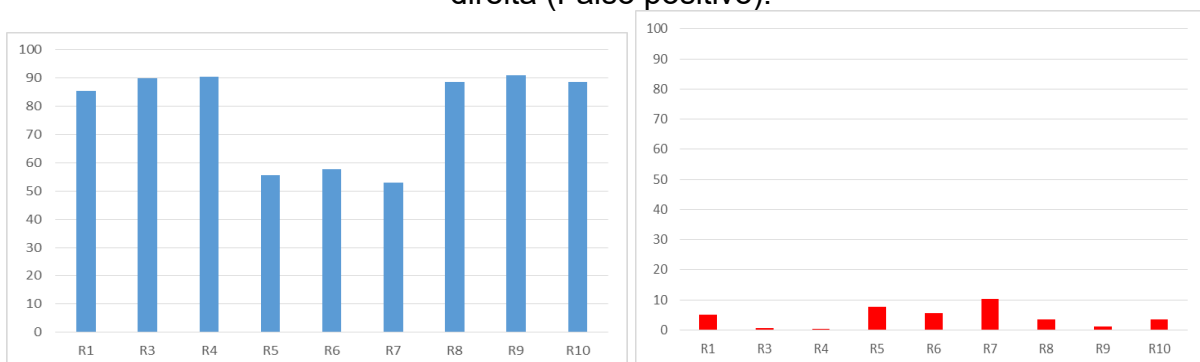


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A distribuição dos verdadeiros positivos, indica que o município de Itajaí obteve uma melhor taxa de acerto em relação aos produtos comparados, já os municípios de Brusque e Rio do Sul ficaram abaixo dos 10% das áreas que de fato foram mapeadas como inundáveis.

Quanto a matriz do falso negativo, relacionado as áreas que não foram consideradas como inundáveis pelo produto elaborado pelas instituições em comparação a mancha de referência. Os municípios de Brusque, Itajaí foram os municípios que obtiveram a maior área subestimada, portanto áreas que são imudáveis historicamente, porém não foram mapeadas.

Gráfico 5 - Distribuição da matriz de confusão. A esquerda (Verdadeiro negativo) e a direita (Falso positivo).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os verdadeiros negativos, demonstraram uma coerência quanto as áreas onde não inundam e os modelos gerados mantiveram essas áreas como não

inundáveis, logo, os municípios de Brusque e Rio do Sul apresentaram um maior acerto, próximos de 90% quanto a classificação dessas áreas.

Os resultados da matriz do falso positivo, indica que o município de Brusque apresentou as maiores taxas, demonstrando que as manchas geradas pelas instituições acabaram superestimando as áreas, ou seja, definiram regiões em que não inundam como sendo inundáveis. Isto pode ocorrer em razão do uso do fator de segurança, principalmente quanto as áreas próximas aos rios, onde acabaram sendo ocupadas as suas margens, conseqüentemente trazendo riscos aquela população.

Para a interpretação dos produtos cartográficos (P1, P2, P3 e P4), foi considerada a Mancha Referência elaborada pelas prefeituras dos respectivos municípios. A escolha da mancha referência para a validação qualitativa e quantitativa dos produtos ocorreu em virtude de ser um trabalho que incluiu trabalhos de campo e pontos relativos a cotas de cheias. Além disso, julga-se as prefeituras como gestoras, responsáveis em realizar trabalhos mais pontuais, de acordo com o conhecimento local do território.

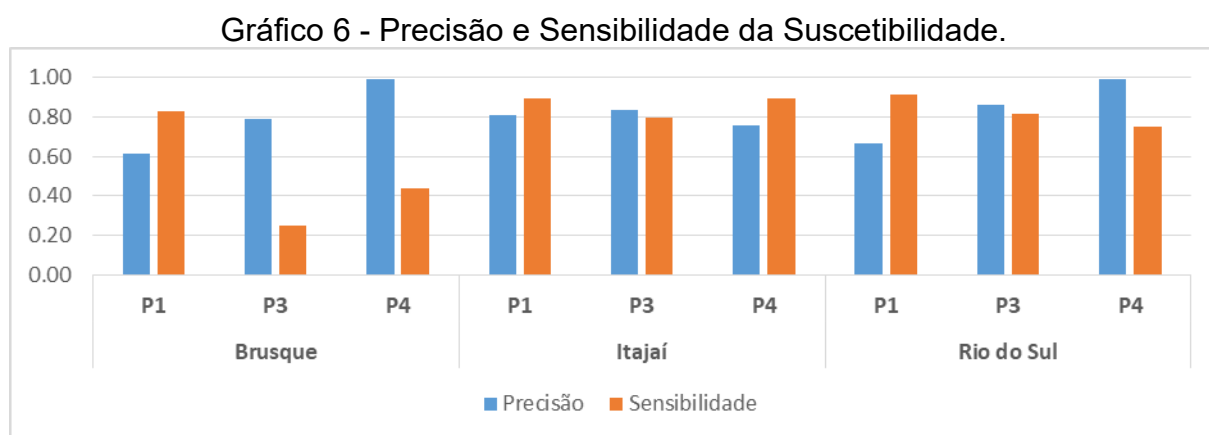
Os valores apresentados nos cruzamentos das manchas incidem sobre as informações reais da mancha de referência, onde é apresentado os valores entre 1 e 4 da distribuição do resultado deste cruzamento de acordo com os valores do píxel, onde, o valor 1, representa o somatório do píxel para as áreas identificadas como falso positivo, o valor 2 representa o píxel como verdadeiro negativo, onde houve uma superestimação entre as manchas de referência e a mancha comparada. O valor 3 indica o falso negativo, onde houve uma subestimação entre os modelos cruzados. O valor 4 representa ainda as áreas onde houveram a taxa de acerto entre as manchas comparadas, sendo classificadas como verdadeiro positivo.

