



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo**

**DÉBORA DE JESUS SIQUEIRA**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA  
PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA  
REGIÃO SUPERIOR DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ**

**CAMPINAS**

**2023**

**DÉBORA DE JESUS SIQUEIRA**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA  
PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA  
REGIÃO SUPERIOR DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, na Área de Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais.

**Orientador: Prof. Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim**

**Coorientador: Prof. Dr. Hugo de Oliveira Fagundes**

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA DÉBORA DE JESUS SIQUEIRA E ORIENTADA PELO PROF. DR. ANDRÉ LUÍS SOTERO SALUSTIANO MARTIM.

**CAMPINAS**

**2023**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

Si75m Siqueira, Débora de Jesus, 1989-  
Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de risco de inundações na região superior da bacia do rio Jundiá / Débora de Jesus Siqueira. – Campinas, SP : [s.n.], 2023.

Orientador: André Luís Sotero Salustiano Martim.  
Coorientador: Hugo de Oliveira Fagundes.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Avaliação de riscos. 2. Controle de inundações. 3. Modelos hidrológicos. 4. Planejamento urbano. 5. Inundações. I. Martim, André Luís Sotero Salustiano, 1976-. II. Fagundes, Hugo de Oliveira. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

#### Informações Complementares

**Título em outro idioma:** Hydrological and hydrodynamic modelling for flood risk assessment in the upper region of the Jundiá river basin

**Palavras-chave em inglês:**

Risk assessment

Flood control

Hydrological models

Urban planning

Floods

**Área de concentração:** Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais

**Titulação:** Mestra em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

André Luís Sotero Salustiano Martim [Orientador]

Patrícia Dalsoglio Garcia

Cristiano Poletto

**Data de defesa:** 13-12-2023

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0007-7194-2790>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/9156633387621080>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA PARA  
AVALIAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO  
SUPERIOR DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ**

**Débora de Jesus Siqueira**

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

**Prof. Dr. André Luís Sotero Salustiano Martim  
Presidente e Orientador / Universidade Estadual de Campinas**

**Profa. Dra. Patrícia Dalsoglio Garcia  
Universidade Estadual de Campinas**

**Prof. Dr. Cristiano Poletto  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul**

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 13 de dezembro de 2023

*Dedico esse trabalho a minha irmã Mariana, aos meus pais Alice e Nivaldo e ao meu marido Fernando, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Nivaldo, cujo amor, dedicação e profundo conhecimento como encanador hidráulico predial foram inspirações para mim e minha irmã escolhermos a profissão de tecnólogas e engenheiras.

À minha mãe, agradeço o amor, carinho, paciência e esforço que tornaram possível a continuidade dos meus estudos.

À minha irmã, agradeço por sempre me incentivar, pelo amor, pela amizade, companheirismo, cumplicidade, ensinamentos e pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu marido, agradeço o amor, apoio, incentivo e por estar sempre ao meu lado. Sua presença tornou essa caminhada mais leve e repleta de significados, proporcionando conforto nos momentos desafiadores e compartilhando as alegrias das conquistas em cada processo.

Quero estender meu agradecimento ao meu orientador, André Sotero, pela colaboração, apoio, ensinamentos, prestatividade e paciência no desenvolvimento deste projeto e por fornecer o apoio necessário para enfrentar os desafios dessa jornada. Agradeço também ao professor Hugo Fagundes pela orientação, pelos ensinamentos e apoio que aprimoraram a presente pesquisa.

Às professoras Patrícia Dalsoglio e Laura Maria, agradeço por aceitarem o convite para integrar a banca de qualificação e por oferecerem sugestões valiosas para o progresso da pesquisa.

Um agradecimento especial a Marina Refatti Fagundes por toda ajuda, carinho e amizade no desenvolvimento do presente trabalho, colaborando com diversos ensinamentos, ideias e sugestões, mesmo sem qualquer obrigação. Grata pela ajuda em todos os momentos, independentemente da hora ou local, foi um grande presente ter te conhecido nessa jornada.

Ao Luis Murillo, obrigada por estar sempre disposto a esclarecer minhas dúvidas, me ajudar a desenvolver parte do meu trabalho e compartilhar seus conhecimentos.

A todos os amigos que, de alguma forma, colaboraram e estiveram presentes ao longo da minha caminhada, meu sincero agradecimento. Sua presença foi fundamental para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao Centro Paula Souza, onde trabalho, agradeço por autorizar horas de dedicação ao desenvolvimento do mestrado. Obrigada pela compreensão, paciência e incentivo.

À UNICAMP pela oportunidade de cursar o mestrado em uma instituição pública de excelência. Expresso também meu agradecimento pelo suporte financeiro concedido para a realização do VI Curso de Modelagem Hidrogeomorfológica para Mapeamento de Risco promovido pelo Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esta experiência foi fundamental e desempenhou um papel importante na minha pesquisa.

## RESUMO

### MODELAGEM HIDROLÓGICA E HIDRODINÂMICA PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE INUNDAÇÕES NA REGIÃO SUPERIOR DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ

A região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí, localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Piracicaba, Capivari e Jundiaí, drena uma área de 140 km<sup>2</sup> e embora densamente habitada, apresenta necessidade de compreensão e gestão das inundações urbanas, considerando a relevância econômica e populacional, além da dependência local dos recursos hídricos do rio Jundiaí. Resultados promissores com o emprego do índice de perigo para um sistema de previsão de alerta, têm sido apontados pela literatura, evidenciando a aplicabilidade dos softwares HEC-HMS e HEC-RAS na previsão hidrológica e na tomada de decisões relacionadas à gestão de inundações. O objetivo principal deste trabalho é avaliar o risco de inundações, com foco no desenvolvimento e aplicação do índice de perigo (IP) como ferramenta de análise, considerando três cenários distintos e adotando como critério de segurança o limiar de até 0,4 m<sup>2</sup>/s. A metodologia proposta envolveu o uso de modelagem hidrológica com o HEC-HMS para gerar hidrogramas para diferentes cenários de estudo e períodos de retorno distintos, e modelagem hidrodinâmica com o HEC-RAS, incorporando dados de uso do solo e batimetria, para avaliar a propagação das inundações em cada cenário. Com base nos resultados obtidos a partir das simulações realizadas, foi possível a obtenção do Índice de Perigo (IP) para cada período de análise. Observou-se nos resultados uma tendência do aumento da extensão do IP ao longo da seção transversal, indicando que eventos hidrológicos menos frequentes estão associados a um aumento proporcionalmente mais significativo no risco de inundação. Os registros de ocorrência compilados pelo Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí – PDMRJ convergiram com as manchas de inundação obtidas neste trabalho, indicando que a região à jusante do estudo apresenta suscetibilidade a inundações. Os resultados também apontaram que o modelo digital de elevação apresentou limitações ao não considerar adequadamente a profundidade real do rio, constatando-se a necessidade de aprimoramento na calibração, com análises coletadas in loco. Ademais, além dos resultados relacionados ao IP, este estudo complementa o PDMRJ ao fornecer a mancha de inundação simulada adicionando o afluente CF2 e a barragem do Cunha. As descobertas desta pesquisa podem ser utilizadas como instrumento para embasar políticas públicas e diretrizes de planejamento urbano, com o objetivo de fortalecer a resiliência das comunidades que enfrentam ameaças de inundação.

**Palavras-chave:** Avaliação de riscos; Controle de inundações; Modelos hidrológicos; Planejamento urbano; Inundações

## ABSTRACT

### HYDROLOGICAL AND HYDRODYNAMIC MODELLING FOR FLOOD RISK ASSESSMENT IN THE UPPER REGION OF THE JUNDIAÍ RIVER BASIN

The upper region of the Jundiaí River Basin, located in the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí Water Resources Management Unit, spans an area of 140 km<sup>2</sup>. Despite being densely populated, there is a critical need to understand and manage urban floods, considering its economic and population significance, as well as its reliance on the Jundiaí River's water resources. Previous studies have demonstrated promising results using the inundation index for an early warning system, highlighting the applicability of HEC-HMS and HEC-RAS software in hydrological prediction and flood management decision-making. The main objective of this study is to assess flood risk, focusing on the development and application of the inundation index (IP) as an analytical tool. This involves considering three distinct scenarios and adopting a safety threshold of 0.4 m<sup>2</sup>/s or lower. The proposed methodology includes hydrological modeling with HEC-HMS to generate hydrographs for various study scenarios and return periods, as well as hydrodynamic modeling with HEC-RAS, integrating land use and bathymetry data to assess flood propagation in each scenario. Based on the simulation results, the Inundation Index (IP) was calculated for each analysis period. The findings indicated a trend of the IP extension increasing along the cross-section, suggesting that less frequent hydrological events are associated with a proportionally more significant increase in flood risk. Data compiled by the Jundiaí River Basin Master Drainage Plan (PDMRJ) confirmed the presence of flood inundation areas identified in this study, indicating susceptibility to flooding downstream of the study area. Moreover, the study identified limitations in the digital elevation model, emphasizing the need for calibration improvement through in-situ analysis. Additionally, this study complements the PDMRJ by providing simulated flood inundation areas, incorporating the CF2 tributary and the Cunha dam. The findings of this research can inform public policies and urban planning guidelines aimed at enhancing the resilience of communities facing flood threats.

**Keywords:** Risk assessment; Flood control; Hydrological models; Urban planning; Floods



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação das diversas ramificações decorrentes de uma inundação em relação ao nível de risco.....	27
Figura 2 - Procedimento metodológico .....	32
Figura 3 – Disponibilização de dados pela PCJ – Caracterização Fisiográfica.....	33
Figura 4 – Disponibilização de dados pela PCJ – Simulações hidrológicas e hidrodinâmicas	33
Figura 5 – Cenário 1: Região superior da Bacia do Rio Jundiaí. ....	34
Figura 6 - Ruas do bairro Mil Flores, em Mairiporã, onde são observadas comportas nos acessos. ....	38
Figura 7 - Travessia da Rodovia Fernão Dias sobre o Rio Jundiaí, próximo da divisa entre os municípios de Mairiporã e Atibaia. ....	39
Figura 8 - Ponte sobre o Rio Jundiaí, localizada no bairro Mil Flores, município de Mairiporã. ....	39
Figura 9 - Ponte Emancipadores sobre o Rio Jundiaí, apresentando cruzamento de tubulação (à esquerda) e erosão às margens do Rio Jundiaí observada no município de Campo Limpo Paulista (à direita).....	40
Figura 10 - Barramento junto ao Rio Jundiaí (à esquerda) e captação de água (à direita) da empresa Thyssenkrupp, no município de Campo Limpo Paulista .....	41
Figura 11 - Barramento no Rio Jundiaí para captação da SABESP (à esquerda) e retificação do Rio Jundiaí no trecho de captação da SABESP (à direita), no município de Campo Limpo Paulista. ....	41
Figura 12 – Cenário 2: Representação do afluente CF-2 e sua confluência no rio Jundiaí.....	43
Figura 13 – Cenário 3: Representação da barragem do Cunha .....	43
Figura 14 – Armazenamento aproximado dos volumes em um canal.....	50
Figura 15 – Valores de vazões máximas calculados e observados para diferentes tempos de retorno na estação fluviométrica Campo Limpo Paulista.....	53
Figura 16 - Representação no RAS Mapper das seções transversais disponibilizadas pela PCJ .....	56
Figura 17 - Cenário 1: Representação das seções transversais da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí. ....	57
Figura 18 - Cenário 1: Representação da configuração valores de rugosidade ("n") de Manning na seção 1300.....	57
Figura 19 - Cenário 1: Representação da configuração valores no <i>Hydraulic table Parameters</i>	

<i>for Unsteady Flow</i> .....	58
Figura 20 - Subdivisão das seções para o cálculo da condutância .....	60
Figura 21 –Representação das sub-bacias da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí.....	63
Figura 22 –Representação das sub-bacias da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí.....	67
Figura 23 – Mancha de Inundação TR 100 anos, considerando a etapa pré calibração ilustrada na cor verde e pós calibração na cor azul. ....	68
Figura 24 – Mancha de Inundação TR 100 anos – Confluência .....	69
Figura 25 - Mancha de Inundação Cenário 1 <i>versus</i> Perfil .....	71
Figura 26 – Trecho crítico para TR 100 anos – Cenários 1 e 2.....	73
Figura 27 – Trecho crítico para TR 100 anos – Cenários 1 e 3.....	73
Figura 28 – Mancha de Inundação - Cenários 1, 2 e 3 .....	74
Figura 29 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 2 anos.....	75
Figura 30 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 5 anos.....	76
Figura 31 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 10 anos.....	76
Figura 32 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 25 anos.....	77
Figura 33 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 50 anos.....	77
Figura 34 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 100 anos.....	78
Figura 35 – Trecho crítico - Seção Transversal 324.....	78
Figura 36 – Posição do Terreno versus Cota do Terreno - Seção Transversal 324.....	79
Figura 37 – Profundidade, Velocidade, IP (Velocidade * Profundidade) para TR 5 anos e Seção Transversal 324. ....	80
Figura 38 – Posição do Terreno versus Índice de Perigo - Seção Transversal 324.....	81
Figura 39 – Cenário 2 de Índice de Perigo para TR 100 anos.....	82
Figura 40 – Cenário 3 de Índice de Perigo para TR 100 anos.....	82
Figura 41 – Posição do Terreno versus Índice de Perigo para TR 100- Seção Transversal 324 .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do índice de perigo com base nas características físicas da pessoa exposta ao fluxo de água, levando em consideração a razão altura x peso. ....	28
Tabela 2 - Informações demográficas da região superior da Bacia do Rio Jundiáí. ....	35
Tabela 3 - Classe de uso do solo equivalentes para a bacia e respectivos valores de CN associados .....	47
Tabela 4 – Abordagens adotadas na representação do ciclo hidrológico .....	50
Tabela 5 – Dados de entrada utilizando o método de propagação de onda cheia de Muskingum-Cunge.....	52
Tabela 6 – CN ponderado pela área.....	64
Tabela 7 – Tempos de concentração e de retardo para as 7 sub-bacias - Cenário 1.....	64
Tabela 8 – Tempos de concentração e de retardo para a sub-bacia - Cenário 2.....	64
Tabela 9 – Tempos de concentração e de retardo para a sub-bacia - Cenário 3.....	64
Tabela 10 – Vazões de base estimadas para as 7 sub-bacias - Cenário 1 .....	65
Tabela 11 - Características dos hietogramas para TR 2 anos e TR 5 anos.....	65
Tabela 12 - Características dos hietogramas para TR 10 anos e TR 25 anos.....	65
Tabela 13 - Características dos hietogramas para TR 50 anos e TR 100 anos.....	66
Tabela 14 - Aspectos morfológicos fluviais das sub-bacias da região superior do rio Jundiáí na área de estudo no Cenário 1 .....	66
Tabela 15 - Características do rompimento hipotético simulado no Cenário 3.....	67
Tabela 16 - Categorização das classes de uso e ocupação do solo.....	70
Tabela 17- Categorização das classes de uso e ocupação do solo.....	71
Tabela 18 – Resultados exportados das simulações do HEC-HMS – SB1 - Cenário 1 .....	98
Tabela 19 –Resultados exportados das simulações do HEC- HMS – SB6 – Cenário 2.....	100
Tabela 20 – Resultados da simulação SCS – Cenário 3 .....	102
Tabela 21 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1 .....	104
Tabela 22 –Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1, 2 e 3 ..	107

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo Geral .....	17
2.2	Objetivos específicos:.....	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1	Inundações: Impactos e Desafios .....	18
3.2	Estudos sobre Inundações na literatura .....	19
3.3	Mecanismos utilizados para minimizar os impactos das inundações.....	20
3.4	Coleta de dados e técnicas empregadas no estudo de inundações.....	22
3.4.1	Mapeamento de risco a inundação.....	23
3.4.2	Determinação dos índices de perigo.....	24
3.4.3	Avaliação do Índice de Perigo.....	26
3.5	Índices de risco à inundação acoplada a modelos hidrológicos e hidráulicos.....	29
3.5.1	Modelos Hidrológicos .....	35
3.5.2	Modelos Hidráulicos .....	29
3.6	Softwares de Simulação Hidrológica e Hidráulica: Critérios de Seleção .....	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	32
4.1	Diagnóstico da Área de Estudo .....	34
4.1.1	Características socioeconômicas e de uso .....	35
4.1.2	Levantamento de informações nos municípios que pertencem a região superior da bacia do Rio Jundiáí. ....	37
4.1.2.1	Mairiporã .....	37
4.1.2.2	Atibaia .....	39
4.1.2.3	Campo Limpo Paulista .....	40
4.1.2.4	Jarinu .....	42
4.1.3	Cenários considerados para a simulação .....	42
4.1.4	Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí.....	45
4.1.4.1	Mapa de uso e ocupação do solo .....	45
4.2	Estimativa das precipitações extremas .....	47
4.3	Parâmetros do modelo chuva-vazão .....	48
4.3.1	Tempo de concentração e escoamento de base .....	48
4.4	Simulação hidrológica .....	49
4.4.1	Simulação hidrológica – Cenário 3 .....	54
4.5	Simulação hidrodinâmica .....	55

4.6	Ajustes Manuais - Calibração Preliminar do modelo hidrodinâmico .....	62
4.7	Índice de Perigo .....	63
5	RESULTADOS .....	63
5.1	Simulação Hidrológica .....	63
5.1.1	Parâmetros do modelo chuva-vazão .....	64
5.1.2	Tempo de concentração e escoamento de base .....	64
5.2	Simulação hidrodinâmica .....	66
5.2.1	Hidrogramas – Cenários 1 e 2 .....	66
5.2.2	Hidrograma – Cenário 3 .....	67
5.2.3	Ajustes Manuais - Calibração Preliminar do modelo hidrodinâmico .....	67
5.3	Análise das simulações de inundação para os diferentes períodos de retorno .....	69
5.3.1	Cenário 1 .....	70
5.3.2	Cenário 2 e Cenário 3 .....	72
5.3.3	Avaliação Crítica dos Cenários e Áreas de Maior Risco .....	74
5.4	Análise das simulações de índice de perigo para os diferentes períodos de retorno ....	75
5.4.1	Cenário 1 .....	80
5.4.2	Cenário 2 e Cenário 3 .....	81
5.5	Incertezas e Simplificações .....	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	86
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
	Apêndice I.....	98
	Apêndice II.....	100
	Apêndice III.....	102
	Apêndice IV.....	103
	Apêndice V.....	104
	Apêndice VI.....	107

## 1 INTRODUÇÃO

As inundações são eventos naturais que resultam em graves consequências sociais, ambientais e econômicas. Um estudo realizado por Kvitsjøen *et al.* (2021) destaca que esses eventos podem causar perdas consideráveis para as comunidades afetadas. Entre os diferentes tipos de inundações, as urbanas são especialmente preocupantes, especialmente em megacidades, onde o crescimento desordenado e a alta densidade populacional aumentam a complexidade do controle e gerenciamento desses eventos, como mencionado por Yin *et al.* (2021).

As inundações urbanas resultam em danos materiais, destruição de infraestrutura, interrupção de serviços básicos e deslocamentos forçados, afetando negativamente a sociedade como um todo. Barros *et al.* (2016) destacam que, no Brasil e em outras partes do mundo, as inundações têm causado inúmeras catástrofes, impactando negativamente a vida de milhões de pessoas.