Com relação aos valores apresentados no gráfico abaixo (gráfico 4) foram calculados os valores de precisão e sensibilidade para cada um dos produtos gerados.

Quando é identificado um valor alto para a precisão (mais próximo de 1) percebe-se que temos uma taxa de acerto entre a mancha de referência e o produto analisado, ou seja, na matriz de confusão fica nítido o verdadeiro positivo. Quando é analisado os valores de sensibilidade, mais próximos de 1 percebe-se que temos

pouca precisão e uma necessidade de “sensibilidade” ou de “revisão” nos produtos consolidados pelas instituições.

O produto 1 refere as cartas de suscetibilidade gerada para o município de Brusque. Os resultados de 1 a 4 foram gerados para o município de Brusque. Com relação a análise dos produtos relacionados, obteve-se resultados que apresentaram valores binários variando entre 0 e 1, onde após o cruzamento das manchas de inundação, a partir de cada produto, foram apresentados os seguintes valores:

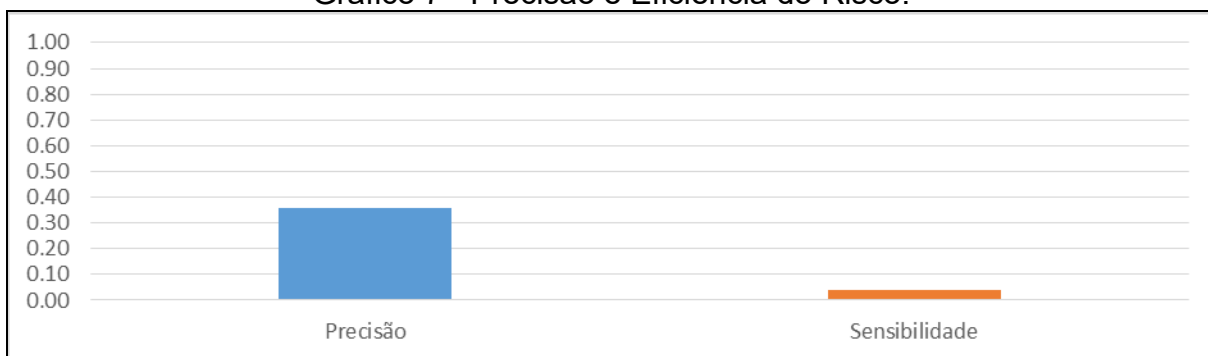


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Sobre o resultado 1, os valores calculados foram de 0.61 para a precisão e 0.83 para a sensibilidade, demonstrando que foi obtido um valor um pouco acima do ponto médio. O valor encontrado de 0,61 para o produto 1 demonstra, por assim dizer, que obtivemos um valor mediano de precisão nos cálculos realizados, contrastando com o valor de 0,83 de sensibilidade no qual foram gerados o produto 1. Isto significa dizer que, o produto 1 apresentou o menor valor de precisão entre todos os produtos gerados.

O resultado 2 referente aos cruzamentos das manchas de referência contidas nas áreas urbanas, com a Setorização de risco (CPRM) apresentaram valores de precisão 0,36 e sensibilidade de 0,04 respectivamente demonstrando que a mancha do produto da CPRM subestimou grande parte da área inundável, ou seja, apresentado valores da matriz como falso negativo.

Gráfico 7 - Precisão e Eficiência do Risco.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O resultado 3 referente aos cruzamentos das manchas de referência com as manchas de inundação (BANCO MUNDIAL) apresentaram valores de precisão 0,79 e sensibilidade de 0,25 respectivamente demonstrando que a mancha do produto do Banco Mundial subestimou parte da área da área inundável, ou seja, apresentando valores da matriz como falso negativo.

O resultado 4 referente aos cruzamentos das manchas de referência com as cartas de simulação de cheia da (DEFESA CIVIL Santa Catarina) apresentaram valores de precisão 1,00 e sensibilidade de 0,44 respectivamente demonstrando que a mancha do produto do Banco Mundial subestimou parte da área da área inundável, ou seja, apresentando valores da matriz como falso negativo. Neste resultado obteve-se o maior valor de precisão entre todos os resultados encontrados. Este valor pode ser interpretado como o maior valor de precisão possível, ou seja, os cruzamentos para gerar o resultado 4 estão de acordo um com o outro, ou por fim, são coincidentes. O valor da sensibilidade para o resultado 4 pode também ser considerado um falso negativo.

Os resultados de 5, 6 e 7 conforme mostra a tabela estão indicados para o município de Itajaí.

Com relação ao resultado 5 obteve-se uma precisão de 0,81 e sensibilidade de 0,89. Desta forma ficou evidenciado uma matriz referente ao falso positivo, pois o resultado do cruzamento entre a mancha de referência e a carta de suscetibilidade da CPRM foi superestimado.

O resultado 6 temos os valores de precisão é de 0,84 e da sensibilidade de 0,80, considerando um falso negativo. Apesar de demonstra-se por meio dos



cruzamentos uma sensibilidade menor que a precisão percebe-se os valores muito próximos entre si e coincidentes próximos do valor máximo de 1.

O resultado 7 referente aos cruzamentos das manchas de referência com as cartas de simulação de cheia da (DEFESA CIVIL Santa Catarina) apresentaram valores de precisão 0,76 e sensibilidade de 0,89 respectivamente demonstrando que a mancha do produto do Banco Mundial superestimou parte da área da área inundável, ou seja, apresentando valores da matriz como falso positivo. Este resultado demonstra que o produto da defesa civil de SC extrapolou a mancha de referência do município.

Os resultados de 8, 9 e 10 estão indicados para o município de Rio do Sul. O resultado 8 referente aos cruzamentos das manchas de referência com as cartas de suscetibilidade (CPRM) apresentaram valores de precisão 0,67 e sensibilidade de 0,92 respectivamente demonstrando que a mancha do produto da CPRM subestimou parte da área da área inundável, ou seja, apresentando valores da matriz como falso positivo. O valor encontrado de sensibilidade foi o valor máximo encontrado entre todos os resultados.

O resultado 9 temos os valores de precisão é de 0,86 e da sensibilidade de 0,81, considerando um falso negativo. Apesar de demonstra-se por meio dos cruzamentos uma sensibilidade menor que a precisão, percebe-se os valores muito próximos entre si e coincidentes próximos do valor máximo de 1, indicando uma correlação positiva entre os produtos analisados.

O resultado 10 referente aos cruzamentos das manchas de referência com as cartas de simulação de cheia da DEFESA CIVIL de SC, apresentaram valores de precisão 0,99 e sensibilidade de 0,75 respectivamente demonstrando que a mancha do produto da DEFESA CIVIL superestimou a mancha das cheias de referência.

Os resultados 1, 5, 7, 8 e 10 apresentaram valores de sensibilidade acima dos valores de precisão, indicando baixa taxa de precisão entre os cruzamentos, parte da área da área inundável, ou seja, falso positivo. Os valores encontrados para os resultados 8 e 10 estão rigorosamente iguais.

Com relação aos resultados 2,3,4,6 e 9 apresentaram os valores de precisão maiores que o da sensibilidade, indicando um acerto maior para os produtos consolidados.

O resultado 2 apresentou a menor taxa de sensibilidade de todas, indicando que o produto base para o cruzamento com a mancha de referência, não mapeou com maiores detalhes as áreas inundáveis reais.

A partir das análises realizadas, constatou-se que dos resultados apresentados, houve uma semelhança quanto as matrizes expostas, visto que, para os Resultados 1,5,7,8 e 10 foram identificados como falso positivo, ou seja, o produto utilizado nos cruzamentos superestimou a mancha de referência do município, indicando que neste caso, foram mapeadas áreas a mais do que realmente deveria, por isso, foi encontrado os valores de sensibilidade maiores do que os valores de precisão.

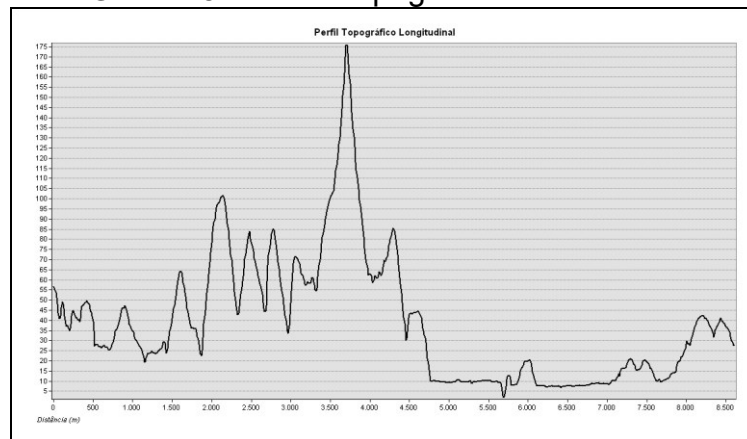
Já os resultados apresentados no 2,3,4,6 e 9 apresentaram valores de precisão acima da sensibilidade, o que demonstra que as manchas de referências mapeadas pelos municípios não foram detalhadas pelos produtos utilizados neste cruzamento, indicando desta forma, um falso negativo, pois o modelo subestimou a área de inundação dita como verdade pelos municípios.

De toda forma, os resultados apresentados demonstram particularidades entre os municípios analisados na pesquisa, uma vez que cada um deles ocupa um setor da bacia. O município de Itajaí, localizado no baixo vale da bacia de mesmo nome, apresentou compatibilidade e coerência entre as manchas de inundação construídas, visto que, a característica geomorfológica do município apresenta pouco gradiente topográfico, declividades brandas e solos aluviais.

As áreas densamente ocupadas correspondem a região mais plana, formada pela cobertura sedimentar quaternária. As regiões da planície costeira como de planícies de inundação são áreas de recorrentes episódios de inundação e correspondem as áreas apresentadas pelas manchas geradas pelos produtos analisados.

Os gráficos apresentados abaixo demonstram uma representação do corte que produz no terreno o plano vertical sobre a planície de inundação, com o indicativo de 3 pontos, sendo o primeiro mais a montante do município, o segundo mais na região central e o terceiro mais a jusante do município, assim, é possível constatar como se dá a representação do relevo sobre essas áreas.