Recentemente, no estado do Rio Grande do Sul, ocorreu um evento desencadeado por um desastre natural. Conforme Possanti, Marques e Paiva (2023), fortes chuvas atingiram vastas regiões da metade norte do estado nos primeiros dias de setembro de 2023, resultando em inundações, principalmente na Bacia do Rio Taquari-Antas. Até o momento, foram confirmados mais de 40 óbitos, enquanto dezenas de pessoas permanecem desaparecidas e milhares foram afetadas. Esse desastre aconteceu quando o Rio Grande do Sul ainda se recuperava de inundações extremas ocorridas há menos de três meses, em 16 de junho, acarretando impactos econômicos consideráveis e perdas de vidas humanas. A inundação foi provocada pelo Rio Taquari, que recebeu o escoamento das chuvas provenientes de uma vasta área que abrange aproximadamente 100 municípios no estado, inclusive localidades distantes de Lajeado, como Cambará do Sul, Serafina Correa e Soledade.

A fim de mitigar esses eventos e desenvolver políticas públicas adequadas, a literatura tem se dedicado a compreender a vulnerabilidade social e identificar populações mais suscetíveis a inundações. Lapietra *et al.* (2023) e Salman *et al.* (2018) têm conduzido estudos relevantes nessa área, focando em estratégias de mitigação e políticas públicas. Uma abordagem eficaz no estudo das inundações é a modelagem de bacias hidrográficas, que permite compreender melhor os territórios e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao manejo dos recursos hídricos. Essa abordagem considera as mudanças ambientais, como as mudanças climáticas, o uso do solo e as atividades humanas, dentro dos limites de uma bacia hidrográfica. Graciosa (2022) destaca a importância dessa abordagem para quantificar os efeitos das

mudanças e implementar estratégias adequadas de gestão.

Nesse contexto, Salman *et al.* (2018) ressaltam a importância da aplicação de programas computacionais e ferramentas de informações geográficas para analisar o escoamento superficial da água e determinar as áreas inundáveis adjacentes aos rios, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas.

A região superior da bacia do rio Jundiaí, que abriga uma população estimada em 94.175 habitantes e possui uma relevância econômica e populacional significativa, será o foco deste trabalho. Essa região, segundo Garcia e Maia (2020), depende dos recursos hídricos do rio Jundiaí e engloba municípios com um PIB aproximado de R\$ 14,14 milhões, conforme dados censitários do IBGE em 2020. Essa área faz parte de uma das mais populosas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) n° 5 do estado de São Paulo.

A capacidade de previsão e prevenção de eventos extremos e desastres naturais tem registrado avanço nas últimas décadas, tanto a nível global quanto no contexto brasileiro. Em particular, no estado de São Paulo, o Sistema de Alerta de São Paulo (SAISP) desempenha um papel importante no monitoramento em tempo real das variáveis hidrometeorológicas na região do rio Jundiaí, englobando o nível de água em rios, a vazão de água e a precipitação.

Entretanto, apesar dos notáveis avanços científicos, é perceptível a existência de lacunas que carecem de aprimoramento nos protocolos de ação. Isso envolve não apenas a identificação mais precisa de possíveis eventos extremos de precipitação, mas também a necessidade de intensificar a conscientização da população em relação aos riscos associados e fortalecer a capacitação das comunidades para agir de forma eficaz em momentos de desastre.

Segundo Barros *et al.* (2016), o impacto do crescimento populacional e da ocupação desordenada do solo na bacia do rio Jundiaí é um desses desafios. O rápido aumento da população e a expansão urbana descontrolada têm levado a um aumento significativo da impermeabilização do solo, o que dificulta a absorção adequada da água das chuvas e aumenta o risco de inundações. A superação desses desafios requer um esforço conjunto de especialistas, autoridades governamentais e a população em geral.

Nesse contexto, é importante destacar que a disponibilidade de dados de previsão meteorológica não assegura a eficácia na redução dos danos e prejuízos resultantes desses eventos. Diante dos desafios que se apresentam, torna-se prioritário aprimorar um conjunto de medidas voltadas para a implementação imediata, de curto prazo e de longo prazo em aspectos técnicos, bem como na esfera política e estratégica institucional.

De acordo com Possantti, Marques e Paiva (2023), uma das ações urgentes e prioritárias é a identificação das áreas de risco de inundação. Isso permitirá a elaboração de planos

apropriados de ocupação no futuro próximo. É possível que muitas pessoas desconheçam os perigos associados ao local onde residem, tenham permanecido devido à falta de avisos ou desconsiderado os alertas por falta de credibilidade.

Quanto às ações de médio e longo prazo (ações permanentes com início em até 6 meses), incluem a realização de estudos regionais de zoneamento de áreas sujeitas a inundações, considerando também a análise de cenários de mudanças climáticas para a adequada planificação de usos do solo. Além disso, é essencial promover uma ação político-estratégica-institucional visando o desenvolvimento de uma perspectiva de prevenção e conscientização sobre os riscos relacionados a eventos extremos e desastres. Isso inclui a divulgação ampla na população de ferramentas de gestão de risco, como mapas de perigo e áreas de auto salvamento, bem como a inclusão desses elementos no currículo escolar de nível fundamental e médio.

O trabalho mais recente identificado que aplicou o índice de perigo é de Mattos (2021), onde foi desenvolvido um sistema de alerta para inundações em uma bacia hidrográfica urbana localizada em Campo Grande. Nesse caso, o sistema de previsão está sendo implementado na forma de um aplicativo que envia mensagens de alerta para a população e fornece informações relativas aos níveis previstos nos cursos de água em determinados pontos da cidade. Por sua vez, Fagundes (2021) também utilizou o índice de perigo como subsídio para determinar um sistema de previsão de alerta para o fechamento da trilha do rio do Boi em Santa Catarina. Além disso, esse estudo também mostrou a aplicabilidade do HEC-RTS na previsão hidrológica e na tomada de decisões relacionadas à gestão de inundações nessa área específica.

É fundamental ressaltar que a gestão de risco de desastres deve ser um esforço contínuo, realizado em tempo integral, e não limitado apenas ao período durante ou logo após a ocorrência de desastres. Dentro das diferentes fases da gestão de risco, a prevenção é a etapa que tende a gerar os maiores impactos, antes que um desastre ocorra. Além disso, a prevenção se baseia principalmente em medidas não estruturais, pois geralmente, requerem investimentos de menor magnitude em comparação com as medidas estruturais, tornando-as mais viáveis.

Nesse cenário, busca-se aprimorar a compreensão e gestão das inundações urbanas na região do rio Jundiaí. O estudo busca fornecer informações que abordam aspectos como a avaliação de risco de inundações, a utilização do índice de perigo como ferramenta analítica, e a aplicação de modelagens hidrológicas e hidrodinâmicas. Esses elementos visam enfrentar os desafios associados a eventos de inundação na região, contribuindo para estratégias mais eficazes de prevenção e resposta.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo é avaliar o risco de inundações em áreas urbanas, considerando diferentes cenários, com foco no desenvolvimento e aplicação do índice de perigo como ferramenta de análise. O estudo visa contribuir para a compreensão e gestão das inundações urbanas na região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí.

### **2.2 Objetivos específicos:**

Os objetivos específicos estão relacionados a região superior da bacia do rio Jundiáí em estudo, a saber:

- a) Desenvolver modelagens hidrológicas utilizando o HEC-HMS para gerar hidrogramas que representem os diferentes cenários de estudo;
- b) Realizar modelagens hidrodinâmicas com o HEC-RAS, incorporando dados de uso do solo e batimetria, para avaliar a propagação das inundações em cada cenário.
- c) Apresentar os resultados relacionados as áreas afetadas com base nos dados gerados no HEC-RAS.
- d) Visualizar os mapas de inundação e do índice de perigo, proporcionando uma representação espacial das áreas em risco.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir, é apresentada uma revisão dos estudos, abordando as fundamentações e desdobramentos que contribuíram para o progresso desta análise, bem como são analisados os avanços científicos alcançados na área.

#### 3.1 Inundações: Impactos e Desafios

As inundações urbanas são um dos maiores problemas ambientais enfrentados pelo planeta, gerando altos impactos negativos de naturezas sociais, ambientais e econômicas. Esses problemas são ainda mais agravados nas megacidades, devido à ocupação desordenada do solo e à densidade populacional, o que torna o controle e o gerenciamento da situação extremamente complexos (BARROS *et al.*, 2016).

Esses eventos de inundação são fenômenos naturais que ocorrem quando uma área é inundada por um excesso de água, geralmente causado por eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, derretimento de neve ou rompimento de barragens. Eles podem ter impactos significativos nas áreas afetadas, resultando em perdas econômicas e sociais consideráveis (KVITSJØEN *et al.*, 2021).

Segundo Maranzoni, Doria e Rizzo (2022), nos últimos 20 anos, as inundações foram o tipo de desastre natural mais recorrente (representando 44% de todos os eventos registrados pela Base de Dados de Eventos de Emergência do CRED durante este período) e afetaram 1,65 mil milhões de pessoas em todo o mundo – o maior valor se comparado com outros tipos de desastres – com perdas econômicas de 651 mil milhões de dólares.

O crescimento e a expansão populacional das cidades resultam na necessidade de infraestrutura adicional, incluindo o sistema de drenagem. Essa infraestrutura precisa ser adaptada para atender às demandas sociais e econômicas em constante mudança. No entanto, essas modificações frequentemente causam alterações no escoamento das águas, resultando em inundações locais (KOLLAT *et al.*, 2012).

Lapietra *et al.* (2023) enfatizam que a necessidade constante de alterações e reparos no sistema de drenagem, combinado com as mudanças climáticas atuais e o aumento da densidade populacional nas cidades, está contribuindo significativamente para o aumento dos danos causados pelas enchentes. As inundações podem resultar em perdas materiais significativas, deslocamento de pessoas, impactos na saúde e perda de vidas.

As perdas sociais relacionadas às inundações incluem deslocamento forçado de pessoas, lesões e mortes, impactos na saúde mental, interrupção do acesso a serviços básicos, como água potável e energia, e interrupção do acesso à educação. Um estudo publicado por Yin *et al.*

(2021), revelou que o número de pessoas expostas a inundações em todo o mundo aumentou significativamente nas últimas décadas.

Além disso, as perdas econômicas decorrentes das inundações estão relacionadas a danos materiais, destruição de infraestrutura, interrupção de serviços essenciais e perdas na produção agrícola. De acordo com Zhang *et al.* (2022), estima-se que as inundações anuais causam cerca de US\$ 96 bilhões em perdas econômicas em todo o mundo. Além disso, as inundações podem levar à perda de empregos, diminuição do turismo, impactos no comércio e no setor industrial, resultando em danos de longo prazo para a economia local e nacional. Nesse sentido, há uma crescente demanda em estudar os impactos das inundações e a vulnerabilidade econômica e social na literatura, os quais serão explorados com mais detalhes na próxima seção do texto.

### **3.2 Estudos sobre Inundações na literatura**

Pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de avaliar a vulnerabilidade social em relação aos riscos de inundação em diferentes regiões, revelando a importância de compreender os impactos socioeconômicos decorrentes desses eventos extremos e identificar as populações mais vulneráveis a eles. Essas pesquisas desempenham um papel fundamental na busca por soluções eficazes e estratégias de mitigação.

Um exemplo desses estudos é a avaliação da vulnerabilidade social diante do risco de inundação realizada por Lapietra *et al.* (2023) na região da Basilicata, na Itália. Essa pesquisa examinou os aspectos socioeconômicos e demográficos da região, identificando as comunidades mais suscetíveis aos efeitos adversos das inundações. Os resultados obtidos ajudam a direcionar políticas públicas e medidas de preparação, visando proteger e apoiar essas populações vulneráveis durante eventos de inundação.

Outro estudo relevante foi conduzido por Salman *et al.* (2018), que revisou as abordagens atuais para modelar o impacto potencial da mudança climática, crescimento populacional, aumento da urbanização e degradação da infraestrutura devido ao risco de inundação. Essa pesquisa abrangente forneceu insights importantes sobre como esses fatores interagem e afetam a vulnerabilidade social às inundações, contribuindo para a formulação de estratégias de adaptação mais eficazes.

As inundações representam uma ameaça quando tanto a humanidade, quanto os ecossistemas, correm o risco de sofrer danos significativos. O risco de inundação pode ser descrito como a junção da probabilidade de ocorrência de uma inundação com os potenciais impactos adversos para a saúde das pessoas, a natureza e a atividade econômica associada a ela

(MARANZONI; DORIA; RIZZO, 2022). Em analogia com a definição padrão de risco de eventos extremos, o risco de inundações deve ser considerado como a interação de três componentes: perigo de inundação (frequência e severidade das inundações); exposição (presença de pessoas, edifícios, infraestruturas, atividades econômicas e sociais em áreas propensas a inundáveis); e vulnerabilidade (probabilidade de que os elementos expostos sejam afetados pelas inundações). O crescimento populacional e a expansão dos recursos econômicos em áreas ribeirinhas e zonas costeiras, aliados às mudanças na intensidade e frequência de enchentes decorrentes das alterações climáticas, resultam em um aumento significativo do risco de inundações, destacando assim a necessidade de implementar estratégias em níveis nacionais e locais de redução de riscos e adaptação para melhorar a resiliência das comunidades aos impactos adversos das inundações. (NOFAL; LINDT, 2020).

Além disso, Lipatov *et al.* (2023) realizaram um estudo abrangente na bacia do rio Kuban, localizada na região sul da Rússia, avaliando os perigos de inundação, a vulnerabilidade social e os riscos sociais associados a esses eventos. A análise detalhada permitiu uma compreensão mais abrangente das áreas e grupos populacionais mais propensos a sofrer os impactos negativos das inundações, fornecendo informações valiosas para a implementação de estratégias de adaptação e mitigação. Esses estudos destacam a importância de considerar a vulnerabilidade social nas abordagens de gestão de riscos e na formulação de políticas de prevenção e resposta a inundações.

As políticas de prevenção de riscos de inundações devem ser implementadas, promovendo a conscientização da população e incentivando práticas sustentáveis (BARROS *et al.*, 2016). No próximo tópico, serão apresentados alguns mecanismos destinados à minimização de inundações, abrangendo medidas tanto estruturais quanto não estruturais.

### **3.3 Mecanismos utilizados para minimizar os impactos das inundações**

Medidas estruturais desempenham um destaque na contenção e gerenciamento de inundações. Exemplos de medidas estruturais bem-sucedidas incluem barragens como a Barragem de *Three Gorges* na China, que demonstrou eficácia na redução de inundações ao longo do Rio *Yangtze*. Essa barragem possui comportas e mecanismos de controle de vazão que proporcionam uma gestão adaptativa do fluxo de água, prevenindo inundações em áreas à jusante. Outro exemplo notável de medida estrutural é o Sistema de Comando e Controle da Bacia do Mississippi, nos Estados Unidos, que integra barragens, comportas e canais para regular o fluxo hídrico e reduzir os riscos de inundações. A infraestrutura complexa desse sistema ilustra a importância da engenharia hidráulica na gestão efetiva de inundações em

grandes bacias hidrográficas (GROCH *et al.*, 2022).

Entretanto, apenas a implementação de medidas estruturais não é suficiente para uma gestão abrangente de enchentes. É imperativo incorporar estratégias complementares, como sistemas de alerta de enchentes, que monitoram de forma contínua as condições climáticas e hidrológicas. Esse enfoque possibilita não apenas a previsão antecipada, mas também a emissão eficaz de alertas direcionados às comunidades vulneráveis, desempenhando um papel crucial na gestão abrangente e efetiva para minimizar os impactos das inundações (BARROS *et al.*, 2016).

Um exemplo notável é o Sistema de Alerta de Inundações de Tóquio, no Japão, que utiliza tecnologias avançadas de monitoramento em tempo real e modelos preditivos. Este sistema permite a emissão precisa de alertas, possibilitando evacuações coordenadas e, conseqüentemente, reduzindo significativamente os danos causados pelas inundações (JOO *et al.*, 2019).

Além disso, medidas não estruturais têm desempenhado um papel fundamental em diversas regiões. Na Holanda, o programa "Água Segura" exemplifica essa abordagem, incorporando treinamentos práticos em escolas e simulações de evacuação. Essas iniciativas proporcionam às comunidades conhecimentos práticos sobre medidas individuais e coletivas de segurança durante inundações, contribuindo assim para uma gestão mais eficaz e resiliente diante desse fenômeno natural (BERG *et al.*, 2019).

A integração de medidas estruturais e não estruturais é fundamental para uma gestão eficaz de inundações. Isso engloba a conscientização pública, a educação sobre os riscos de enchentes, a elaboração de planos de emergência e a promoção da resiliência comunitária, juntamente com a participação ativa da comunidade nas atividades de preparação e resposta às inundações (ABDELLA *et al.*, 2021). O estudo conduzido por Chan *et al.* (2019) na bacia do rio Kelantan, na Malásia, ressaltou a limitação de uma abordagem centrada exclusivamente em medidas estruturais, como barragens e diques. A falta de envolvimento do público e a incompreensão das ações adotadas comprometeram a eficácia desse enfoque.

A integração dessas abordagens foi ilustrada no Projeto *Room for the River*, nos Países Baixos, onde a expansão de áreas de inundação controlada (medida estrutural) foi combinada com campanhas educacionais abrangentes para fortalecer a conscientização e a resiliência comunitária (medida não estrutural). A ênfase na sensibilização para práticas seguras durante as enchentes, no desenvolvimento de habilidades de resposta a emergências e na adoção de medidas individuais e coletivas emerge como destaque na minimização dos danos causados por eventos de inundação. Ao envolver a comunidade, promovendo a conscientização e a educação

sobre riscos de enchentes, é possível criar uma cultura de resiliência que contribui para a mitigação dos impactos das inundações e aumenta a eficácia das estratégias adotadas (BARROS *et al.*, 2016).

Logo, a gestão eficaz das inundações requer a combinação de medidas estruturais e não estruturais, adaptadas às necessidades e características locais. A implementação de infraestruturas físicas, como barragens e sistemas de drenagem, deve ser complementada por sistemas de alerta, educação pública e resiliência comunitária. A integração dessas abordagens proporciona uma gestão mais eficaz das inundações, aumentando a resiliência das comunidades e reduzindo os danos causados por esse fenômeno natural (ABDELLA *et al.*, 2021; GROCH *et al.*, 2022; CHAN *et al.*, 2019).

### **3.4 Coleta de dados e técnicas empregadas no estudo de inundações**

A coleta de dados e as técnicas utilizadas no estudo das inundações desempenham um papel de extrema importância no desenvolvimento de mapa de risco e no planejamento efetivo de infraestruturas de gerenciamento. Esses processos são essenciais para compreender e antecipar os comportamentos dos rios, além de identificar áreas suscetíveis a esse fenômeno (JAIN *et al.*, 2018). Na seção 3.4.1, será apresentada uma análise detalhada sobre a relevância da previsão hidrológica na gestão de áreas propensas a inundações.

A obtenção de informações hidrometeorológicas em tempo real é efetuada por meio de uma variedade de instrumentos, incluindo estações meteorológicas, pluviômetros, medidores de nível de água e sensores de vazão. Esses dispositivos proporcionam informações precisas acerca das condições climáticas e hidrológicas, permitindo uma compreensão aprofundada dos padrões e comportamentos dos rios, o que resulta em previsões de inundações mais precisas (WIJAYARATHNE *et al.*, 2020).

Conforme Jain *et al.* (2018), a análise de dados históricos de inundações passadas e eventos extremos desempenha um papel crucial no estudo das inundações, permitindo a identificação de padrões relacionados à frequência, intensidade e duração desses eventos. Essa análise é fundamental para o planejamento de medidas de mitigação, uma vez que fornece informações valiosas sobre as características dessas ocorrências, auxiliando na elaboração de estratégias eficazes para reduzir os impactos das inundações.

Com o objetivo de adquirir dados abrangentes sobre a configuração do terreno em áreas impactadas por inundações e realizar o mapeamento da topografia dos cursos d'água Noymanee *et al.* (2019), enfatiza que, os levantamentos topográficos desempenham um papel fundamental na compreensão das características do terreno e na avaliação de sua capacidade de drenagem.