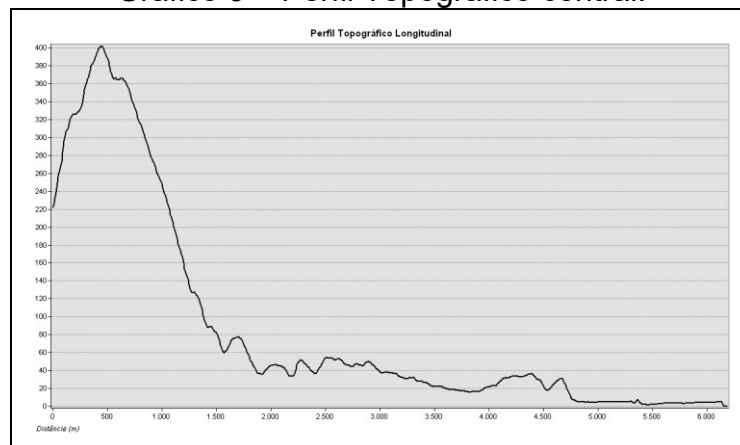
Gráfico 8 – Perfil Topográfico a montante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Conforme demonstrado no gráfico 8, o perfil topográfico elaborado na região mais a montante de Itajaí demonstra ainda relevos com vales mais fechados, e a parte da planície de inundação mais compacta.

Gráfico 9 – Perfil Topográfico central.

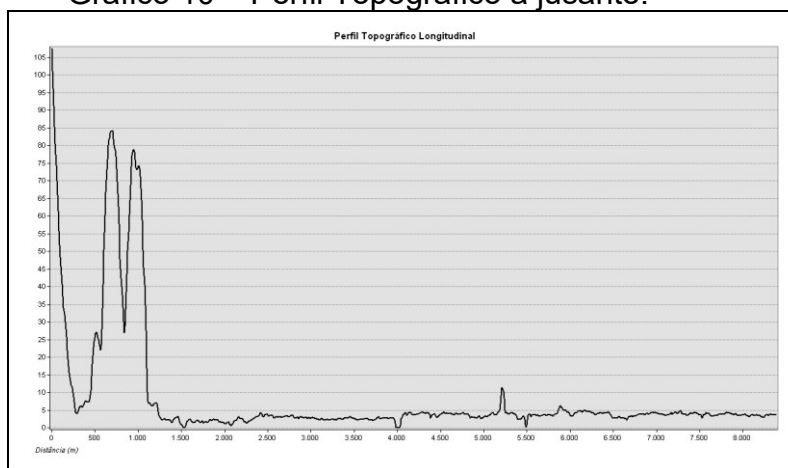


Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As figuras 9 e 10, demonstra com clareza a abertura da planície de inundação, as quais são unidades homogêneas na paisagem, e indicam os canais fluviais, sendo induzido ao leito maior, neste caso, o Rio Itajaí-açu. Toda planície formada no município está relacionada com o desenvolvimento do canal principal, o qual lhe deu origem, e ainda com a atuação dos processos de deposição e erosão ocorridos nestas áreas. Toda planície aqui indicada está localizada na zona de deposição dos sedimentos transportados pelos rios, de toda forma, quanto mais

aberto a planície de inundação, a velocidade do fluxo diminui, e conseqüentemente contribuem para manutenção das inundações.

Gráfico 10 – Perfil Topográfico a jusante.



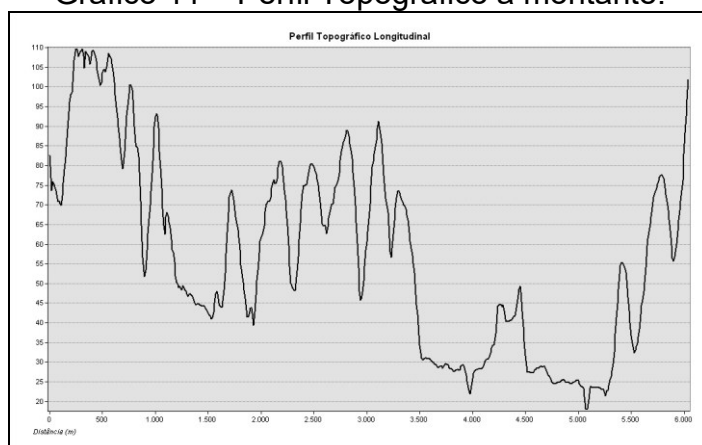
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Como grande parte do município é formada por deposições sedimentares desenvolvidas pela ação das águas, ultrapassando nas áreas de topografias mais suaves, principalmente nos vales dos rios, acaba sofrendo grande influência dos eventos de inundação, principalmente por possuírem as cotas máximas de cheias com uma maior precisão, o que acaba contribuindo diretamente na produção de novas manchas de inundação.

Os resultados para o município de Brusque apresentaram variações entre os modelos comparados, isto se dá porque o município está integrado no médio vale do Rio Itajaí, na sub-bacia do rio Itajaí-mirim.

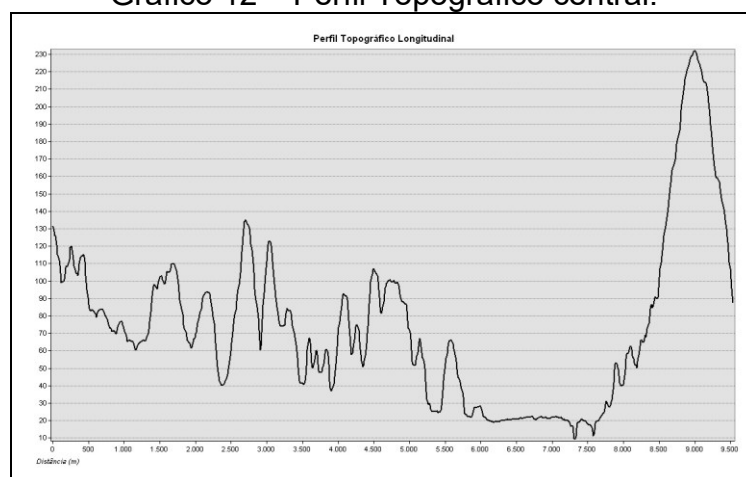
Ao médio vale o relevo se apresenta bastante dissecado, expresso em formas de morros e montanhas com declividades acentuadas e vales bem encaixados, reunindo assim, as condições ideais para fluxos hídricos de alta energia, conforme gráficos 11 e 12.

Gráfico 11 – Perfil Topográfico a montante.



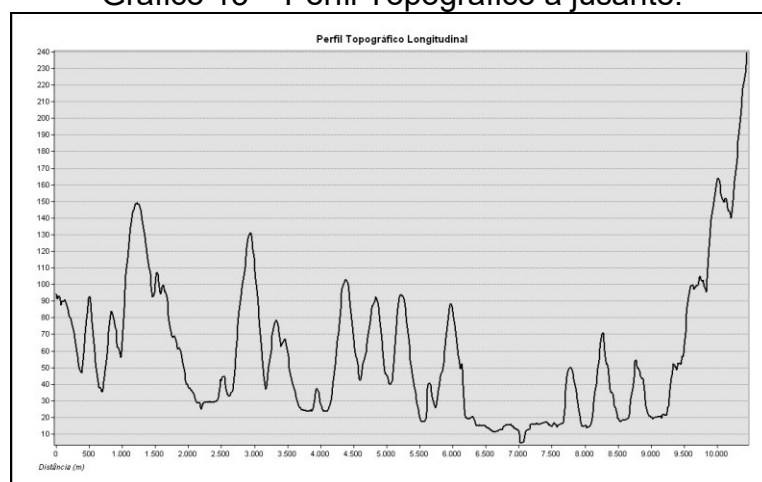
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 12 – Perfil Topográfico central.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 13 – Perfil Topográfico a jusante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

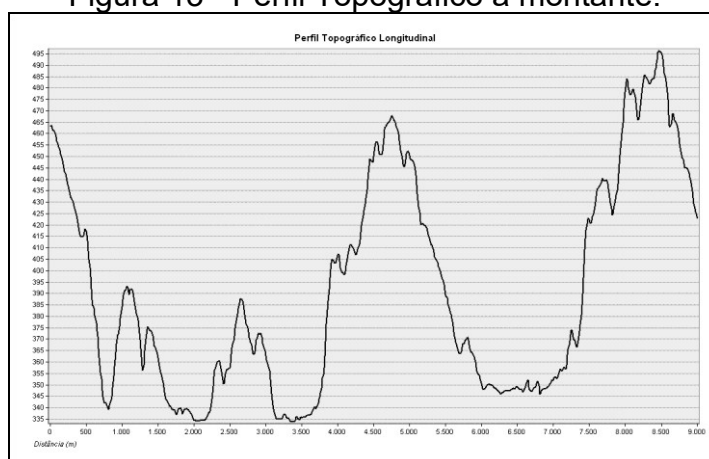
A figura 13 demonstra que ao longo da planície de inundação, formadas por depósitos fluviais, encontram-se as áreas densamente edificadas para onde convergem os fluxos de alta energia, seja pelo extravasamento do rio principal ou pelas enxurradas das águas encosta abaixo, desta forma, o perfil topográfico indica uma compactação da planície de inundação e a influência dos canais secundários

O Município de Rio do Sul está inserido no alto vale do rio Itajaí-açu, onde se encontra na convergência do Rio Itajaí do Sul e Rio Itajaí do Oeste, dando origem ao Rio Itajaí-Açu, logo, apresentou resultados compatíveis entre as manchas comparadas, principalmente em relação a mancha elaborada pelo Banco Mundial, apresentando valores coerentes, onde, obteve-se taxas de acerto, verdadeiro negativo e verdadeiro positivo proporcionais, atendendo a uma compatibilidade entre a precisão e a sensibilidade avaliada com valores próximos entre 0.86 e 0.81.

Esse acerto no município se dá em função do relevo do município se desenvolver na forma de escarpas mais íngremes, possuindo altas declividades, o que influencia no aumento do escoamento superficial, apresentando vales, mas abertos no relevo, interferindo nas áreas de planície do município.