Conseqüentemente, eles desempenham um papel importante no avanço da modelagem hidrológica, assunto que será explorado com mais detalhes na seção 3.4.2.

Destaca-se a relevância do sensoriamento remoto no processo de coleta de dados para a análise das inundações. A utilização de tecnologias como imagens de satélite, fotografias aéreas e drones se mostra essencial, fornecendo uma fonte valiosa de informações. Segundo Domeneghetti *et al.* (2019), esses recursos tecnológicos permitem obter dados precisos sobre a extensão das áreas afetadas por inundações, facilitando a identificação de mudanças nas condições hidrológicas ao longo do tempo. Especificamente, nos últimos anos, a comunidade científica tem demonstrado o potencial das variáveis de sensoriamento remoto na calibração e validação de modelos hidráulicos, bem como no avanço do mapeamento de inundações em tempo real e em aplicações de monitoramento.

Koshinchanov *et al.* (2019) ressalta que o rápido desenvolvimento do sensoriamento remoto hidrológico oferece a possibilidade de fornecer informações adicionais e alternativas para facilitar previsões oportunas e confiáveis. Isso tem despertado um interesse crescente em explorar o uso de dados de sensoriamento remoto para prever enchentes. Além disso, o sensoriamento remoto desempenha um papel indispensável na elaboração de mapas de risco de inundações, contribuindo significativamente para o planejamento e a prevenção de desastres.

### **3.4.1 Mapeamento de risco a inundação**

O mapeamento da vulnerabilidade de inundação é uma ferramenta eficaz e crescente adotada na abordagem da gestão de risco associada às inundações (MA *et al.*, 2021). Os mapas de vulnerabilidade de inundação permitem prever a distribuição espacial do risco associado à inundação, representando-o em termos de danos esperados e potenciais conseqüências para um determinado evento de inundação (LYU *et al.*, 2019). Essas representações desempenham um papel determinante para projetar uma resposta rápida a emergências, prevenir a ocorrência de novos riscos por meio de orientações para o planejamento e a gestão do território, na redução dos riscos existentes através da implementação de medidas de proteção e mitigação, e no aumento da consciência pública sobre o risco de inundações, promovendo assim a adaptação da sociedade às mudanças nos fatores de risco (NOFAL; LINDT, 2020).

Internacionalmente, diversos exemplos de mapeamento de inundações destinados à gestão do risco de inundações podem ser observados. Estes incluem o Programa Nacional de Seguro contra Inundações dos Estados Unidos, o Plano Francês de Prevenção de Riscos de Inundações, o Plano de Gestão do Risco de Inundações do Reno na Alemanha, o Plano de Gestão de Riscos de Inundações do Danúbio, o programa PLUIES (Prevenção e controle de

enchentes e efeitos das enchentes sobre as vítimas) na Bélgica, e a recente atualização dos mapas de perigos e riscos de inundação para extensas áreas de cursos fluviais e zonas costeiras na Espanha (MARANZONI, DORIA E RIZZO, 2022).

Relatórios, diretrizes e manuais são produzidos com o objetivo de orientar a avaliação e gestão do risco de inundações, normalmente direcionados para uma área geográfica específica, ou oferecendo uma visão geral das técnicas usadas em diferentes países em todo o mundo. Recentemente, vários programas de investigação nacionais e internacionais têm se concentrado à investigação de eventos extremos de inundação e à promoção de avanços em métodos, estratégias e técnicas de simulação de inundações visando aperfeiçoar a gestão do risco de inundação. Exemplos internacionais incluem o projeto FloodRISE, que se dedica a pesquisas com simulações de perigo de inundação em resolução métrica, visando melhorar a gestão do risco de inundação (UCI, 2022) e FLOODsite que apresenta metodologias integradas para análise e gestão de riscos relacionados a inundações (FLOODsite, 2023). Um relevante exemplo a nível nacional foi a elaboração de uma nota técnica pela equipe de estudo em administração e planejamento de recursos hídricos, que analisou o impacto das inundações causadas pelo transbordamento do Rio Taquari-Antas no Rio Grande do Sul, nos dias 4 e 5 de setembro de 2023, oferecendo estimativas preliminares e orientações para iniciativas de adaptação e resposta (GESPLA, 2023).

### **3.4.2 Determinação dos índices de perigo**

O conceito de perigo é complexo e pode variar dependendo do contexto em que é usado. Em alguns casos, as palavras perigo e risco são usadas de maneira intercambiável, mas têm significados diferentes (ARAÚJO *et al.*, 2019). O perigo pode ser um fenômeno natural, antropogênico ou socio natural que tem potencial para causar perdas de vidas, danos ao meio ambiente, propriedades e infraestrutura, além de desordens sociais e econômicas, conforme descrito pela UNISDR (2016). Paralelamente, NOFAL e LINDT (2020) ressaltam que o perigo de inundação é um elemento essencial na avaliação do risco de inundação e se define como a ameaça representada por uma inundação de determinada frequência e magnitude em um local específico.

Nesse sentido, Bhat *et al.* (2019) destacam que os perigos naturais, como enchentes, incêndios e deslizamentos de terra, são eventos naturais com uma escala e probabilidade específicas de ocorrência e que podem causar danos. Entre esses perigos naturais, as enchentes são consideradas uma das mais impactantes globalmente. O aumento da urbanização em áreas ribeirinhas nas últimas décadas contribuiu para a ocorrência frequente e grave de enchentes



repentinas. Devido à sua natureza repentina, muitas vezes é difícil prever e preparar as pessoas para esses eventos (PAIXÃO *et al.*, 2018). Como resultado, tem havido um aumento na mortalidade devido a enchentes repentinas e alagamentos (SKILODIMOU *et al.*, 2021).

As enchentes repentinas e alagamentos são perigos naturais que podem ter consequências devastadoras para as comunidades afetadas. Além das perdas de vidas, esses eventos também podem resultar em danos extensos à infraestrutura, destruição de propriedades e impactos significativos no meio ambiente. A rápida elevação do nível da água e o fluxo violento das enchentes podem dificultar a evacuação e expor a população em situações de elevado risco. Comunidades que vivem em áreas de risco, como regiões costeiras, próximas a rios e em encostas, estão particularmente vulneráveis a esses perigos naturais (SMITH *et al.*, 2019).

A mudança climática tem contribuído para a intensificação dos perigos naturais, incluindo as enchentes repentinas. O incremento da frequência e intensidade das chuvas, juntamente com padrões climáticos mais extremos, tem levado a um aumento dos eventos de inundação em muitas partes do mundo. O crescimento desordenado das áreas urbanas e a ocupação de áreas de risco também agravam a situação, aumentando a exposição e a vulnerabilidade das populações. Além disso, a degradação ambiental, como o desmatamento e a impermeabilização do solo, pode agravar os efeitos das enchentes, reduzindo a capacidade de retenção e reserva de água (TOOSI *et al.*, 2020).

Para lidar com os perigos naturais, como as enchentes repentinas e alagamentos, é essencial adotar abordagens integradas de gestão de riscos. Isso envolve a implementação de medidas preventivas, como mapeamento de áreas de risco, planejamento urbano adequado e promoção de sistemas de alerta precoce. Além disso, é importante investir em infraestrutura resiliente, como sistemas de drenagem e proteção costeira, para reduzir os danos causados por esses eventos. O fortalecimento da capacidade de resposta e recuperação das comunidades afetadas também desempenha um papel crucial na redução dos efeitos dos perigos naturais. A conscientização pública e a educação sobre medidas de segurança e preparação também são fundamentais para reduzir a vulnerabilidade das pessoas e minimizar os impactos desses eventos (UNDRR, 2019).

Segundo Kittipongvises *et al.* (2020), para avaliar o perigo de inundação, existem diferentes abordagens, classificadas em métodos qualitativos, semiquantitativos e quantitativos. Os métodos qualitativos são heurísticos e baseiam-se exclusivamente no parecer de especialistas. Por outro lado, os métodos semiquantitativos utilizam uma abordagem de classificação de risco de inundação que pondera várias contribuições de fatores geográficos e

morfométricos.

Esses métodos frequentemente exploram a capacidade dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e são especialmente eficazes em análises em grande escala, como em cenários regionais ou de bacias hidrográficas, ou em situações com limitações de dados. Por último, os métodos quantitativos baseiam-se em cenários hidrológicos e em modelagens hidráulicas, e implicam a definição e cálculo de um índice de perigo de inundação adequado a referir para a elaboração de uma classificação do nível de perigo (SKILODIMOU *et al.*, 2021).

Os índices de perigo de inundação são geralmente definidos pela combinação de parâmetros de fluxo relevantes; portanto, a aplicação de tais métodos requer a criação de modelos hidrodinâmicos e a disponibilidade de dados de entrada (modelos de elevação, informações de uso e cobertura do solo etc.). Além disso, é necessário um grande esforço computacional, especialmente quando uma grande área inundável deve ser coberta, e deve ser garantida alta precisão e resolução espacial (TOOSI *et al.*, 2020).

O modelo hidrodinâmico de inundação, que combina um modelo hidráulico com um modelo digital de elevação, possibilita a simulação do comportamento da água, levando em consideração a topografia do terreno e as características hidráulicas. Esse modelo fornece uma representação física do processo de inundação e, ao simular cenários com diferentes períodos de retorno, permite a previsão dos parâmetros hidráulicos essenciais para avaliar a intensidade das inundações.

### **3.4.3 Avaliação do Índice de Perigo**

Existem diversas estratégias disponíveis para atenuar os impactos dos desastres naturais, e, independentemente das medidas adotadas, a identificação do perigo acompanhada da avaliação do risco de ocorrência são passos de extrema importância. Os parâmetros mais comuns para quantificar o risco de inundação são a profundidade da inundação e a velocidade do fluxo, que podem ser considerados isoladamente ou combinados para definir um indicador apropriado de perigo de inundação, frequentemente o produto da profundidade da inundação e da velocidade do fluxo (CEA *et al.*, 2022). Em particular, a profundidade da inundação é o parâmetro de intensidade mais prevalente nas funções que quantificam os danos causados pelas inundações (NOFAL *et al.*, 2020). Outros fatores relevantes para a avaliação do risco de inundação, conforme Naeem *et al.* (2021), incluem o tempo de chegada da inundação, a duração da inundação, a taxa de aumento da profundidade da inundação, bem como a profundidade da água parada após a inundação, o potencial erosivo da inundação e a presença de detritos ou carga contaminante.

Nesse contexto, AIDR (2018) propôs um índice para avaliar os perigos relacionados aos escoamentos de água relacionados a inundações, conforme indicado pela Equação (1). Diversos autores, como Fagundes (2021), Alves Junior, Kobiyama e Corseuil (2023), Cea *et al.* (2022), utilizaram a equação proposta e corroboram a sua eficácia em estudos hidrológicos, especialmente na identificação de áreas adequadas para o desenvolvimento urbano.

$$IP = y \times v \quad (1)$$

Onde:

$IP$  é o índice de perigo ( $m^2/s$ )

$y$  é a profundidade do nível de água (m)

$v$  é velocidade do escoamento (m/s)

A equação apresentada acima evidencia que o índice de perigo está diretamente relacionado ao potencial destrutivo da velocidade do fluxo. Em outras palavras, quando a altura da água é alta e a corrente possui uma velocidade elevada, a vazão resultante pode ocasionar danos estruturais e materiais significativos. À medida que a velocidade do fluxo diminui, consequentemente reduzindo a profundidade, o escoamento da água torna-se mais seguro, causando menos danos (AIDR, 2018). A Figura 1, elaborada pelo mesmo autor, ilustra as possíveis repercussões geradas pelas características do fluxo.

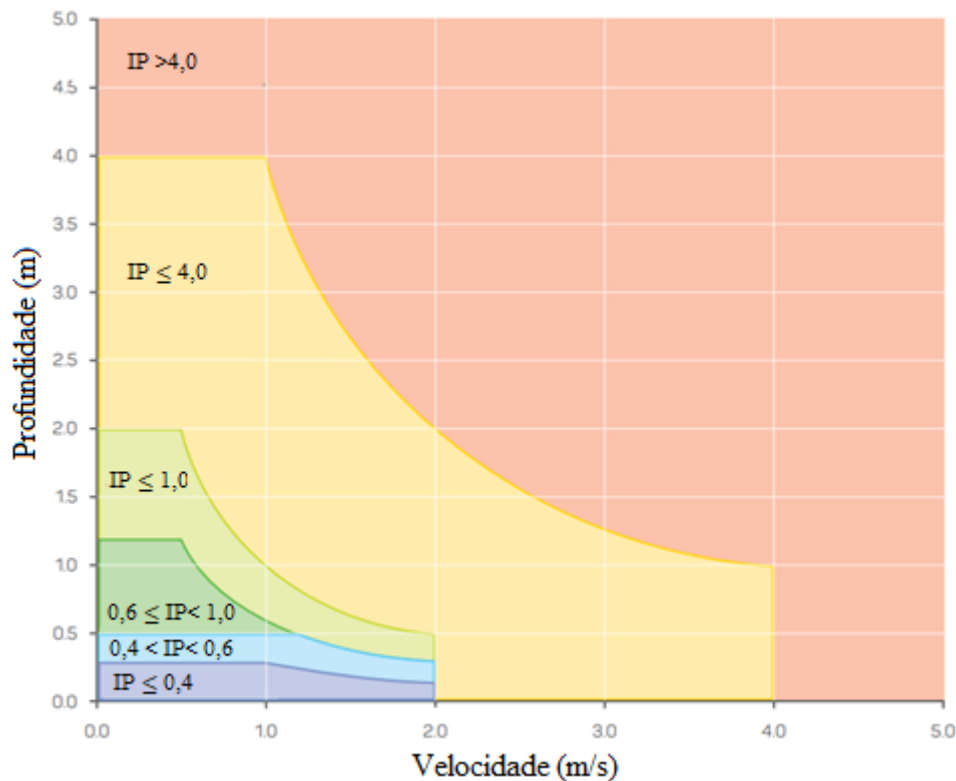


Figura 1 – Representação das diversas ramificações decorrentes de uma inundação em relação ao nível de risco.

FONTE: Adaptado de AIDR (2018).

As curvas de perigo de inundação combinadas apresentadas na Figura 1 estabelecem limites relacionados à vulnerabilidade da comunidade ao interagir com as águas resultante da inundação.

Um estudo mais recente conduzido por Fagundes (2021) determinou os índices de perigo aos quais os turistas estão sujeitos ao realizar a Trilha do Rio do Boi, estabelecendo um limiar de segurança para as condições consideradas no estudo, visando fornecer subsídios para um melhor aproveitamento do parque.

Durante ocorrências de inundações, quando as pessoas estão expostas a fluxos de água que as impedem de permanecer ou atravessar córregos, a segurança fica comprometida, como afirmado por AIDR (2018). Conforme apontado por Fagundes (2021), a maioria dos estudos revisados desde a década de 70 conclui que a capacidade de resistir ao fluxo durante um evento de inundação está diretamente relacionada às características físicas das pessoas, tais como altura e massa, e às condições de vazão, incluindo velocidade e profundidade da lâmina d'água.

A Tabela 1 resume os resultados das muitas investigações realizadas, levando em consideração três tipos distintos de pessoas com base na razão altura e peso (altura x massa – HM).

Tabela 1 - Classificação do índice de perigo com base nas características físicas da pessoa exposta ao fluxo de água, levando em consideração a razão altura x peso.

Índice de Perigo (m <sup>2</sup> /s)	Indivíduos com estatura e peso reduzidos (A.M. ≤ 25) e pessoas com fragilidade e idosos	Crianças (25 < A.M. ≤ 50)	Adultos (A.M. > 50)
IP ≤ 4,0	Seguro	Seguro	Seguro
0,4 < IP < 0,6	Perigo extremo; perigoso para todos	Baixo Perigo	Baixo Perigo
0,6 ≤ IP < 1,0		Perigo significativo; perigoso para a maioria	Baixo Perigo
IP ≤ 1,0		Perigo extremo; perigoso para todos	Perigo moderado; perigoso para alguns
IP ≤ 4,0			Perigo significativo; perigoso para a maioria
IP > 4,0			Perigo extremo; perigoso para todos
A.M. é o produto da altura pela massa do indivíduo.			

FONTE: Adaptado de AIDR (2018).

Os resultados típicos da avaliação quantitativa do risco de inundação são mapas de índice de perigo, que retratam a extensão das áreas potencialmente sujeitas a inundações e a

distribuição espacial, para um determinado tempo de retorno.

Exemplificando a aplicação prática do índice de perigo, a Prefeitura de Barra Mansa utilizou o índice de perigo em um projeto de regularização fundiária urbana em áreas ribeirinhas ao longo dos rios que cortam o município, incluindo o Rio Barra Mansa, Rio Bocaina, Rio Bananal e Rio Paraíba do Sul. Nesse contexto, o mapa de índice de perigo foi empregado para compreender a hidrodinâmica das bacias hidrográficas e avaliar os impactos de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas (S.W, 2023).

### **3.5 Índices de risco à inundação acoplada a modelos hidrológicos e hidráulicos**

#### **3.5.1 Modelos Hidráulicos**

A integração dos modelos hidráulicos e hidrológicos, conforme destacado por Garcia e Júnior (2022), desempenha um papel essencial na previsão do comportamento das inundações. Os modelos hidrológicos fornecem informações precisas sobre a distribuição e a quantidade da água que entra em uma bacia hidrográfica, enquanto os modelos hidráulicos permitem simular com precisão o movimento e a acumulação dessa água em diversas partes do sistema hidráulico. Essa abordagem combinada é fundamental para uma previsão mais precisa das inundações.

A utilização do modelo unidimensional de escoamento não permanente é amplamente difundida no estudo de inundações em áreas costeiras, bacias hidrográficas e planícies de inundação. O modelo é baseado nas equações de Saint Venant, onde descrevem um fluxo unidimensional instável em um canal, que podem ser deduzidas a partir das equações da continuidade e conservação da quantidade de movimento, aplicadas a um volume de controle no interior do fluido em movimento (LAGES, 2019).

#### **3.6 Softwares de Simulação Hidrológica e Hidráulica: Critérios de Seleção**

A seleção adequada de softwares de simulação hidrológica e hidráulica desempenha um papel crucial na eficiência e precisão dos estudos realizados (Smith *et al.*, 2020). Nesta seção, serão abordados os critérios relevantes para a escolha dessas ferramentas, levando em consideração sua aplicabilidade, funcionalidades, manutenção e suporte, e o tipo de licença disponível.

Um critério importante é a aplicabilidade do software, ou seja, sua capacidade de suportar uma variedade de modelos hidrológicos e hidráulicos (DEMIREL; VENANCIO e KAHYA, 2023). A possibilidade de utilizar diferentes métodos de modelagem sobre a mesma base é fundamental para abranger uma ampla gama de cenários e avaliar diferentes hipóteses.

A interface do software também desempenha um papel essencial, pois uma interface amigável e intuitiva facilita a aprendizagem e o uso eficiente do software (Garcia *et al.*, 2022). Uma documentação clara e completa é igualmente relevante, fornecendo orientações detalhadas sobre a instalação, configuração e operação do software, bem como exemplos de casos práticos.

Outro aspecto importante é a funcionalidade do software. A capacidade de importação e visualização de dados geográficos relevantes para a análise hidrológica e hidráulica é relevante, possibilitando a integração com sistemas de informações geográficas (GRACIOSA, 2022). Recursos adicionais, como a geração de relatórios e gráficos de resultados, também podem contribuir para aprimorar a interpretação e compreensão dos resultados.

A manutenção e o suporte oferecidos pelo desenvolvedor do software são fatores a serem considerados durante a seleção (Johnson, 2023). A disponibilidade de atualizações regulares, correções de bugs e suporte técnico adequado pode impactar significativamente a experiência do usuário e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Além disso, é necessário considerar o tipo de licença oferecido pelo software. Existem opções de licença aberta (software livre) e licenças pagas (Smith *et al.*, 2020). A escolha depende das necessidades e recursos disponíveis, sendo importante avaliar os custos, a flexibilidade e as restrições associadas a cada tipo de licença.

Entre os softwares amplamente utilizados na simulação hidrológica e hidráulica estão o HEC (*U.S. Army Corps of Engineers*), SWMM, DELFT (SOBEK), CABC (Hidrológico), C-Liv Hidráulico da Poli USP e MGB-IPH. Esses softwares são reconhecidos por sua aplicabilidade e funcionalidades no campo da modelagem hidrológica e hidráulica.

O HEC (*Hydrologic Engineering Center*) é um conjunto de softwares elaborados pelo *U.S. Army Corps of Engineers*. Esses programas abrangem uma variedade de aplicações hidrológicas e hidráulicas, incluindo o HEC-RAS (*River Analysis System*) para modelagem hidrodinâmica em rios e canais, e o HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) para modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, entre outros (USACE, 2023d). O HEC é amplamente reconhecido por sua robustez, precisão e extensa utilização em estudos de engenharia hidráulica (BHUSAL *et al.*, 2022).

O HEC-RAS (*River Analysis System*) é amplamente empregado em estudos hidráulicos, possibilitando a criação de mapas de áreas inundadas, estudo do transporte de sedimentos e modelagem da característica e temperatura da água. Nas suas versões mais recentes, o HEC-RAS oferece uma interface gráfica amigável, compatível com diversos sistemas operacionais, além de disponibilizar documentação e projetos modelo (USACE, 2023a).

Adicionalmente, no âmbito dos estudos hidrológicos, o software HEC-HMS, é utilizado

para a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, fornecendo recursos para simular o ciclo hidrológico. Ambos os softwares são desenvolvidos pelo U.S. Army Corps of Engineers e apresentam interfaces intuitivas e recursos essenciais para análise e previsão de vazões (USACE, 2023b).

O SWMM (*Storm Water Management Model*) é um software amplamente utilizado para a simulação de sistemas de drenagem urbana. Ele permite a modelagem e análise de escoamento pluvial, qualidade da água e controle de enchentes. O SWMM é conhecido por sua capacidade de simular diferentes componentes do sistema de drenagem, como ruas, tubulações, canais e bacias de retenção, proporcionando uma visão abrangente do comportamento hidrológico em áreas urbanas (EPA, 2023).

O DELFT é uma família de softwares desenvolvida pelo Instituto de Pesquisa Deltares, localizado na Holanda. O software mais conhecido dessa família é o SOBEK, utilizado para a modelagem hidrodinâmica de rios, estuários e sistemas costeiros. O SOBEK é reconhecido por sua capacidade de simular processos complexos, como o transporte de sedimentos e a interação entre ondas, correntes e marés. Ele oferece uma ampla gama de módulos e funcionalidades para a análise hidrológica e hidráulica (GRACIOSA, 2022).

O CABC (Conjunto de Algoritmos para Balanço Hidrológico) e o C-Liv Hidráulico são softwares desenvolvidos pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (C-Liv Hidráulico, 2023). O CABC é utilizado para a modelagem hidrológica e a estimativa de balanço hídrico em bacias hidrográficas. Já o C-Liv Hidráulico é utilizado para a análise hidráulica em sistemas de abastecimento de água e de drenagem urbana. Esses softwares são amplamente reconhecidos no meio acadêmico e técnico, contribuindo para estudos e projetos relacionados à hidrologia e hidráulica (GRACIOSA, 2022).

Dentre os modelos hidrológicos de grande escala que viabilizam o fornecimento de informações relevantes sobre a gestão dos recursos hídricos, destaca-se o MGB-IPH, o qual já foi aplicado com sucesso em diversas bacias hidrográficas brasileiras e, mais recentemente, em outras localidades da América do Sul. O MGB-IPH em sua versão completa segundo Tschiedel *et al.* (2020) é um modelo distribuído em grande escala que emprega equações físicas e conceituais para modelar os processos hidrológicos e hidrodinâmicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. O modelo realiza a simulação de processos de Balanço Vertical, tais como o armazenamento de água no solo, a evapotranspiração, e incorpora dados de entrada que variam espacial e temporalmente, como precipitação e informações climáticas, além de considerar aspectos como interceptação, infiltração no solo, escoamento superficial e escoamento subterrâneo.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de mapear o índice de perigo da região superior do rio Jundiá, propõe-se uma metodologia que, por meio da integração cartográfica, utiliza os resultados derivados da modelagem hidrodinâmica e hidrológica. A modelagem hidrológica transforma os eventos de precipitação vinculados a suas respectivas probabilidades de recorrência em vazão, enquanto a hidrodinâmica busca propagar as vazões estimadas pelo modelo hidrológico. As áreas mapeadas pelo índice de perigo são, por fim, o resultado dessa combinação, incorporando as manchas de inundação provenientes da modelagem hidrodinâmica. O procedimento metodológico segue o fluxograma a seguir (Figura 2):

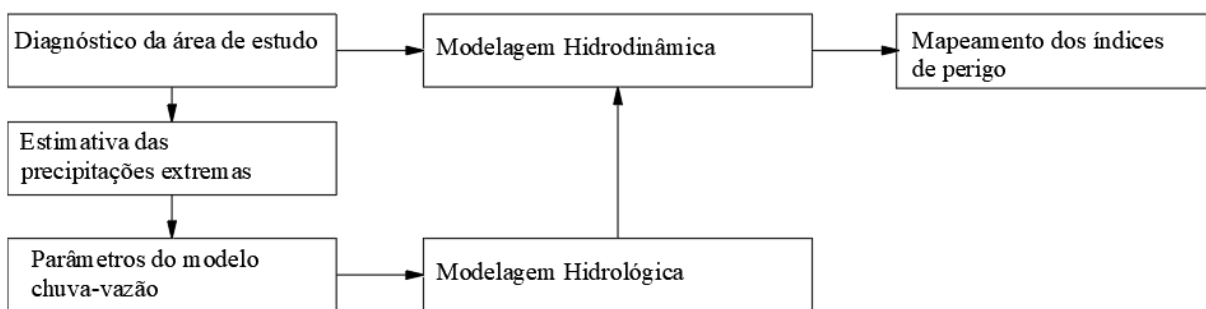


Figura 2 - Procedimento metodológico  
FONTE: Preparado pela autora

O início da elaboração deste modelo envolveu a definição dos limites da área de estudo, predominantemente abrangendo a região da bacia hidrográfica responsável pela contribuição para o escoamento na saída do sistema, conforme detalhado no item 4.1.

Para a determinação da estimativa das precipitações extremas dos limites da área de estudo e das sub-bacias hidrográficas, foi utilizado modelo digital de elevação (MDE). Este aspecto também desempenhou um papel importante nas etapas subsequentes, quando foram adquiridas as características geométricas do rio Jundiá e das planícies de inundação correspondentes. Posteriormente utilizou-se os mapas de uso e ocupação do solo, disponibilizado pela Profill (2021), onde foram delimitadas as áreas urbanas consolidadas das áreas em processo de consolidação, os arruamentos urbanos e pequenas áreas verdes, tais como parques e praças.

O item 4.2, consistiu em apresentar a chuva de projeto, o qual foi obtido os diversos eventos de chuva atrelados a diversas probabilidades de ocorrência. Através da análise dos dados de ocupação do solo, características pedológicas e registros pluviométricos, foram calculados os elementos necessários para a implementação do modelo hidrológico chuva-vazão escolhido. Estes incluem a extensão da bacia, o tempo de concentração, a abstração inicial e o



coeficiente de escoamento superficial, conforme apresentado no item 4.3.

Os parâmetros citados serviram como dado de entrada do modelo hidrológico, item 4.4, permitindo a geração do hidrograma da chuva de projetada. Adicionalmente, a vazão de pico resultante do evento de precipitação, que representa o fluxo máximo obtido resultante da modelagem hidrológica.

Este dado de vazão, juntamente com as propriedades hidráulicas da área alagável, foi inserido no modelo hidrodinâmico, detalhado no item 4.5, determina as manchas de inundação e índice de perigo que, quando integradas em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), resultam no mapeamento das zonas sujeitas a inundação, associada a três cenários, detalhados no item 5 considerado a probabilidade de ocorrência das chuvas. Toda sequência metodológica descrita acima foi esquematizada no fluxograma, conforme Figura 3 e 4.

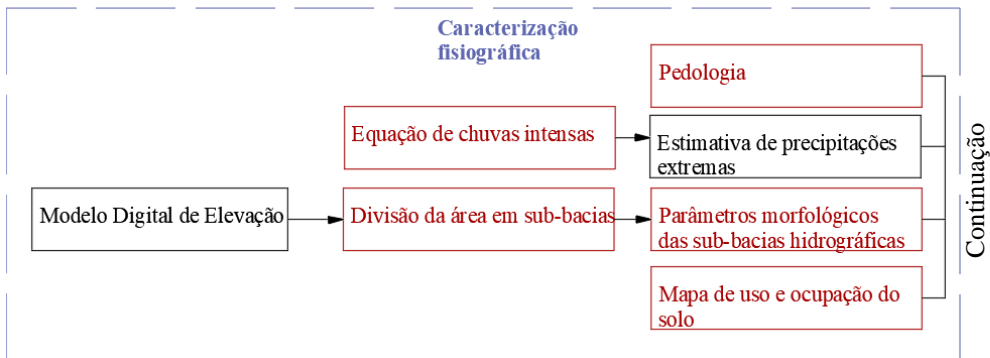


Figura 3 – Disponibilização de dados pela PCJ – Caracterização Fisiográfica  
FONTE: Preparado pela autora

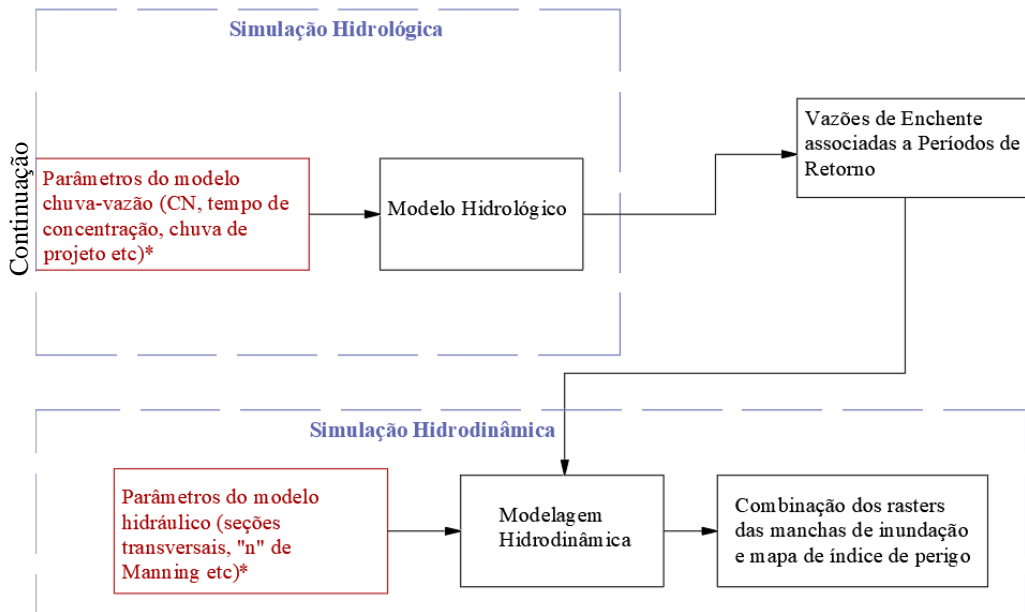


Figura 4 – Disponibilização de dados pela PCJ – Simulações hidrológicas e hidrodinâmicas  
FONTE: Preparado pela autora

Os dados destacados em vermelho representam os dados fornecidos pela Fundação Agência PCJ que foram utilizados integralmente, enquanto os não destacados foram processados diretamente nesta pesquisa. No contexto da simulação hidrológica, os dados marcados em vermelho com um asterisco (\*) não foram utilizados em sua totalidade. O procedimento correspondente está detalhado na seção 4.2 e 4.3. Quanto à simulação hidrodinâmica, foram utilizadas as seções próximas ao exutório do ponto de interesse, detalhados no item 4.5 desta pesquisa.

#### 4.1 Diagnóstico da Área de Estudo

A região superior da bacia do rio Jundiaí, Figura 5, localizada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Piracicaba, Capivari e Jundiaí, é objeto de estudo desta pesquisa. Com uma área de aproximadamente 140 km<sup>2</sup>, a região engloba parcialmente ou totalmente os municípios de Mairiporã, Atibaia, Jarinu e Campo Limpo Paulista. Essa área desempenha um papel crucial no abastecimento de água para a região, fornecendo recursos hídricos não apenas para a população local, mas também para atividades agrícolas e industriais.

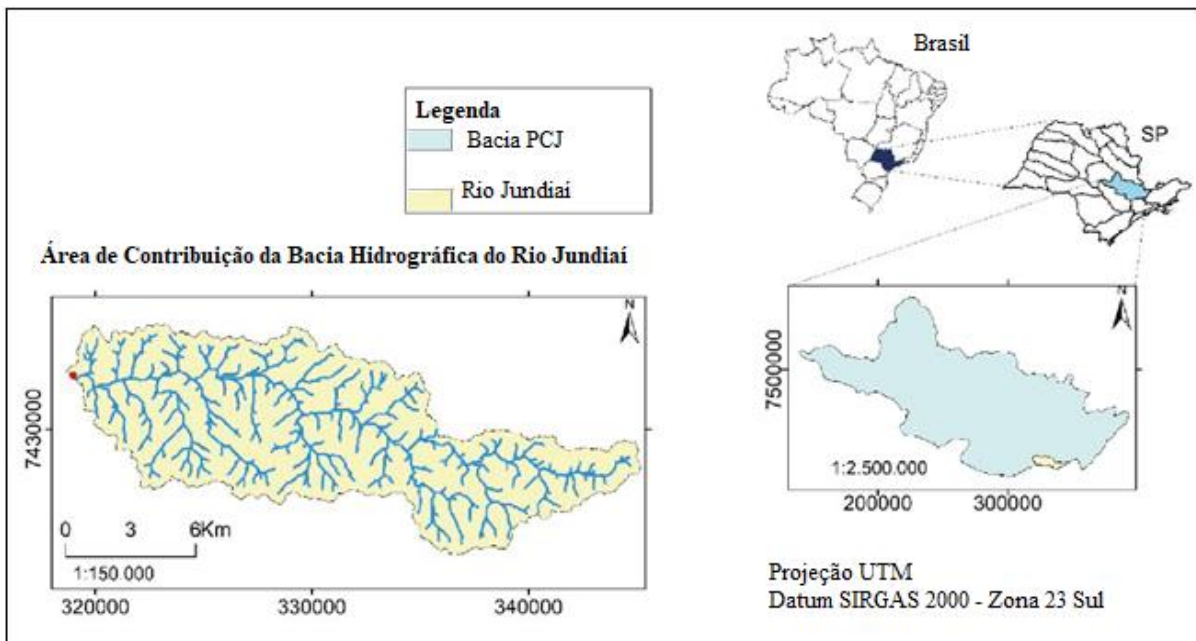


Figura 5 – Cenário 1: Região superior da Bacia do Rio Jundiaí.

FONTE: Adaptado de Murillo-Bermúdez et al. (2022)

A urbanização e a antropização são processos cada vez mais presentes na região da bacia do rio Jundiaí. O rápido crescimento populacional e a expansão das atividades urbanas têm impactos significativos no ambiente natural e no abastecimento de água. O aumento da demanda por recursos hídricos, aliado à ocupação desordenada do solo, a impermeabilização de áreas e a degradação das margens dos rios, resultam em desafios para a gestão sustentável

dos recursos hídricos (FERRÃO *et al.*, 2021).

A quantidade de população que habita os municípios da região superior bacia hidrográfica do rio Jundiá é de 94.175 habitantes, de acordo com dados do IBGE na Tabela 2. Essa população, segundo Garcia e Maia (2020), depende dos recursos hídricos disponíveis na região para suas necessidades diárias, como abastecimento doméstico, atividades agrícolas e industriais. Além disso, o PIB dos municípios que fazem parte da área do estudo foi estimado em cerca de R\$ 14,14 milhões em 2020.

Tabela 2 - Informações demográficas da região superior da Bacia do Rio Jundiá.

<b>Município</b>	<b>PIB**</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área na bacia</b>	<b>Área na bacia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidade demográfica hab/km<sup>2</sup></b>	<b>Habitantes</b>
Campo Limpo Paulista	2.195.755,54	79	100	79	977,7	77.238
Mairiporã	1.931.084,25	321	5,2	16,692	291,92	4.873
Atibaia	7.412.329,94	479	5,6	26,824	331,52	8.893
Jarinu	2.603.548,81	208	8,43	17,5344	180,85	3.171
<b>Total</b>				140,0504		94.175

\*Dados extraídos IBGE edição 2020

FONTE: preparado pela autora com base no SIDRA, IBGE (2023)

Conforme Garcia e Maia (2020), a urbanização intensa e o crescimento das áreas urbanas têm impactos diretos na disponibilidade de água na região. O aumento do consumo de água pela população e pelas indústrias, aliado à degradação da qualidade da água devido à poluição urbana e industrial, resultam em desafios para o abastecimento adequado e sustentável de água. A ocupação desordenada do solo e a impermeabilização de áreas naturais afetam o ciclo hidrológico, reduzindo a recarga dos aquíferos e aumentando o escoamento superficial e o risco de enchentes.

Além disso, a pressão sobre os recursos hídricos da região também é agravada pela expansão das atividades agrícolas, que demandam grandes volumes de água para irrigação. A falta de planejamento e o uso inadequado dos recursos hídricos podem levar a conflitos entre os diferentes setores usuários e comprometer a sustentabilidade hídrica da região (FERRÃO *et al.*, 2021).

#### **4.1.1 Modelos Hidrológicos**

Os modelos hidrológicos desempenham um papel importante na compreensão e previsão do comportamento das bacias hidrográficas no contexto dos estudos sobre enchentes. Eles são representações formais de um sistema hidrológico, sendo a bacia hidrográfica o sistema normalmente adotado, onde ocorrem os processos de armazenamento e transferência de água.

Esses modelos são a base para definir sistemas ou problemas, determinar elementos do sistema, sintetizar e avaliar alternativas de solução, prever comportamentos, auxiliar no planejamento de ações futuras, avaliar magnitudes das variáveis do sistema e prescrever ações que resultem em efeitos desejados sobre as saídas do sistema, entre outras funções (LAGES, 2019).

No contexto dos estudos sobre enchentes, os modelos hidrológicos desempenham um papel crucial na compreensão e previsão do comportamento das bacias hidrográficas. Existem diversos tipos de modelos hidrológicos empregados nessa abordagem.

O modelo hidrológico concentrado, conforme discutido por Abatti (2022), considera a bacia hidrográfica como uma unidade homogênea, com características físicas e hidrológicas constantes em toda a sua extensão. Esse modelo é adequado para bacias de pequeno porte e com padrões de precipitação uniformes. No entanto, a pesquisa de Gama (2019), realça uma conexão direta entre o aumento da extensão da bacia hidrográfica e a melhora do desempenho do sistema de previsão, o que vai contra as expectativas do uso do modelo hidrológico concentrado. Tendo como base os resultados da pesquisa de Gama (2019) e Abatti (2022), pode-se inferir que a abordagem concentrada é caracterizada por uma análise mais simplificada, buscando compreender padrões específicos. Contudo, vale ressaltar que mesmo diante dessa simplicidade, prever o comportamento de bacias menores em horizontes de curto prazo ainda se apresenta como um desafio significativo.