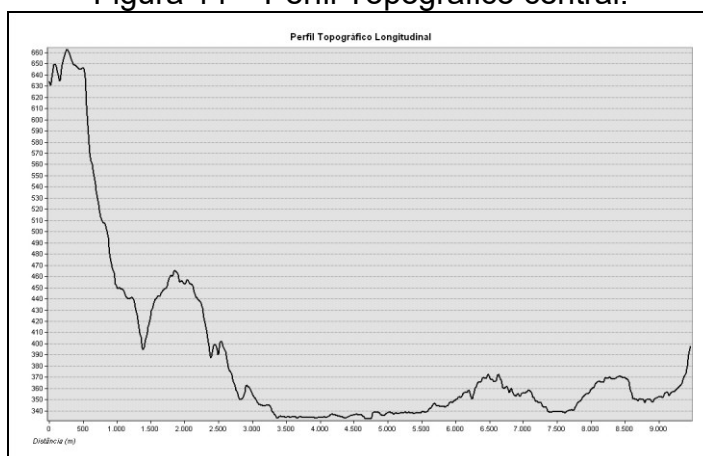
Desta forma, as manchas de inundação comparadas a partir de uma cota de cheia conhecida se torna expressiva na paisagem, isto porque, a planície de inundação, onde convergem os canais do Rio Itajaí do Sul e Itajaí do Oeste, sendo estes trechos de perfil mais côncavo, conforme figura 16.

Figura 13 - Perfil Topográfico a montante.



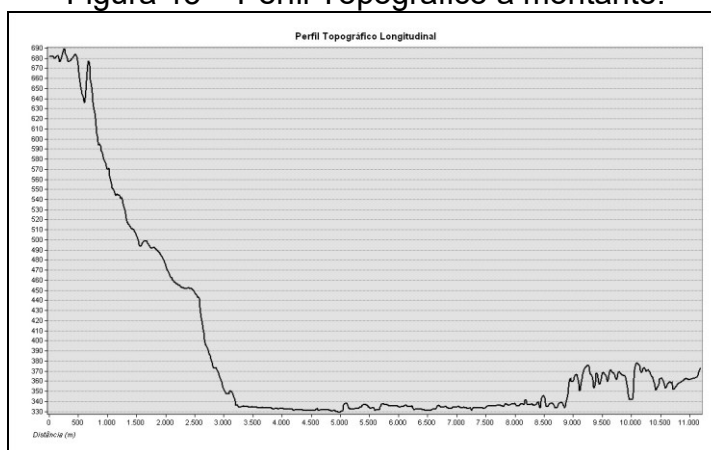
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 14 – Perfil Topográfico central.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 15 – Perfil Topográfico a montante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Desta forma, em Rio do Sul há uma maior densidade de canais quando comparados aos municípios de Itajaí e Brusque, além da maior quantidade de afluentes que se apresentam em vales dissecados (ver figura 17) e outros mais abertos, conforme figura 18 com altas declividade, propícios a ocorrência ao transbordamento brusco das calhas fluviais em episódios de chuvas extremas.

## 6. CONCLUSÃO

Considerando o exposto acima observa-se que os resultados obtidos mostram claramente discrepâncias entre valores, dados cartográficos e escalas de trabalho, bem como diferentes formatos e variáveis nos bancos de dados utilizados neste trabalho.

De toda forma, constatou-se diferenças significativas de valores encontrados nos produtos analisados, como por exemplo, nas análises de precisão e sensibilidade. Os resultados obtidos, indicaram que alguns valores de sensibilidade analisadas sobre as manchas de inundação existentes chamam a atenção, devido a variação dos elementos analisados, com suas respectivas peculiaridades cartográficas, logo, indica-se a necessidade de revisão e atualização destes produtos para obter uma melhor homogeneidade entre as manchas de inundação produzidas, entretanto, a análise realizada sobre a precisão, constatou-se uma maior acurácia nas informações de inundações nos municípios, devido a qualidade cartográfica e metodologia utilizadas contrastando com os valores de sensibilidade.

Existe a necessidade de uma abordagem mais sistêmica e integrada entre as diferentes instituições envolvidas para que todas estejam interligadas na construção destes produtos cartográficos, uma vez que é de interesse de todos evitar desastres e conseqüentemente preservar vidas.

Recomenda-se, uma melhor definição de escala de trabalho local, a unificação de diferentes produtos e principalmente a construção de bases cartográficas digitais contínuas e bancos de dados em um único ambiente webgis, o que favoreceria o seu uso ao público em geral, bem como os técnicos das instituições envolvidas. Tornar essas informações de mais fácil acesso auxiliaria no processo de gestão e tomadas de decisão, uma vez que a disseminação da informação, gera conhecimento, principalmente para aqueles que convivem com o perigo e risco, e uma forma indireta de educação para as comunidades mais afetadas por estes eventos.

A abordagem do tema de estudo é significativa e muito relevante para os dias atuais. Evitar desastres, ou mesmo, evitar perdas de qualquer espécie é uma necessidade recorrente mundialmente falando. Em épocas de desastres naturais cada vez mais recorrentes, estudar e prever o fenômeno das inundações em áreas



urbanas é contribuir de alguma forma para uma melhor qualidade de vida e gestão do território.