Por outro lado, os modelos hidrológicos distribuídos dividem a bacia em elementos discretos, calculando o balanço hídrico individualmente em cada um desses elementos. A pesquisa de Mazzoleni *et al.* (2019), que utilizou modelos hidrológicos distribuídos, avaliou os impactos das alterações no uso e ocupação do solo no escoamento superficial e na produção de sedimentos, entre outros aspectos. Essa abordagem é mais complexa e requer uma grande quantidade de informações detalhadas e capacidade de processamento computacional. No entanto, ela é aplicável em modelagens de grande escala, como em grandes bacias hidrográficas.

Os modelos semi-distribuídos representam uma abordagem intermediária, na qual a bacia hidrográfica é fragmentada em sub-bacias e cada sub-bacia é tratada de forma homogênea. O estudo de Alvarenga *et al.* (2020) descreve uma avaliação de desempenho de um modelo hidrológico, no qual as características hidrológicas foram comparadas por meio de dois tipos de modelos: os baseados em física e os semi-distribuídos. O estudo demonstrou que essa última abordagem apresenta uma complexidade moderada e requer uma menor discretização dos dados em comparação com os modelos distribuídos. Os modelos semi-distribuídos são especialmente adequados para analisar respostas específicas, como o estudo das inundações urbanas.

#### **4.1.2 Características socioeconômicas e de uso**

O uso e ocupação do solo na bacia do rio Jundiá são predominantemente antrópicos, seguidos por áreas de floresta nativa, especialmente nas elevações da Serra do Japi, compõe grande parte da paisagem. As áreas urbanas estão predominantemente concentradas no núcleo central da bacia e atividades de silvicultura e cultivos temporários. Os solos predominantes na bacia são os Argissolos Vermelhos-Amarelos, caracterizados por sua baixa taxa de permeabilidade, o que favorece a ocorrência de erosão devido ao escoamento superficial. Esses solos apresentam alto teor de argila no horizonte, resultado do processo de mobilização desde a camada mais superficial do solo (PROFILL, 2021).

O município de Mairiporã, localizado na bacia do rio Jundiá, é cortado pela rodovia Fernão Dias (BR-381), que se estende no sentido sul-norte, próxima à nascente. Nessa localidade, destaca-se uma zona industrial situada no Distrito de Terra Preta, conforme citado por Argollo Ferrão et al. (2021). Apesar do notável crescimento da urbanização e da construção de residências de lazer nos últimos anos, a característica predominante do uso do solo ainda é rural.

No que diz respeito ao uso e cobertura do solo, o relatório do plano das bacias PCJ 2020-2035 (PROFILL, 2021) conduziu um mapeamento com base em ortofotos dos anos 2010/2011. Esse levantamento indicou que a bacia hidrográfica do rio Jundiá possui uma proporção significativa de áreas cobertas por vegetação de mata nativa (42%) e campos (35,5%). A categoria de campos é caracterizada pela prevalência de gramíneas, tanto de maneira natural quanto sujeitas a práticas de manejo. Além disso, a porção urbanizada abrange cerca de 12,3% da área total, enquanto as áreas destinadas à indústria madeireira representam 14,9%. As lavouras temporárias ocupam uma parcela reduzida da bacia, totalizando 4,83%.

#### **4.1.3 Levantamento de informações nos municípios que pertencem a região superior da bacia do Rio Jundiá.**

A seguir, são destacadas as principais coletas de informações nos municípios de Mairiporã, Atibaia, Campo Limpo Paulista e Jarinu, abrangidas no relatório final, volume I, conduzido pela PROFILL e Agência das Bacias PCJ, no documento intitulado "Elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Rio Jundiá".

##### **4.1.3.1 Mairiporã**

Em relação à drenagem urbana em Mairiporã, foram identificados problemas de micro e macrodrenagem, como insuficiência e localização inadequada de bocas de lobo,

subdimensionamento da rede de drenagem e lançamento de esgoto na rede. O Plano Municipal de Saneamento Básico propõe medidas para enfrentar esses problemas, incluindo a criação de um banco de dados com informações sobre a rede de drenagem, a delimitação de áreas para criação de parques lineares e áreas de amortecimento de inundações, a implantação de sistemas de infiltração e detenção de águas pluviais e a ampliação da rede de microdrenagem.

O Plano Diretor de Mairiporã estabelece diretrizes para obras e serviços de drenagem, como a remoção e prevenção de ocupações ao longo de fundos de vale e áreas de preservação permanente, a execução de serviços de limpeza, desassoreamento e desobstrução dos cursos d'água e do sistema de microdrenagem, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de áreas inundáveis e a implementação de medidas que aumentem ou preservem a capacidade de retenção das águas pluviais.

Foram observados problemas de inundação em algumas regiões de Mairiporã, como o bairro Mil Flores, Figura 6, onde residências são afetadas pela entrada de água durante eventos de cheias. Além disso, foram identificados estrangulamentos no leito do Rio Jundiáí, conforme Figura 7 e 8, que contribuem para as inundações na região. Medidas de controle de cheias e melhorias na infraestrutura de drenagem são necessárias para enfrentar esses problemas.



Figura 6 - Ruas do bairro Mil Flores, em Mairiporã, onde são observadas comportas nos acessos.

*FONTE: PROFILL (2021).*



Figura 7 - Travessia da Rodovia Fernão Dias sobre o Rio Jundiá, próximo da divisa entre os municípios de Mairiporã e Atibaia. *FONTE: PROFILL (2021).*



Figura 8 - Ponte sobre o Rio Jundiá, localizada no bairro Mil Flores, município de Mairiporã. *FONTE: PROFILL (2021).*

#### 4.1.3.2 Atibaia

Atibaia possui um Plano Municipal de Drenagem de Águas Pluviais que apresenta uma avaliação dos sistemas existentes e propostas de soluções para problemas relacionados à macrodrenagem. O plano identificou áreas críticas em relação a inundações e propôs alternativas para melhorar a eficiência do sistema de drenagem, incluindo a implementação de

metodologias para o registro de pontos de empoçamento de água, a definição e aplicação de técnicas compensatórias de drenagem urbana, a recuperação e limpeza dos rios da área urbana e a elaboração de um novo Plano de Drenagem Urbana a médio prazo.

Algumas áreas do município de Atibaia estão sujeitas a inundações, e medidas estruturais e não-estruturais são propostas para reduzir os problemas de inundação e melhorar a gestão das águas pluviais. A implementação de parques lineares, reservatórios de amortecimento de cheias e intervenções nas travessias dos rios são algumas das obras sugeridas.

#### 4.1.3.3 Campo Limpo Paulista

Campo Limpo Paulista possui um novo Plano Diretor estabelecido pela Lei Complementar nº 302/06, que incluem diretrizes para proteção ambiental nas áreas próximas aos cursos d'água. A Macrozona de Proteção Ambiental e a Macrozona Ambiental de Preservação Permanente são destinadas à preservação da vegetação natural e à recuperação dos rios. Nessas zonas, são permitidos usos como turismo sustentável, aquicultura e manejo de espécies endêmicas, desde que não haja derrubada de árvores.

Em relação à macrodrenagem, foram identificados problemas de erosão das margens ao longo do Rio Jundiá e exposição de tubulações de esgoto (Figura 9). O município de Campo Limpo Paulista busca melhorar a infraestrutura de drenagem por meio de estabilização das margens dos rios e intervenções nas travessias dos cursos d'água.



Figura 9 - Ponte Emancipadores sobre o Rio Jundiá, apresentando cruzamento de tubulação (à esquerda) e erosão às margens do Rio Jundiá observada no município de Campo Limpo Paulista (à direita) *FONTE: PROFILL (2021).*



Durante a visita de reconhecimento ao município, acompanhada por representantes da Prefeitura, foi constatada a presença de dois pequenos barramentos na calha do Rio Jundiáí, Figura 10 e 11, que atravessa a região de Campo Limpo Paulista. É importante ressaltar que nenhum desses barramentos tem a finalidade de gerar energia elétrica. Um dos barramentos é de propriedade da empresa Thyssenkrupp e é utilizado para a captação de água do Rio Jundiáí, a fim de suprir suas necessidades internas. O segundo barramento, pertence à SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e tem como finalidade a captação de água.



Figura 10 - Barramento junto ao Rio Jundiáí (à esquerda) e captação de água (à direita) da empresa Thyssenkrupp, no município de Campo Limpo Paulista *FONTE: PROFILL (2021)*.



Figura 11 - Barramento no Rio Jundiáí para captação da SABESP (à esquerda) e retificação do Rio Jundiáí no trecho de captação da SABESP (à direita), no município de Campo Limpo Paulista. *FONTE: PROFILL (2021)*.

#### **4.1.3.4 Jarinu**

Jarinu ainda não possui um Plano Diretor de Macrodrenagem, mas tem como objetivo adotar medidas não-estruturais, como a implantação de parques lineares e a recomposição da vegetação, além de medidas estruturais, como a implantação de reservatórios de amortecimento de cheias e intervenções nas travessias dos rios. O município também pretende viabilizar um loteamento de alto padrão na região do Rio Jundiá-Mirim, em colaboração com o município de Jundiá.

No que diz respeito à drenagem urbana, o município de Jarinu está localizado na bacia hidrográfica do Rio Jundiá e possui uma rede de macrodrenagem composta por talwegues, fundos de vale e cursos d'água naturais. Existem problemas de assoreamento e dificuldades no escoamento das águas pluviais. A Prefeitura Municipal tem como meta implementar medidas para melhorar o sistema de macrodrenagem, incluindo a estabilização das margens dos rios e intervenções nas travessias. Em relação ao estudo apresentado pelos autores, os municípios da área de estudo, Mairiporã, Atibaia, Campo Limpo Paulista e Jarinu, enfrentam desafios relacionados à drenagem urbana, bem como riscos decorrentes da dinâmica do rio, como inundações e problemas de erosão nas margens.

#### **4.1.4 Cenários considerados para a simulação**

Neste estudo considerou-se a simulação hidrológica e hidrodinâmica para a região superior da bacia do rio Jundiá considerando três cenários. O Cenário 1, Figura 5, descreve a condição de vazão e nível para a região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá considerando os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, abrangendo uma área de 140 km<sup>2</sup>.

O afluente CF-2 descreve o Cenário 2, objeto de análise no estudo realizado pela Perfil (2021), foi identificado por meio da observação visual de imagens dos afluentes obtidas durante a pesquisa de campo na bacia do Rio Jundiá. Conforme relatado pelo autor, não foi possível localizar o nome desse curso d'água na base de dados hidrográficos. Este afluente possui uma área de contribuição de aproximadamente 2,2 km<sup>2</sup>, com extensão aproximada de 2 km e está situado na sub-bacia SB6, como ilustrado na Figura 12.

Ainda conforme a pesquisa da Profill (2021), há registros de enchentes e inundações ocorrendo durante eventos de chuvas intensas na área de confluência do Rio Jundiá, devido às características de ocupação que envolvem a construção de vias marginais muito próximas ao Rio. Para este cenário foi considerado um evento hipotético de chuvas extremas para o TR 100 anos para a região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá, localizada no município de

Campo Limpo Paulista.

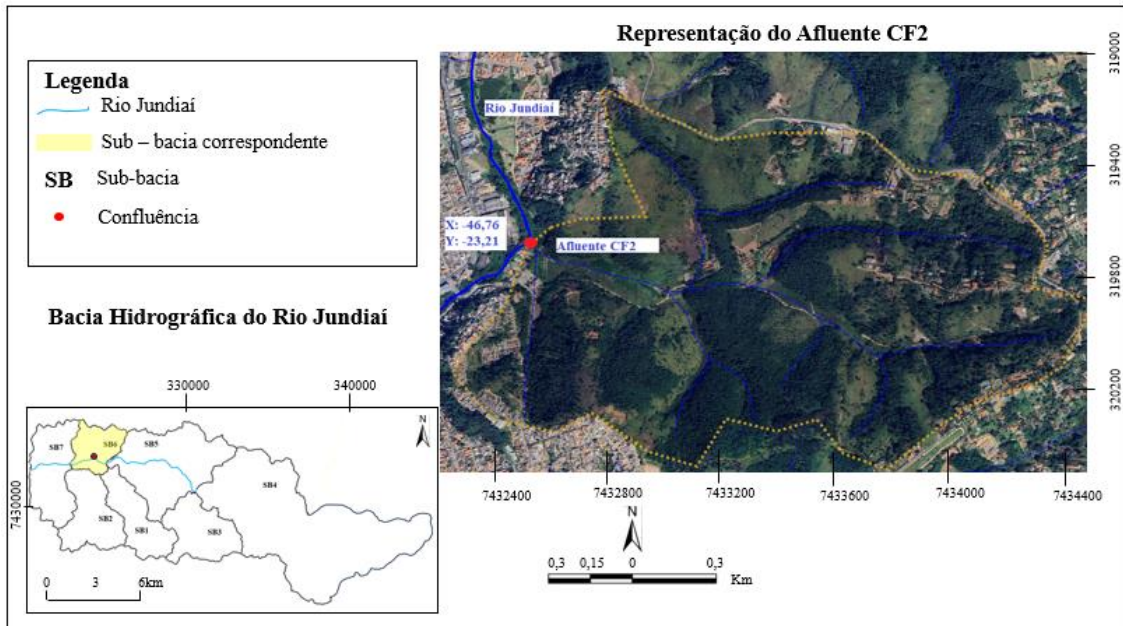


Figura 12 – Cenário 2: Representação do afluente CF-2 e sua confluência no rio Jundiá

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Para o Cenário 3 considerou-se um evento hipotético com o rompimento do afluente localizado na sub-bacia SB6 da barragem do Cunha, localizado na sub-bacia SB6 ao longo da estrada da cooperativa, no município de Campo Limpo Paulista, conforme Figura 13. A barragem em questão é uma estrutura sem proprietário e não consta no cadastro do DAEE. Sua área abrange aproximadamente 13 m<sup>2</sup> e está situada a uma distância de cerca de 740 m a partir do ponto de confluência com o rio Jundiá.

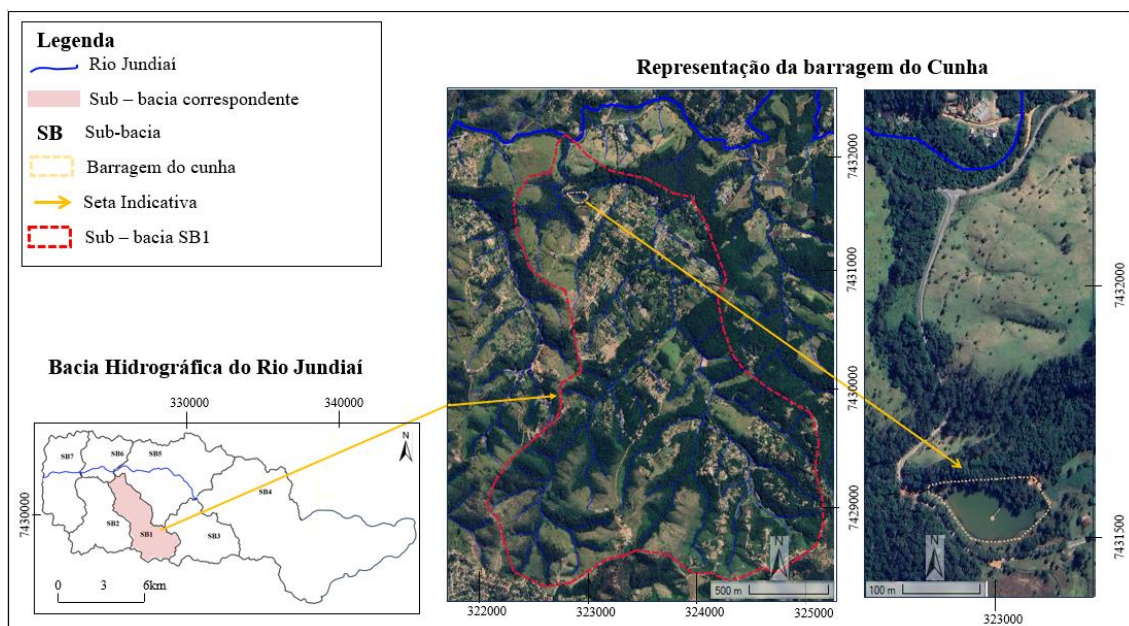


Figura 13 – Cenário 3: Representação da barragem do Cunha  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Para propagar o hidrograma da barragem do Cunha, foi calculada a largura da brecha na estrutura, o que exigiu a aplicação de equações empíricas específicas. A determinação da largura média da brecha foi realizada através de análises de regressão fundamentadas em eventos históricos, conforme descrito por Froehlich (1995) na Equação 2.

$$\bar{B} = 15k_{01}V_w^{0,32}H_d^{0,19} \quad (2)$$

Sendo:

$\bar{B}$  : largura média de brecha trapezoidal (m);

$k_{01}$ : fator multiplicador, sendo 1,4 para falha por galgamento;

$V_w$ : volume do reservatório na ruptura ( $\text{hm}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m).

O fator multiplicador  $k_{01}$  indicou que as falhas devido ao galgamento resultam em uma brecha em comparação com outras causas. Quanto ao tempo de formação da brecha, conforme descrito por Froehlich (1995), considerou-se igual ao intervalo de tempo entre o início de um crescimento rápido da brecha e o momento em que não há mais erosão significativa do material, conforme Equação 3.

$$t_f = 3,84V_w^{0,53}H_d^{-0,90} \quad (3)$$

Sendo:

$t_f$ : tempo de formação da brecha (h);

$V_w$ : volume do reservatório na ruptura ( $\text{hm}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m)

A Equação 4 apresenta a vazão de pico efluente de uma brecha dada pela relação de Pierce *et al.* (2010).

$$Q_{\max} = 0,0038V_w^{0,475}H_d^{1,09} \quad (4)$$

Sendo:

$Q_{\max}$ : vazão de pico do acidente ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$V_w$ : volume do reservatório no momento da ruptura ( $\text{m}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m).

Para o cálculo de hidrograma, considerou-se o hidrograma triangular simplificado SCS

onde se buscou determinar os parâmetros físicos como o tempo de ascensão e tempo de base, conforme Equação 5.

$$t_b = t_a(1 + x) \quad (5)$$

Sendo:

T<sub>a</sub>: Tempo de ascensão ou de pico (h);

x: Parâmetro SCS = 1,67

T<sub>b</sub>: Tempo de base (h).

Após determinado o hidrograma de ruptura da barragem, os resultados obtidos foram para o tempo de retorno 100 anos foi inserido no HEC-RAS para o início da modelagem hidrodinâmica.

#### **4.1.5 Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí**

##### **4.1.5.1 Mapa de uso e ocupação do solo**

O mapeamento de uso e ocupação do solo da bacia do rio Jundiáí foi disponibilizado pela Profill (2021), responsável pela elaboração do relatório final do Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Rio Jundiáí, através da Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí (PCJ), contendo informações sobre o uso do solo local. Este arquivo forneceu informações em uma escala que possibilita a análise de regiões urbanas consolidadas, áreas em processo de consolidação, redes viárias urbanas e espaços verdes de menor extensão, como parques e praças.

Para a percolação da água, optou-se pelo método denominado "*SCS Curve Number*", adequada para bacias com informações pouco detalhadas sobre as propriedades do solo. Nesse método, a partir do valor do *Curve Number* (CN) da bacia, o HEC-HMS calcula a quantidade de água que não infiltrará no solo e estará disponível para a transformação chuva-vazão. Como método de conversão de chuva em vazão, optou-se pelo *SCS Unit Hydrograph*. Tais fatores são expressos através do coeficiente CN (*Curve Number*), que agrega estas duas informações em uma única variável no modelo

A fórmula proposta pelo SCS segue conforme preconizado pela Equação 6:

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{[P + 0,8S]} \quad (6)$$

Onde:

Pe: precipitação efetiva, fração da precipitação que causa escoamento de água superficial (mm);

P: precipitação (mm);

S: capacidade de retenção do solo (mm).

Vale ressaltar que a equação foi rearranjada considerando que os autores do método verificaram que, em média, as perdas iniciais representam cerca de 20% da capacidade de armazenamento do solo (S). O parâmetro S é influenciado pelo tipo e uso do solo, e seus valores são disponibilizados em tabelas específicas. A partir da Equação (6) é possível considerar que a ocorrência de escoamento superficial está relacionada a uma precipitação que excede à 20% da capacidade de retenção de água no solo ( $P > 0,2 S$ ). Quando a taxa de precipitação é inferior a este limiar ( $P < 0,2 S$ ), a precipitação efetiva, ou seja, geração de escoamento superficial, é inexistente (PROFILL, 2021).

Para estimar a capacidade máxima de retenção hídrica do solo (S), estabeleceu-se uma correlação com o fator CN da bacia, que reflete as características do solo e da cobertura das bacias hidrográficas, variando de áreas muito impermeáveis (com CN próximo de 100) até regiões completamente permeáveis (com CN próximo de 1). O valor de S é obtido através da Equação (7), onde os valores de CN são padronizados para os diferentes usos do solo e tipos de solo observados na bacia.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7)$$

De acordo com o método, os tipos de solo são subdivididos conforme sua capacidade de infiltração e produção de escoamento em quatro classes (A, B, C e D), sendo que esta ordem representa o acréscimo do escoamento superficial e, conseqüentemente, a redução da taxa de infiltração de um grupo para outro. Assim, o grupo hidrológico D é responsável pela maior geração de escoamento superficial, bem como o grupo hidrológico A representa a menor geração de escoamento.

A partir da sobreposição do tipo de solo (já associado aos respectivos grupos hidrológicos) ao uso do solo reclassificado, foi possível obter valores de CN para toda a na região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Classe de uso do solo equivalentes para a bacia e respectivos valores de CN associados

Classe de uso do solo original	Valor de CN adotado segundo o grupo hidrológico do solo			
	A	B	C	D
Afloramento rochoso	96	96	96	96
Área Urbanizada	77	85	90	92
Campo	36	60	73	79
Campo Úmido	100	100	100	100
Cana de Açúcar	49	69	79	94
Água	100	100	100	100
Lavoura Permanente	67	77	83	87
Lavoura Temporária	49	69	79	94
Mata Nativa	36	60	70	76
Mineração	77	85	90	92
Outros Usos	98	98	98	98
Pivô	49	69	79	94
Silvicultura	46	68	78	84
Solo exposto	77	86	91	94

FONTE: Adaptado de Profill (2021)

#### 4.2 Estimativa das precipitações extremas

Com o intuito de estabelecer uma comparação com os resultados que constam no Plano Diretor de Macrodrenagem do Rio Jundiá, o qual adotou a metodologia do hidrograma especificado no HEC-HMS, essa mesma abordagem foi aplicada na presente pesquisa. A equação IDF, proveniente do Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2013) e que abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá, foi ajustada para a estação Rio Acima pela Profill (2021). Essa estação está localizada nas coordenadas 23°13'1,8" S (latitude) e 46°40'1,6" W (longitude). O período de dados utilizado para o ajuste abrange os anos de 1974 a 1993. A Equação 8 representa a equação ajustada e é apresentada a seguir:

$$i = \frac{2144,7 \times (TR^{0,1566})}{(t + 19)^{0,9105}} \quad (8)$$

Onde:

I: intensidade da precipitação em mm/h;

TR: tempo de recorrência da chuva em anos;

t: tempo de duração da precipitação em minutos

### 4.3 Parâmetros do modelo chuva-vazão

#### 4.3.1 Tempo de concentração e escoamento de base

Para a posterior estimativa das chuvas de projeto na bacia, além do tempo de retorno (TR) do evento é necessário considerar o tempo de duração da chuva de projeto. Neste caso, foi utilizado o tempo de duração da chuva como sendo o mesmo que o tempo de concentração da bacia, este último definido como o tempo necessário para que toda a precipitação atuante sobre o ponto mais distante da bacia escoe até o exutório.

A determinação dos tempos de concentração de cada sub-bacia foi conduzida utilizando a fórmula de *Watt & Chow*, segundo a Equação 9.

$$t_c = 21,88 \times A^{0,41} \times S^{-0,17} \quad (9)$$

Onde:

$t_c$ : tempo de concentração em minutos;

A: área da sub-bacia em km<sup>2</sup>;

S: declividade do talvegue em m/m

O tempo de retardo, referido como "*lag time*", da bacia hidrográfica foi determinado, e essa métrica indica o tempo que um evento de precipitação leva para resultar em um pico na vazão de uma bacia hidrográfica, em contraste com a consideração direta do tempo de concentração. O SCS recomenda 60% do valor do tempo de concentração para esse parâmetro, conforme Equação 10:

$$t_{lag} = 0,6 \times t_c \quad (10)$$

Onde:

$t_{lag}$  = tempo de retardo, em minutos

$t_c$  = tempo de concentração, em minutos

Para a vazão de base, foi assumido o método mensal constante, o qual apresenta bons resultados quando aplicado em simulações para bacias urbanas pois considera a estabilidade das características da bacia ao longo do ano e fornece uma estimativa confiável da vazão de base (USACE, 2018).

Para determinar o escoamento de base na área de estudo, Profill (2021) conduziu uma análise das vazões mínimas nos postos fluviométricos da bacia. O objetivo era identificar um período mais seco, com pelo menos 30 dias consecutivos sem precipitação, que proporcionasse dados observados tanto na estação pluviométrica quanto nos postos fluviométricos vizinhos.

O intervalo que atendia a essas condições foi identificado, conforme o mesmo autor,



entre os meses de agosto e setembro de 1991, abrangendo o período de 10 de agosto de 1991 a 18 de setembro de 1991. Durante esse intervalo, a estação pluviométrica E3-230 registrou 39 dias sem chuva. Na estação fluviométrica mais próxima, denominada Campo Limpo, a vazão mínima observada foi de  $0,697 \text{ m}^3/\text{s}$ , ocorrida em 17 de setembro de 1991.

Com o conhecimento da área de drenagem da estação fluviométrica Campo Limpo ( $101 \text{ km}^2$ ), Profill (2021) estimou uma vazão de base específica. Essa estimativa foi calculada pela razão entre a vazão mínima observada no posto e a área de drenagem correspondente, resultando em um valor de  $0,007 \text{ m}^3/(\text{s.km}^2)$ .

A distribuição temporal da precipitação foi estimada através dos blocos alternados, considerando o tempo de duração da precipitação em cada sub-bacia equivalente ao tempo de concentração da mesma, estimado através da equação de *Watt & Chow* e a discretização da duração da chuva foi definida como sendo de 10 min.

#### **4.4 Simulação hidrológica**

A escolha foi utilizar o modelo hidrológico HEC-HMS da *US Army Corps of Engineers* (USACE), na versão 4.11, uma ferramenta que facilita a simulação da conversão de precipitação em vazão em bacias hidrográficas. Esse modelo viabiliza a análise de diversos parâmetros, incluindo o volume de deflúvio, a vazão de pico e o tempo de escoamento (USACE, 2016).

Para realizar a simulação, a área de estudo foi dividida em sub-bacias hidrográficas, representando as contribuições dos afluentes na parte superior do Rio Jundiá para os três cenários. A delimitação conduzida pelo software HEC-HMS, estabeleceu automaticamente a rede de drenagem com base em uma área mínima de acumulação de fluxo, resultando na identificação de uma linha de drenagem. De acordo com o Possantti, Marques e Paiva (2023), sugere-se adotar valores próximos a 1% da área total de estudo.

A partir dos hidrogramas gerados por esse modelo, foi possível inferir como o rio Jundiá responderá a determinados eventos de precipitação, considerando sua intensidade e frequência conhecidas.

Na interface do HEC-HMS, para manipular dados topográficos ou de elevação, foi empregada a interface *Terrain Data Manager*. Isso foi feito com o intuito de incorporar o modelo digital de elevação à área de estudo. Após o processamento do modelo digital de elevação, o software HEC-HMS realizou automaticamente o processo de subdivisão da área em sub-bacias e a determinação da geometria das drenagens, utilizando rotinas de geoprocessamento incorporadas no programa.

Após a organização dessas informações, foram definidos os métodos para representar

cada fase do ciclo hidrológico no HEC-HMS. A Tabela 4 exhibe os métodos selecionados.

Tabela 4 – Abordagens adotadas na representação do ciclo hidrológico

Etapa do ciclo hidrológico	Método utilizado
Infiltração	<i>SCS Curve Number</i>
Transformação da chuva em vazão	<i>SCS unit Hydrograph</i>
Vazão de base	Método mensal constante

FONTE: Preparado pela autora

Devido a indisponibilidade de dados, observa-se que, certos componentes do ciclo hidrológico, como evapotranspiração, interceptação pela vegetação e acúmulo de água na superfície, foram desconsiderados na modelagem.

Já para os trechos de rio e/ou canal, o método de propagação de onda de cheia escolhido foi *Muskingum-Cunge*, conforme Equação 11. Este método calcula os hidrogramas de jusante com base nos hidrogramas a montante, realizando sua translação. Essa abordagem se apoia em equações de difusão simplificadas, que são aproximadas por meio do método das diferenças finitas.

$$\frac{I_{t-1} + I_t}{2} \times \frac{Q_{t-1} + Q_t}{2} = \frac{S_{t-1} + S_t}{t} \quad (11)$$

Onde:

$I$ : Vazão de entrada em determinado trecho do canal em  $m^3/s$ ,

$Q$ : Vazão de saída do trecho em  $m^3/s$ ,

$S$ : Armazenamento no trecho em  $m^3/s$

A Figura 14 representa o esquema que representa o armazenamento dos volumes nos leitos dos rios, juntamente com as variáveis-chave empregadas nas equações inerentes ao modelo hidrológico. Na representação, o parâmetro "K" indica o tempo de trânsito na seção do canal, enquanto "X" é a constante que pondera o armazenamento, seja em reservatórios ou canais, como é o caso do volume da "cunha".

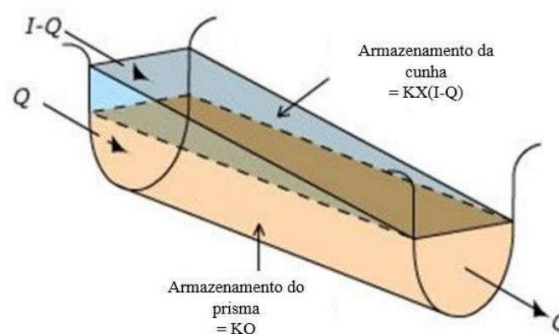


Figura 14 – Armazenamento aproximado dos volumes em um canal

FONTE: USACE (2018)

O volume total de retenção entre os trechos a montante e a jusante em um determinado intervalo de tempo "t" é representado pela Equação 12:

$$S_t = K[XI_t + (1 - X) \times Q_t] \quad (12)$$

Onde:

I : Vazão de entrada em determinado trecho do canal em m<sup>3</sup>/s,

Q: Vazão de saída do trecho em m<sup>3</sup>/s,

S: Armazenamento no trecho em m<sup>3</sup>/s

Os valores dos parâmetros K e X são determinados com base nas características do rio em análise. Neste estudo, informações relevantes para caracterizar adequadamente o rio Jundiá foram coletadas por meio de visitas de campo e análises conduzidas pela Profill (2021).

Os parâmetros são obtidos através das Equações 13 e 14 a seguir.

$$K = \frac{\Delta x}{C} \quad (13)$$

$$X = \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{Q}{B \times c \times S_0 \times \Delta x}\right) \quad (14)$$

Onde:

$\Delta x$ : Comprimento entre o trecho de montante e jusante do canal, em metros,

C: Velocidade da onda de cheia, associada a geometria da calha do canal, em m/s,

Q: Vazão de referência do hidrograma de montante, em m<sup>3</sup>/s,

B: Largura superior da área transversal do canal, em metros

S<sub>0</sub>: Declividade da calha do canal, em m/m

Isolando as variáveis desconhecidas no instante e combinando as Equações 13 e 14, pode-se obter a Equação 15:

$$Q_t = \left[ \frac{t + 2XK}{2K(1 - X) + t} \right] I_t + \left[ \frac{t + 2XK}{2K(1 - X) + t} \right] I_{t-1} + \left[ \frac{2K(1 - X) - t}{2K(1 - X) + t} \right] \quad (15)$$

Desta forma, a Equação 12 é resolvida para cada passo de tempo t, computando o hidrograma de jusante a partir do hidrograma de montante. Percebe-se que as variáveis de entrada para a definição dos parâmetros X e K são dados de fácil obtenção.

A largura dos canais (B) foi medida em campo durante levantamentos batimétricos, os comprimentos dos rios ( $\Delta x$ ) foram definidos através do geoprocessamento de dados

topográficos disponibilizados pela Profill (2021). A geometria das seções transversais foi considerada retangular, que é padrão para dimensionamento de canais naturais e artificiais.

Alguns parâmetros são definidos por subtrechos, em virtude de que o método de *Muskingum-Cunge* simula a propagação da onda de cheia em um trecho L e subdivide-os em N subtrechos de comprimento  $\Delta x$ . A declividade dos taludes laterais foi padronizada em uma relação de 1:1 em todos os subtrechos. O coeficiente de rugosidade de Manning (n) foi mantido em um valor padrão calibrado, disponibilizado pela Profill (2021). E por fim, uma vazão arbitrária foi calculada com base na vazão específica obtida através da vazão média observada, conforme Profill (2021), na estação rio Jundiá em Campo Limpo Paulista e ponderada por área acumulada. A Tabela 5 representa os valores inseridos no modelo hidrológico:

Tabela 5 – Dados de entrada utilizando o método de propagação de onda cheia de *Muskingum-Cunge*

<i>Reach</i>	<i>Initial Type</i>	<i>Length (m)</i>	<i>Slope (m/m)</i>	<i>Manning's n</i>	<i>Space - Time Method</i>	<i>Index Method</i>	<i>Index Flow (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Shape</i>	<i>Width (m)</i>
R3	<i>Discharge = Inflow</i>	18856	0,03352	0,03	Auto DX Auto DT	Flow	1.67	<i>Rectangle</i>	20
R2	<i>Discharge = Inflow</i>	5217	0,02798	0,03	Auto DX Auto DT	Flow	1.67	<i>Rectangle</i>	20
R1	<i>Discharge = Inflow</i>	5901	0,03406	0,03	Auto DX Auto DT	Flow	1.67	<i>Rectangle</i>	20
CF-02	<i>Discharge = Inflow</i>	2000	0,03300	0,03	Auto DX Auto DT	Flow	0,50	<i>Rectangle</i>	12
BC	<i>Discharge = Inflow</i>	740	0,0100	0,03	Auto DX Auto DT	Flow	0,10	<i>Rectangle</i>	5

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

Vale ressaltar que as simulações em modelos hidrológicos são simplificadas e é recomendado aplicar em modelos que não simplificam o escoamento nos canais, como as plataformas de simulação HEC-RAS, que utilizam modelos hidrodinâmicos mais avançados, que solucionam as equações de Saint-Venant numericamente e permitem análises complexas dos fenômenos que acontecem nos canais. Esse item será mais bem abordado no item 4.5.

As precipitações de projeto foram inseridas através do módulo meteorológico, em que cada sub-bacia teve um hietograma específico associado. As especificações de controle foram criadas, de forma que o tempo de simulação seja suficiente para representar a ascensão e a recessão dos hidrogramas de cheia.

Para incorporar os hietogramas com as precipitações de projeto, criou-se séries temporais e posteriormente adicionou-se uma especificação de controle para definir os intervalos de tempo inicial (2 de janeiro de 2000 às 00:00 horas) e final da simulação (4 de janeiro de 2000 às 18:00 horas).

Com estas metodologias aplicadas nas sub-bacias do Rio Jundiá, os resultados obtidos foram hidrogramas de cheia para os tempos de retorno das precipitações de projeto

consideradas, para cada uma das áreas de drenagem simuladas.

Após finalizar o modelo, iniciou-se a etapa de calibração. Essa etapa desempenha um papel crucial no processo de modelagem hidrológica, especialmente ao empregar o método de *Gumbel* para estimar vazões máximas. Seu objetivo é ajustar os parâmetros do modelo de modo que as saídas simuladas se aproximem o máximo possível dos dados observados. Nesse contexto, a Profill (2021) conduziu um procedimento de calibração dos dados de saída com os dados observados do posto fluviométrico de Campo Limpo Paulista para avaliar a correspondência entre as vazões máximas simuladas e os dados observados na porção superior da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí.

De acordo com Profill (2021), após obter a vazão diária máxima de cada ano da série histórica, foram calculadas a média e o desvio padrão dos dados para o posto fluviométrico. A vazão correspondente a cada um dos tempos de retorno considerados no presente estudo foi então determinada por meio da aplicação dessa equação.

As vazões máximas resultantes da aplicação do método de Gumbel, para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, foram calculadas como 8,5 m<sup>3</sup>/s, 11,6 m<sup>3</sup>/s, 13,6 m<sup>3</sup>/s, 16,2 m<sup>3</sup>/s, 18,1 m<sup>3</sup>/s e 20 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. A Figura 15 apresenta os tempos de retorno calculados para as vazões máximas diárias anuais obtidas da série histórica do posto fluviométrico, bem como as vazões estimadas por meio da distribuição de Gumbel para os tempos de retorno considerados neste estudo (2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos).

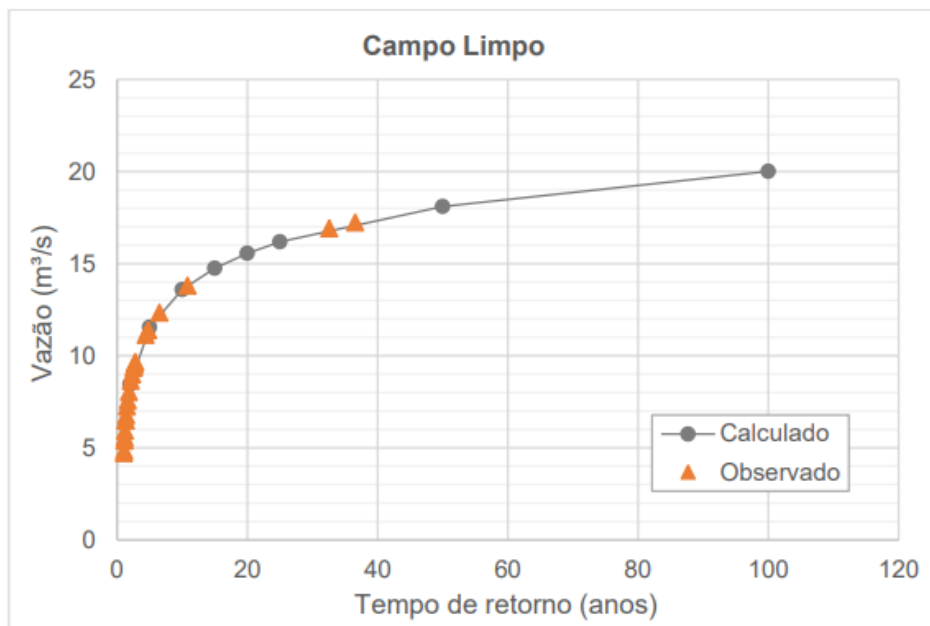


Figura 15 – Valores de vazões máximas calculados e observados para diferentes tempos de retorno na estação fluviométrica Campo Limpo Paulista. FONTE: PROFILL (2021).