## REFERÊNCIAS

- ALONSO, J.; GUERRA, C.; MARTINS, I.; ARNAUD-FASSETTA, G.; MARQUES, A.; COSTA, F. (2014), "Risco de Cheia e Inundação: Exposição e Adaptação na Área Ribeirinha de Ponte de Lima", *Territorium* (21), 33-48.
- BATEIRA, C. Recuperação de paisagens de terraços e prevenção de riscos naturais. Porto-Portugal: [s. n.], 2006. TERRISC: (SU DOE III B).
- BEDIN, F. A. Ecologia da Paisagem como subsídio para implantação do Parque Municipal da Ressacada – Itajaí-SC. Universidade do Vale do Itajaí – Univali. Centro de Ciências Tecnológicas da terra e do mar. Programa de Pós-Graduação em Ciências e tecnologia Ambiental. Dissertação. Orientadora Rosemi Carvalho Marenzi: Itajaí, 2013.
- BOGO, R. S. (2016). Plano diretor participativo, território e inundações em Rio do Sul/SC. Trabalho de conclusão de curso. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BRAGA, R. Planejamento urbano e recursos hídricos. In.: BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. (Org.). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. Rio Claro: Deplan-IGCEUNESP, 2003. p. 113 - 127.
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – pnpdec. Presidência da república. Casa civil.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Defesa Civil. Plano Nacional de Gestão de Riscos e Respostas á Desastres. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2012
- BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui A Política Nacional De Proteção E Defesa Civil - PNPDEC. Presidência Da República. Casa Civil. Subchefia Para Assuntos Jurídicos. Disponível Em <  
[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm)>. Acesso em: 10/03/2020.
- BRASIL. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Celso Santos Carvalho, Cidades/IPT, 2007. 176 p.
- BRESSANI, L. A. et al. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-305, 19 maio 2016.
- CASTRO, A. L. C. Manual de desastres: desastres naturais. Brasília: MIN, 2003.174 p.
- CARVALHO, E.T.L. (Org). Tópicos sobre infiltração: teoria e prática a solos tropicais. Brasília, DF, FT/UnB, Série Geotecnia – UNB, v. 4, p. 101-116.

CARVALHO, P. F. Águas nas cidades: reflexões sobre usos e abusos para aprender novos usos. In.: BRAGA, R. CARVALHO, P. F. (Org.). Recursos Hídricos e Planejamento Urbano e Regional. Rio Claro: Deplan-IGCE-UNESP, 2003, 131p.

CASTRO, A. L. C. Glossário De Defesa Civil: Estudos de Riscos e Medicina de Desastres. Brasília: mpo, 1998. 283p.

CERRI L.E.S. Amaral, C. P. 1998. Riscos geológicos. In: A. M. S. Oliveira & S. N. A. Brito (eds). Geologia de Engenharia, ABGE, p.301-310.

Climatempo. Média Pluviométrica do Município. Acesso em 20 de março de 2020 <https://www.climatempo.com.br/climatologia/1434/itajai-sc>.

Climatempo. Média Pluviométrica do Município. Acesso em 20 de março de 2020 <https://www.climatempo.com.br/climatologia/792/riodosul-sc>

CORDERO, A.; BUTZKE, I. C. Cota-Enchente Para A Cidade De Blumenau. Revista Técnico Científica Dynamis, Blumenau, V.1, N.12, P.5-9, 2005.

CORDERO, A.; SALVADOR, D.; REFOSCO, J.; TACHINI, M. Cotas-Enchente do Município De Blumenau. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 2013.

DULAC, Vinicius F.; KOBAYAMA Masato. Interfaces entre políticas relacionadas a estratégias para redução de riscos de desastres: recursos hídricos, proteção e defesa civil e saneamento. REGA, Porto Alegre, v. 14, e10, 2017. DOI: 10.21168/rega.v14e9

EMBRAPA. Solos do Estado de Santa Catarina. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004- (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46). ISSN 1678-0892

FRANÇA, A. B.; POTTER, Paul Edwin. **Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (PARTE 1)**. B. Geoci. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 2 (2/4): 147-191, abr./dez. 1988.

FRANK, B.; PINHEIRO, A. Obras de controle de cheias. In: Frank, B.; Pinheiro, A. (Orgs.). Enchentes na bacia do rio itajaí: 20 anos de experiências. Blumenau: EDIFURB, 2003.

FREITAS, C.G.L. 2000. Cartografia geotécnica de planejamento e gestão territorial: proposta teórica e metodológica Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia. São Paulo, Universidade de São Paulo, 230 p.

FREITAS, C. M. DE et al. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência: lições do terremoto no Haiti e das chuvas

fortes na Região Serrana, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1577–1586, 2012.

GEORIO. Manual técnico de encostas: Análise e Investigação. Rio de Janeiro: Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2000. 253p.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. UFSC, 2005. Disponível em: [http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005\\_inundacoes.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf). Acesso em: 10 set. 2021.

JAFARZADEGAN, K, and Merwade, 2017. A DEM-based approach for large-scale floodplain mapping in ungauged watersheds. *Journal of Hydrology* 550: 650–662.

KAO, L.; CHIU, Y.; TSAI, C. An Evaluation Study of Urban Development Strategy Based on of Extreme Climate Conditions. 2017.

LEITE, P. F. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Integração ao Mercosul – SDE. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura – DAS. Projeto Gerenciamento Costeiro- GERCO. (3ª FASE). **Geomorfologia**. Florianópolis, 2003. Disponível [http://morrodobau.ufsc.br/fies/2011/03/Cobertura\\_Uso.pdf](http://morrodobau.ufsc.br/fies/2011/03/Cobertura_Uso.pdf). Acesso 20-03-2020.