#### 4.4.1 Simulação hidrológica – Cenário 3

Para propagar o hidrograma da barragem do Cunha, foi calculada a largura da brecha na estrutura, o que exigiu a aplicação de equações empíricas específicas. A determinação da largura média da brecha foi realizada através de análises de regressão fundamentadas em eventos históricos, conforme descrito por Froehlich (1995) na Equação 16.

$$\bar{B} = 15k_{01}V_w^{0,32}H_d^{0,19} \quad (16)$$

Sendo:

$\bar{B}$  : largura média de brecha trapezoidal (m);

$k_{01}$ : fator multiplicador, sendo 1,4 para falha por galgamento;

$V_w$ : volume do reservatório na ruptura ( $\text{hm}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m).

O fator multiplicador  $k_{01}$  indicou que as falhas devido ao galgamento resultam em uma brecha em comparação com outras causas. Quanto ao tempo de formação da brecha, conforme descrito por Froehlich (1995), considerou-se igual ao intervalo de tempo entre o início de um crescimento rápido da brecha e o momento em que não há mais erosão significativa do material, conforme Equação 17.

$$t_f = 3,84V_w^{0,53}H_d^{-0,90} \quad (17)$$

Sendo:

$t_f$ : tempo de formação da brecha (h);

$V_w$ : volume do reservatório na ruptura ( $\text{hm}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m)

A determinação da vazão de pico efluente de uma brecha é dada pela relação de Pierce *et al.* (2010), de acordo com a Equação 18.

$$Q_{\max} = 0,0038V_w^{0,475}H_d^{1,09} \quad (18)$$

Sendo:

$Q_{\max}$ : vazão de pico do acidente ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$V_w$ : volume do reservatório no momento da ruptura ( $\text{m}^3$ );

$H_d$ : altura da barragem (m).

Para o cálculo de hidrograma, considerou-se o hidrograma triangular simplificado SCS, Equação 19, onde se buscou determinar os parâmetros físicos como o tempo de ascensão e

tempo de base.

$$t_b = t_a(1 + x) \quad (19)$$

Sendo:

$T_a$ : Tempo de ascensão ou de pico (h);

$x$ : Parâmetro SCS = 1,67

$T_b$ : Tempo de base (h).

Após determinado o hidrograma de ruptura da barragem, os resultados obtidos, para o tempo de retorno 100 anos, foram inseridos no HEC-RAS para o início da modelagem hidrodinâmica.

#### 4.5 Simulação hidrodinâmica

Com o objetivo de transmitir os hidrogramas produzidos pelo HEC-HMS, que correspondem à saída da região superior da bacia do rio Jundiaí, os eventos de precipitação foram transformados em hidrogramas de vazão excedente. Esses hidrogramas foram empregados como dados de entrada para avaliar as vazões de pico usando o software HEC-RAS 6.4.1 (*River Analysis System*). Desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, esse programa é projetado para simular a propagação do escoamento em rios e canais, fornecendo informações essenciais sobre as características do escoamento, como velocidade e profundidade, fundamentais para o cálculo do Índice de Perigo (IP) em qualquer ponto de interesse.

No contexto deste estudo, foi decidido realizar a simulação hidráulica em uma dimensão (1D) com base nas diretrizes do USACE-RAS (2016). Essa escolha se justifica pelo fato de a região em questão não apresentar extensas planícies aluviais, que são comuns em bacias de médio e grande porte. Além disso, a abordagem 1D é adequada para áreas onde é necessário executar o modelo por longos períodos e onde há escassez de informações detalhadas sobre o terreno e as planícies de inundação. Ao considerar esses fatores, busca-se encontrar um equilíbrio entre a qualidade dos resultados e o esforço computacional necessário para a simulação hidráulica.

Antes de prosseguir com as simulações da mancha de inundação, é necessário realizar uma etapa inicial de preparação dos dados de entrada no programa HEC-RAS. Essa fase envolve a construção da base do modelo, que é fundamentada nas informações topográficas da

área estudada, utilizando o modelo digital de elevação como fonte de dados. A escolha desse conjunto de dados possibilita a caracterização da geometria do curso de água, ao longo do qual o escoamento será propagado.

No âmbito das pesquisas conduzidas por Breckenfel *et al.* (2022) e Hawker *et al.* (2022), o MDE que se destacou como escolha para este estudo foi o FABDEM (*Forest and Building removed Copernicus DEM*), o qual possui uma resolução espacial de 30 metros. Os dados provenientes da modelagem hidrológica (HEC-HMS), concluída em uma fase anterior deste projeto, foram empregados como entrada para as simulações hidráulicas. As precipitações foram transformadas em hidrogramas de vazão excedente, e as vazões máximas durante a propagação da cheia no rio Jundiáí foram inseridas em diversas seções de controle do modelo hidráulico, preferencialmente localizadas a jusante das contribuições dos principais afluentes do curso d'água. Adicionalmente, foram consideradas as informações coletadas em campo sobre as peculiaridades ao longo do rio, bem como as características do leito na seção em análise.

A Profill (2021) forneceu informações referentes às características do leito na área de estudo incluindo os valores de rugosidade (“n”) de Manning nas seções transversais 1667 a 35, conforme Figura 16.



Figura 16 - Representação no RAS Mapper das seções transversais disponibilizadas pela PCJ  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Esses dados desempenharam um papel importante na preparação das seções transversais ao longo do rio à montante. Para executar a preparação dos dados, foi utilizada a



ferramenta *RAS Mapper* para a representação da geometria do rio, margens e a criação das seções transversais.

Posteriormente esse arquivo foi manipulado e as seções transversais fornecidas foram importadas para o modelo em desenvolvimento, interpoladas e serviram como base para a extração de dados de elevação do terreno, contribuindo para o processamento dos dados. A Figura 17 representa o traçado geral do trecho simulado no modelo HEC-RAS.

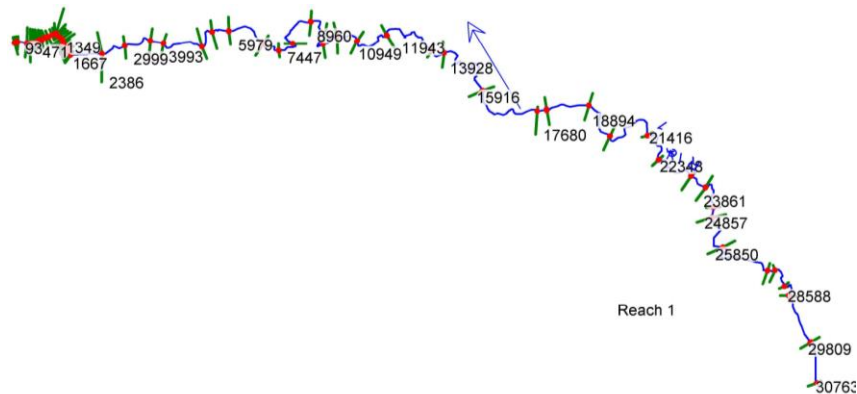


Figura 17 - Cenário 1: Representação das seções transversais da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí. FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

No contexto da modelagem hidrodinâmica, o software solicitou a entrada de informações hidráulicas, como os valores de rugosidade ("n") de Manning, Figura 18, que foram adotados com base em observações de campo, para cada seção transversal projetada.

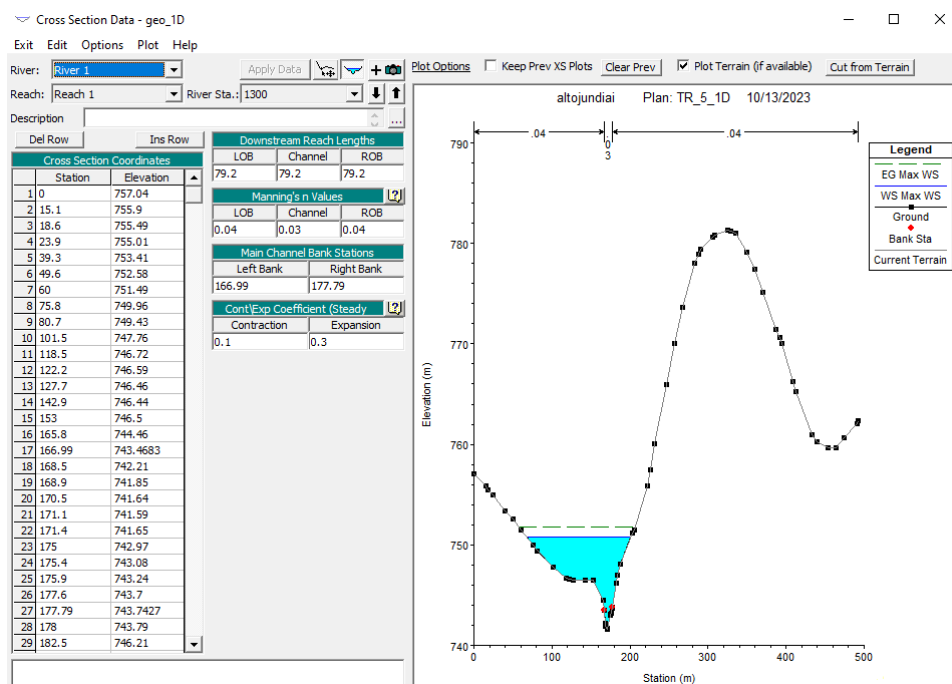


Figura 18 - Cenário 1: Representação da configuração valores de rugosidade ("n") de Manning na seção 1300 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

O HEC-RAS realizou cálculos hidrodinâmicos para diferentes níveis de água em seções transversais usando métodos de integração numérica. Os parâmetros hidráulicos para fluxo não permanente descreveram a geometria do canal em cada seção transversal, incluindo o nível inicial da água e o intervalo de incremento. Adotou-se o incremento de 2 centímetros, o qual permite avaliar o comportamento do fluxo de água em diferentes níveis de inundação. O software calculou variações na área molhada, no raio hidráulico, na largura superficial e no perímetro molhado conforme o nível da água se altera em cada seção transversal. Essa abordagem permitiu simulações detalhadas do comportamento hidráulico, conforme destacado na Figura 19.

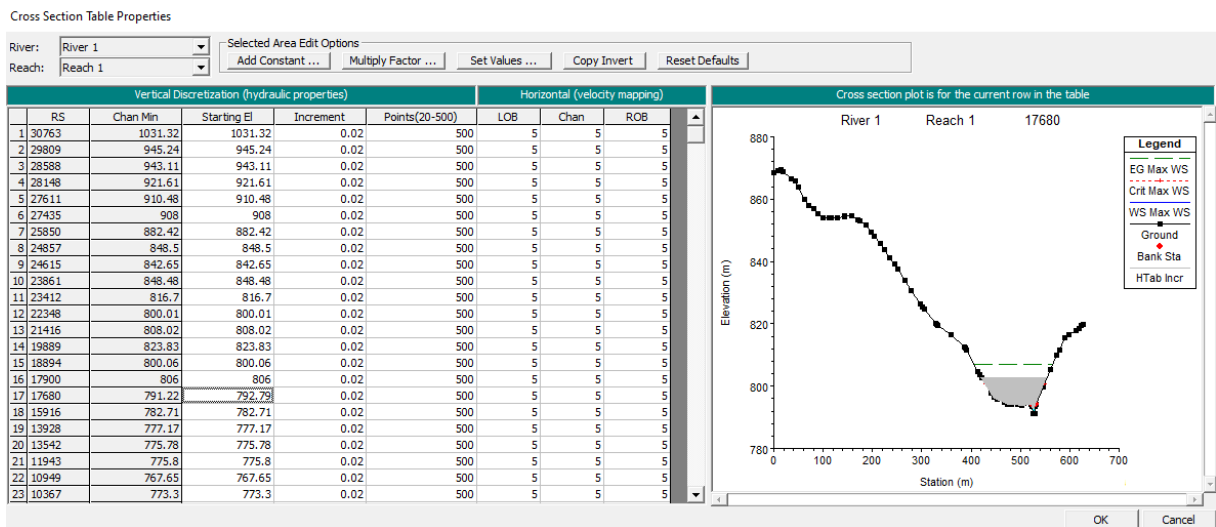


Figura 19 - Cenário 1: Representação da configuração valores no *Hydraulic table Parameters for Unsteady Flow*  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Em relação as equações utilizadas, para propagar o escoamento em uma dimensão (1D) em simulações de regime não permanente, o HEC-RAS considera as Equações de Conservação da Massa, equação 20, e da Conservação da Quantidade de Movimento, Equação 21, também denominadas Equações de Saint Venant, conforme referenciado por USACE-RAS (2016).

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} - q_l = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X} \left( \frac{Q^2}{A_T} \right) + g A_T \frac{\partial h}{\partial X} + g A_T S_f - g A_T S_0 = 0 \quad (21)$$

Onde:

$Q$ : Vazão em  $m^3/s$ ,

$A_T$ : Área total do fluxo em  $m^2$ ;

$t$ : Instante de tempo em segundos;  
 $X$ : Distância ao longo do canal em metros;  
 $q_l$ : Fluxo lateral por unidade de comprimento em  $m^3/s/m$ ;  
 $h$ : Profundidade da lâmina de água em metros,  
 $g$  é a aceleração a gravidade em  $m/s^2$ ;  
 $S_f$  é a taxa de inclinação da linha de energia, em  $m/m$   
 $S_o$  é a taxa de inclinação do fundo em  $m/m$

Ao considerar duas seções subsequentes em um canal, a equação de conservação de energia no software HEC-RAS é expressa conforme a seguinte Equação 22:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} + h_e \quad (22)$$

Onde:

$Y_1$  e  $Y_2$ : Alturas da água nas seções transversais em metros;  
 $Z_1$  e  $Z_2$ : Elevações do leito no canal principal em metros;  
 $V_1$  e  $V_2$ : Velocidades médias (fluxo total/área total de escoamento) em  $m/s$ ;  
 $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ : Coeficientes de Coriolis, adimensional;  
 $g$ : Aceleração da gravidade em  $m/s^2$ ,  
 $h_e$ : Perda de energia em metros.

A dissipação de energia apresenta dois componentes: a perda uniforme e a perda pontual. No contexto deste estudo, optou-se por abordar a perda uniforme, uma vez que ela configura como uma das principais maneiras de dissipação de energia ao longo do trajeto do fluxo. Essa perda de energia ocorre devido à fricção entre a água e as paredes do canal, bem como devido à irregularidade do canal e da superfície do fundo. No processo de cálculo, considera-se a multiplicação do comprimento, ajustado pela vazão, do segmento entre duas seções, juntamente com a inclinação da linha de atrito entre essas seções, conforme expresso na Equação 23.

$$L = \frac{L_{lob} \times \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \times \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \times \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}} \quad (23)$$

Onde:

$L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$ : Distâncias entre duas seções ao longo da margem esquerda, do canal principal e ao longo da margem direita, respectivamente, em metros;  
 $\overline{Q_{lob}}$ ,  $\overline{Q_{ch}}$ ,  $\overline{Q_{rob}}$ : Valores médios, entre duas seções, das vazões ao longo da margem esquerda,

do canal principal e ao longo da margem direita, respectivamente, em m<sup>3</sup>/s

O programa realiza uma subdivisão do fluxo, distinguindo entre o escoamento no canal principal e o escoamento nas margens conforme Figura 20.

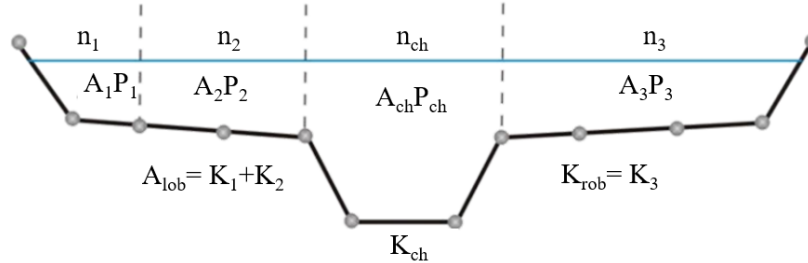


Figura 20 - Subdivisão das seções para o cálculo da condutância  
FONTE: USACE (2018)

Utilizando o método de Manning, a condutância hidráulica é representada pela Equação 24 para cada subdivisão. A condutância total da seção é a soma das condutâncias Klob, Kch e Krob. Da mesma forma, é necessário adotar valores dos coeficientes de rugosidade de Manning para cada subdivisão:

$$K = \frac{A \times R^{2/3}}{n} \quad (24)$$

Onde:

K: Condutância hidráulica em m/s;

A: Área da seção transversal do fluxo em m<sup>2</sup>;

R: Raio hidráulico em metros;

n: Coeficiente de rugosidade.

As outras variáveis equivalem às áreas e coeficientes de condutâncias de cada subdivisão. A inclinação da superfície de atrito, Equação 25 é calculada por:

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (25)$$

Onde:

Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>: Fluxo entre as duas seções sequenciais;

K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub>: Coeficientes de condutibilidade nas duas seções subsequentes.

O processo de cálculo iterativo para o fluxo supercrítico começa ao assumir uma elevação da linha d'água na seção a montante. Inicialmente, na primeira aproximação, o programa projeta a profundidade da água na seção a montante usando a profundidade da água da seção a jusante. Na segunda aproximação, a elevação da linha d'água é igual à elevação

assumida na tentativa anterior mais 70% do erro na primeira tentativa, conforme Equação 26:

$$WS_{nova} = WS_{assumida} + 0,70 \times (WS_{calculada} - WS_{assumida}) \quad (26)$$

Onde:

WS: Nível d'água da seção, em metros

A terceira e subsequentes iterações são realizadas por meio de abordagem de projeção utilizando o método "secante", conforme Equação 27, da variação na taxa entre os valores de elevação calculados e estabelecidos nas iterações anteriores

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} \times \frac{Err_{assum}}{Err_{diff}} \quad (27)$$

Onde:

WS<sub>I</sub>: Nova elevação da superfície da água adotada;

WS<sub>I-2</sub>: Elevação da superfície da água estabelecida a duas iterações precedentes

Err<sub>I-2</sub>: Diferença entre a elevação da superfície da água computada e a estabelecida na iteração I-2, sendo que Err<sub>assum</sub> e E<sub>diff</sub> são calculados através das equações 28 e 29:

$$Err_{assum} = WS_{I-2} - WS_{I-1} \quad (28)$$

$$Err_{diff} = WS_{I-1} - WS_{calculada\ I-1} + Err_{I-2} \quad (29)$$

Onde:

WS<sub>I-1</sub>: Cota da superfície da água assumida na iteração anterior

WS<sub>calculada I-1</sub>: Cota da superfície da água calculada;

A transição de uma iteração para a próxima é limitada a um máximo de 50% da altura assumida na iteração anterior. Se a diferença E<sub>diff</sub> for inferior a 1x10<sup>-2</sup>, o método secante é desconsiderado. Nesse caso, o programa determina uma nova elevação como a média entre os valores calculado e assumido na iteração anterior, estabelecendo no máximo 20 iterações. Com base na elevação adotada, o programa determina a condutância correspondente, a partir da qual é calculada a declividade. Usando esses valores, a equação de energia é aplicada para determinar a elevação na seção superior, e esse valor calculado se torna o novo nível da linha d'água. Esses procedimentos são iterados até que a discrepância entre o valor calculado e o valor estabelecido seja inferior a 0,003 metros, conforme especificação do software.

A determinação da área inundada foi realizada utilizando o modelo não permanente. Para isso, foi empregada a opção de análise de fluxo não permanente no software HEC-RAS,

considerando diferentes tempos de recorrência. As etapas incluíram a definição da geometria do sistema do rio e das seções transversais, o cálculo do comportamento das vazões ao longo do tempo, a análise dos resultados e o mapeamento das áreas de inundação.