MACHADO, J. L. F. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina** – Porto Alegre: CPRM, 2013. – (Cartas Hidrogeológica Estaduais). ISBN 978-85-7499-208-2

MICHEL, G.P.; SCHWARZ, H.; ABATTI, B.H.; PAUL, L.R.; SILVA, M.A.; ZANANDREA, F.; SALVADOR, C.G.; CENSI, G.; BIEHL, A.; KOBAYAMA, M. **Relatório técnico dos desastres de dezembro de 2020 nos municípios de Presidente Getúlio, Ibirama e Rio do Sul -SC**. Volume I. Porto Alegre: GPDEN/IPH/UFRGS, 2021. 53 p.

MOMO, M. R. Et al. Desempenho Do Modelo Hand No Mapeamento De Áreas Suscetíveis À Inundação Usando Dados De Alta Resolução Espacial. *Rbrh* [Online]. 2016, Vol.21, N.1, Pp.200-208.

MONTEIRO, M. A. Avaliação das condições atmosféricas no entorno do complexo termelétrico Jorge Lacerda para controle da qualidade do ar. Florianópolis: PPGG/CFH/UFSC, 1997. [Dissertação de Mestrado em Geografia].

MONTEIRO, M. A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v.16, n31, p.69-78, 2001.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. A Hand Contour: A New Proxy Predictor Of Inundation Extent. *Hydrological Processes*, V. 30, N. 2, P. 320-333, 2016.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R. e VALCI, F. V (2002). Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, Epagri. CD-ROM.

PINHEIRO, A.; FRANK, B.; CORDERO, A.; LUNGERSHAUSEN, J. Traçado das Zonas de Inundação de Blumenau. In: VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e de recursos hídricos; III Simpósio Luso-Brasileiro De Hidráulica e de Recursos Hídricos, Salvador, de 8 A 13 De Novembro De 1987.

PINHEIRO, E. G. Orientações Para O Planejamento Em Proteção E Defesa Civil: Plano Estadual De Proteção E Defesa Civil. Curitiba: funespar, 2017.

PRANDINI, F.L.; NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L. & DINIZ, N.C. 1995. Cartografia Geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: O.Y. Bitar (coord.). 1995. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. ABGE/IPTDIGEO. São Paulo. Série Meio Ambiente. p.187-202.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BRUSQUE. Projeto Brusque - Serra do Tabuleiro. Escala 1:50.000. Convênio DNPM/CPRM, 1976 Carta SG.22 Z-D-II-1. Brusque, 2020. Disponível <https://defesacivil.brusque.sc.gov.br/mapas/geologia-brusque>. Acesso 26-03-2020.

RODRIGUES-CARVALHO, J. A. Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3. ed. **Anais** [...]. Florianópolis: ABGE, 1998. 1 CD-ROM.

ROSSINI, D. Análise ambiental e do padrão espacial em áreas de expansão urbana de Limeira – SP. Dissertação 2001. 171 f. (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 1986.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado de Coordenação Geral e de Planejamento. Subsecretaria de Estudos Geográficos e Estatísticos. – Rio de Janeiro. Aerofoto Cruzeiro, 1991.

SANTA CATARINA. Secretaria do Estado de Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia. **Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza** – fascículo 2. Isa de Oliveira Rocha (Org.). – Florianópolis: Ed Udesc, 2014. ISBN 978-85-8302-041-7

SÁ, L.; VICÊNCIO, H. (2011), “Risco de Inundações - Uma Metodologia para a sua Cartografia”, *Territorium*, (18), 227-230.

SCHNEIDER, R L.; MÜHLMANN, H. E. Tommasi.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA A. A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre – 1974.

SOBRAL, André; et al. Desastres Naturais – Sistemas de informação e vigilância: uma revisão de literatura. Epidemiologia e Serviços de Saúde. Brasília, n. 19, vol.4, out - dez, 2010, p. 389 – 402.

SPECKHANN, G. A.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R.F.; ABREU, J. J.; ALTAMIRANO FLORES, J. A. Flood Hazard Mapping In Southern Brazil: A Combination Of Flow Frequency Analysis And The Hand Model. Hydrological Sciences Journal, V. 63, N. 1, P. 87-100, 2018

TOBIN, G. A; MONTZ, B. E. Natural Hazards: Explanation And Integration. New York: The Guilford Press, 1997. 388p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: Conhecer Para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 P.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia - Ciência E Aplicação. Carlos E. M. Tucci (Org.). 2.Ed.; 2 Reimpr. – Porto Alegre: Ed. Universidade/Ufrgs; Abrh, 2001.

TUCCI, C. E. M. Estudos Avançados – Águas urbanas. Carlos E. M. Tucci, 2008.

UNISDR. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction - UNISDR, 2015a. Disponível em: <http://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework>

UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION (UNISDR). Terminologyondisastersriskreduction, 2009. Disponível em: [http://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf)  
Acesso em: 22 set. de 2021.

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre desastres (CEPED). Curso de capacitação básica em defesa civil. 4. Ed. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Florianópolis: CAD UFSC, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC). Centro Universitário De Pesquisa E Estudos Sobre Desastres (CEPED). Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em santa catarina: 1995 - 2014. Florianópolis: ceped/ufsc, 2016.

VON SPERLING, MARCOS. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. V. 1. 472 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).

ZUQUETTE, L.V. 1993. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. Tese de Livre Docência, Escola de Engenharia de São Carlos São Carlos, USP, 2v.