Foram configuradas 20 etapas de aquecimento para estabilizar o modelo hidráulico antes da simulação principal. Na solução numérica, foi adotado o método volumes finitos. Os resultados da simulação hidrodinâmica para as manchas de inundação, serão apresentados na seção 5 deste relatório.

#### **4.6 Ajustes Manuais - Calibração Preliminar do modelo hidrodinâmico**

Com base nos resultados obtidos a partir das simulações realizadas no HEC-RAS, iniciou-se a etapa de calibração preliminar do modelo hidrodinâmico. Os objetivos da calibração, incluíram a melhoria da precisão do modelo hidrodinâmico e a verificação da representação precisa do comportamento hidrológico da bacia. A descrição da metodologia seguiu as etapas abaixo:

- a) Seleção dos pontos de calibração:
  - Identificou-se os locais propensos a alagamentos e áreas críticas dentro da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí.
- b) Calibração hidrodinâmica:
  - Realizou-se a calibração utilizando os dados fornecidos pela Profill, bem como informações de campo, como batimetria in situ e modelo digital de elevação, para ajustar o modelo digital de elevação no leito do rio.
  - Ajustou-se o coeficiente de Manning, com base na comparação visual da série de níveis calculados.
- c) Calibração adicional e verificação:
  - Conduziu-se a calibração simplificada durante a simulação para comparar os resultados com dados de referência, como o Plano Diretor de Macrodrenagem.
  - Realizou-se comparações visuais para verificar a precisão do modelo em diferentes cenários de inundação.
- d) Análise dos Resultados:
  - Analisou-se os resultados da calibração, identificando áreas onde o modelo pode ser aprimorado.

## 4.7 Índice de Perigo

Com base nos resultados obtidos a partir das simulações realizadas no HEC-RAS, foi possível a obtenção do Índice de Perigo (IP) para cada dia do período de análise, considerando todos os cenários avaliados. Isso permitiu a avaliação das áreas de risco na região de estudo, uma vez que valores mais elevados de IP indicam um maior potencial de arrastamento de pessoas pela corrente de água. Estabelecer um valor único como limite seguro para o IP, que garanta a segurança das pessoas, é uma tarefa complexa, uma vez que, como discutido na seção 3.4.1, a segurança não depende exclusivamente das características do fluxo de água, mas também da capacidade individual de resistir à força da água e das condições ambientais circunstanciais.

Levando em consideração ao que foi abordado no item 3.4.3, optou-se por adotar como critério de segurança, no contexto deste estudo, valores de IP de até 0,4 m<sup>2</sup>/s. Essa faixa é considerada segura para crianças e, ao mesmo tempo, oferece uma margem conservadora de segurança para adultos. Valores de IP acima desse limite indicam um aumento nos riscos associados ao fluxo de água. Dado o foco na segurança das pessoas, os valores de IP foram calculados para as seções transversais, a fim de avaliar o potencial de perigo ao longo dessas áreas. Os resultados da simulação hidrodinâmica para as manchas de índice de perigo, serão apresentados na seção 5 deste relatório.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Simulação Hidrológica

Para a simulação hidrológica considerou-se as sub-bacias presentes na região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiáí, conforme Figura 21.



Figura 21 –Representação das sub-bacias da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

Com base na ponderação do valor de CN para cada sub-bacia foi elaborada a Tabela 6 apresentada a seguir:

Tabela 6 – CN ponderado pela área

Nome da sub-bacia	CN
SB1	77,5
SB2	71
SB3	74
SB4	75
SB5	81,4
SB6	80,45
SB7	90

FONTE: Preparado pela autora

### 5.1.1 Parâmetros do modelo chuva-vazão

### 5.1.2 Tempo de concentração e escoamento de base

As Tabelas 7, 8 e 9 apresenta os valores obtidos para o Cenário 1, 2 e 3 considerando a equação de Watt & Chow. A declividade de fundo dos cursos d'água para os Cenários 1 e 2 foi obtida através dos estudos em campo realizada pela Profill (2021) e, para o Cenário 3 pelo modelo digital de terreno.

Tabela 7 – Tempos de concentração e de retardo para as 7 sub-bacias - Cenário 1

Nome da sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade de fundo (m/m)	Tempo de concentração (min)	Tempo de retardo (min)
SB1	43,552	0,012	213,677	128,206
SB2	11,400	0,012	123,337	74,002
SB3	11,258	0,010	126,568	75,941
SB4	33,621	0,012	192,165	115,299
SB5	21,413	0,015	153,768	92,261
SB6	63,477	0,010	257,216	154,329
SB7	12,605	0,012	128,525	77,115

FONTE: Preparado pela autora

Tabela 8 – Tempos de concentração e de retardo para a sub-bacia - Cenário 2

Nome da sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade de fundo (m/m)	Tempo de concentração (min)	Tempo de retardo (min)
SB1	6,430	0,033	82,119	49,271

FONTE: Preparado pela autora

Tabela 9 – Tempos de concentração e de retardo para a sub-bacia - Cenário 3

Nome da sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade de fundo (m/m)	Tempo de concentração (min)	Tempo de retardo (min)
SB1	0,000013	0,01	0,466	0,279

FONTE: Preparado pela autora

Multiplicando o valor vazão de base específica 0,007 m<sup>3</sup>/(s.km<sup>2</sup>) pela área de drenagem



de cada uma das sub-bacias, foi possível determinar a vazão de base de cada afluente do Rio Jundiá, conforme apresentado na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10 – Vazões de base estimadas para as 7 sub-bacias - Cenário 1

Nome da sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão de base (m <sup>3</sup> /s)
SB1	43,552	0,305
SB2	11,400	0,080
SB3	11,258	0,079
SB4	33,621	0,235
SB5	21,413	0,150
SB6	63,477	0,444
SB7	12,605	0,088

FONTE: Preparado pela autora

As Tabelas 11, 12 e 13 apresentam o resumo das principais características dos hietogramas para os tempos de recorrência 2 anos, 5 anos, 10 anos, 25 anos, 50 anos e 100 anos.

Tabela 11 - Características dos hietogramas para TR 2 anos e TR 5 anos

Nome da sub-bacia	Tempo de concentração (min)	TR 2 ANOS			TR 5 ANOS		
		Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)	Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)
SB1	118,433	0,855	18,571	53,345	0,987	21,437	61,576
SB2	125,869	0,822	18,571	54,039	0,949	21,437	62,377
SB3	125,223	0,822	18,571	53,981	0,949	21,437	62,310
SB4	196,109	0,653	18,571	58,745	0,754	21,437	67,809
SB5	162,991	0,737	18,571	56,852	0,851	21,437	65,624
SB6	99,005	0,934	18,571	51,233	1,078	21,437	59,138
SB7	131,162	0,821	18,571	54,501	0,948	21,437	62,911

FONTE: Preparado pela autora

Tabela 12 - Características dos hietogramas para TR 10 anos e TR 25 anos

Nome da sub-bacia	Tempo de concentração (min)	TR 10 ANOS			TR 25 ANOS		
		Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)	Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)
SB1	118,433	1,100	23,895	68,637	1,270	27,582	79,227
SB2	125,869	1,058	23,895	69,529	1,221	27,582	80,257
SB3	125,223	1,058	23,895	69,454	1,221	27,582	80,171
SB4	196,109	0,840	23,895	75,584	0,970	27,582	87,246
SB5	162,991	0,948	23,895	73,148	1,095	27,582	84,435
SB6	99,005	1,202	23,895	65,918	1,387	27,582	76,089
SB7	131,162	1,056	23,895	70,124	1,219	27,582	80,944

FONTE: Preparado pela autora

Tabela 13 - Características dos hietogramas para TR 50 anos e TR 100 anos

Nome da sub-bacia	Tempo de concentração (min)	TR 50 ANOS			TR 100 ANOS		
		Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)	Intensidade média (mm/h)	Pico (mm)	Volume total (mm)
SB1	118,433	1,416	30,744	88,311	1,578	34,269	98,436
SB2	125,869	1,361	30,744	89,459	1,517	34,269	99,716
SB3	125,223	1,361	30,744	89,363	1,517	34,269	99,609
SB4	196,109	1,081	30,744	97,249	1,205	34,269	108,399
SB5	162,991	1,220	30,744	94,116	1,360	34,269	104,907
SB6	99,005	1,546	30,744	84,814	1,723	34,269	94,538
SB7	131,162	1,359	30,744	90,224	1,515	34,269	100,569

FONTE: Preparado pela autora

As principais características fluviomorfológicas de cada sub-bacia da área de estudo são detalhadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Aspectos morfológicos fluviais das sub-bacias da região superior do rio Jundiá na área de estudo no Cenário 1

Nome da sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Comprimento do talvegue principal (km)	declividade do talvegue (m/m)	Fator de forma
SB1	43,552	7,610	0,025	0,465
SB2	11,400	7,121	0,027	0,535
SB3	11,258	5,697	0,034	0,665
SB4	33,621	13,354	0,017	0,490
SB5	21,413	9,287	0,019	0,562
SB6	63,477	5,217	0,028	0,545
SB7	12,605	5,901	0,034	0,679

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

## 5.2 Simulação hidrodinâmica

### 5.2.1 Hidrogramas – Cenários 1 e 2

Dado que a representação do rio Jundiá no software HEC-RAS começou a partir do ponto a montante do rio Jundiá, os hidrogramas gerados pelo HEC-HMS, conforme detalhados no apêndice I e correspondentes à vazão excedente da sub-bacia SB4, foram considerados para o Cenário 1. No Cenário 2, a sub-bacia SB6 foi incorporada, enquanto no Cenário 3, foi adotada a metodologia simplificada SCS para a estimativa do hidrograma da barragem do Cunha, conforme descrito nos Apêndices II e III.

A Figura 22 apresenta a bacia hidrográfica do rio Jundiá no software HEC-HMS, destacando as sub-bacias SB1 e SB6, das quais foram extraídos os hidrogramas para os Cenários 1 e 2. Esses hidrogramas foram empregados como dados de entrada no software HEC-RAS.

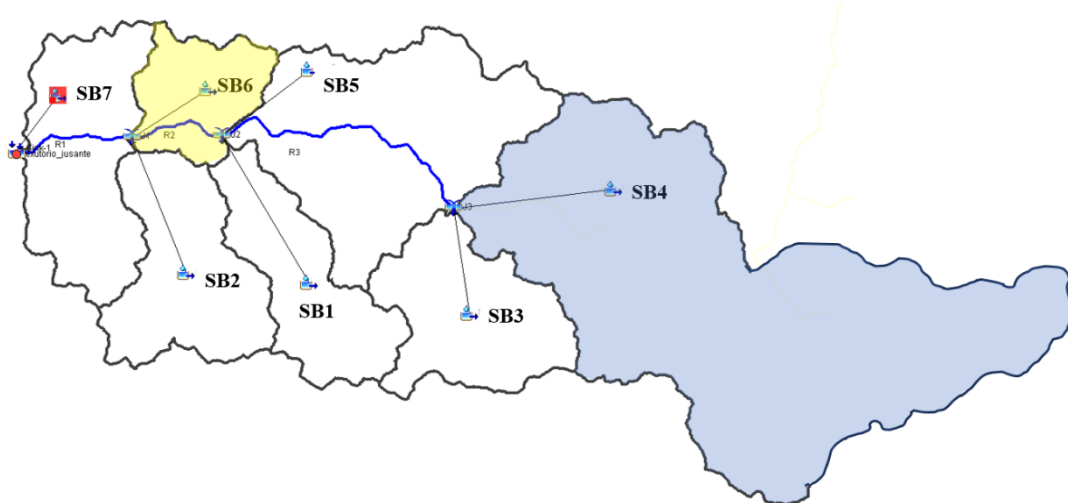


Figura 22 – Representação das sub-bacias da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiá  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

### 5.2.2 Hidrograma – Cenário 3

A partir da metodologia apresentada na seção 4.1.3, estimou-se o hidrograma de rompimento da barragem do Cunha, que é apresentado na Tabela 15. Para mais detalhes, ver apêndice III.

Tabela 15 - Características do rompimento hipotético simulado no Cenário 3

DADO		Barragem
MODO DE FALHA		Galgamento
CARACTERÍSTICAS DA BRECHA DE RUPTURA	Largura média (m)	11,77
	Tempo de formação de brecha (s)	600,94
HIDROGRAMA	Vazão de Pico (m <sup>3</sup> /s)	48,43
	Tempo de base (s)	1604,51

FONTE: Preparado pela autora

### 5.2.3 Ajustes Manuais - Calibração Preliminar do modelo hidrodinâmico

A calibração do modelo hidrodinâmico para a região superior da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá envolveu diferentes abordagens. Além da calibração realizada pela Profill, conforme detalhado no item 4.4.1 para as vazões máximas, foi conduzida uma calibração manual. Neste caso, a comparação visual da série de níveis calculados na estação de Campo Limpo Paulista, no Rio Jundiá, foi utilizada como critério. O parâmetro focal nesse processo foi o coeficiente de Manning, o qual se mostrou crucial para o ajuste do nível nas seções, tanto na calha principal quanto na planície de inundação. Os ajustes resultaram em valores de  $n$  variando entre 0,035 e 0,040 para a planície de inundação e entre 0,015 e 0,035 para a calha principal.

A calibração do modelo digital de elevação no leito do rio incorporou as seções

transversais fornecidas pela Profill. O terreno foi aprofundado, considerando a união da batimetria in situ disponibilizada e o Modelo Digital de Elevação (MDE) da planície de inundação, conforme abordado no item 4.6.

Adicionalmente, conduziu-se uma calibração simplificada durante a simulação, realizando ajustes no modelo digital de elevação para comparar os resultados com o Plano Diretor de Macrodrenagem e as observações in loco na região. Especificamente, no contexto do Cenário 1 e da mancha de inundação para os tempos de retorno simulados, a análise dos dados de altura da lâmina d'água no local revelou modificações nas cotas do solo em uma área adjacente ao Centro Educacional Sesi nº 316, situado na estrada Bragantina, número 2197, no Jardim Santo Antonio. Essas alterações, não contempladas no modelo digital de elevação original, indicavam que a edificação mencionada seria atingida pela mancha de inundação. Para refletir a realidade, essas modificações foram incorporadas à simulação. A Figura 23 apresenta a mancha de inundação sem calibração em verde e a mancha calibrada em azul, levando em consideração as informações observadas e os dados fornecidos pela Profill.



Figura 23 – Mancha de Inundação TR 100 anos, considerando a etapa pré calibração ilustrada na cor verde e pós calibração na cor azul. FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

No entanto, a obtenção de dados de campo e informações sobre cheias observadas é essencial para aprimorar a eficácia da calibração na região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí. Esses dados são cruciais para validar todos os resultados gerados nos próximos itens deste estudo, especialmente para os pontos mais a montante do rio Jundiaí.

No âmbito do Cenário 2 e com base nos dados fornecidos pela Profill para o TR 100 anos, a calibração foi realizada por meio da análise individual do afluente em relação à sua sub-bacia correspondente, conforme Figura 24. O cálculo envolveu a diferença entre a vazão para o TR 100 anos no Rio Jundiá sem a contribuição do afluente e a vazão para o TR 100 anos considerando o afluente, estimada através da simulação hidrológica. No caso específico do CF 2, a comparação para o TR 100 anos revelou uma diferença percentual de 13% entre a capacidade de descarga do afluente CF-2 de 263,97 m<sup>3</sup>/s e as vazões de projeto estimadas no ponto de confluência de 233,6 m<sup>3</sup>/s, destacando a influência da vazão no ponto de confluência.

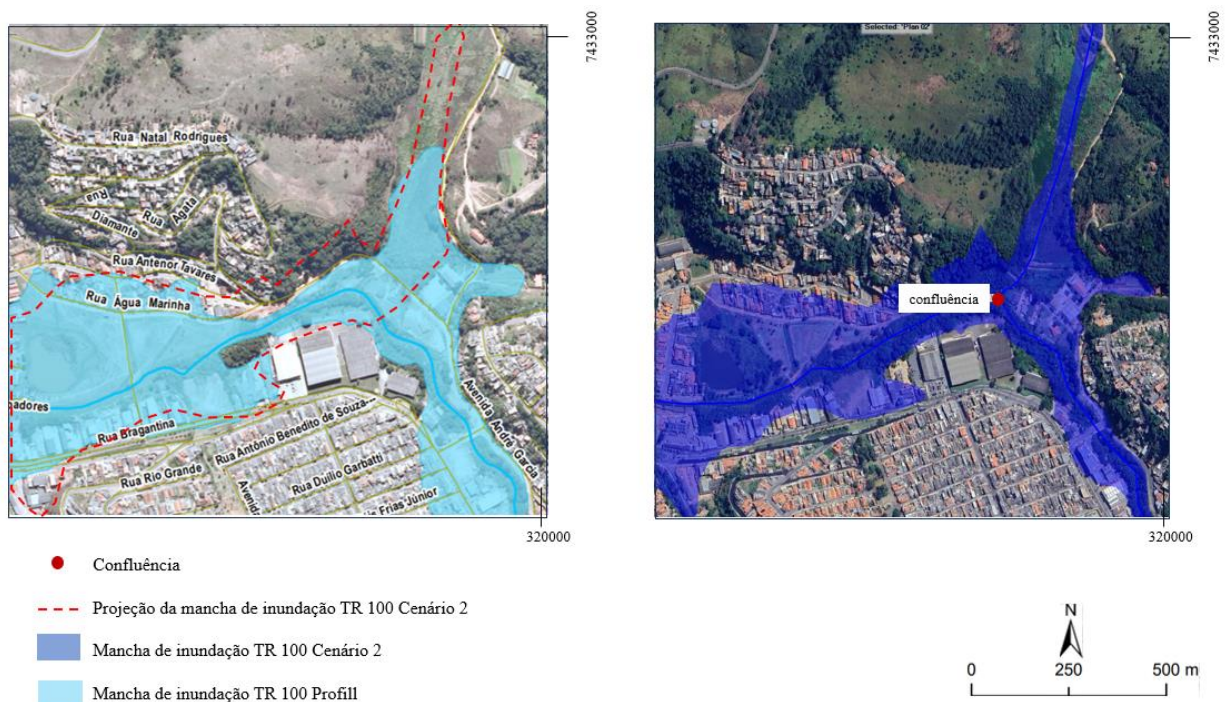


Figura 24 – Mancha de Inundação TR 100 anos – Confluência  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

É importante ressaltar que tanto o Cenário 2 e 3 são cenários hipotéticos que não podem ser validados.

### 5.3 Análise das simulações de inundação para os diferentes períodos de retorno

Para a avaliação dos resultados, as classes referentes ao uso do solo na porção superior da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá foram consolidadas em quatro categorias principais: urbano, agrícola, áreas naturais e outros usos, conforme apêndice IV. A Tabela 16 apresenta a distribuição das classes em cada uma dessas categorias, juntamente com a proporção percentual de área correspondente a cada uma delas em relação à área total da região superior da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá.

Tabela 16 - Categorização das classes de uso e ocupação do solo

CATEGORIA	CLASSE DE USO DO SOLO	PORCENTAGEM DA CLASSE
Urbano	Área urbanizada	31,30
Agrícola	Campo	7,90
	Mineração	0,55
	Lavoura temporária	5,10
	Silvicultura	4,98
Áreas naturais	Corpos d'Água	22,98
	Mata nativa	21,02
Outros usos	Afloramento rochoso	0,37
	Solo exposto	5,80

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

### 5.3.1 Cenário 1

Os registros de inundações para períodos de retorno (TR) de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, revelam áreas correspondentes de 0,50 km<sup>2</sup>, 0,70 km<sup>2</sup>, 1,11 km<sup>2</sup>, 1,43 km<sup>2</sup>, 1,91 km<sup>2</sup> e 2,60 km<sup>2</sup>, respectivamente. Com o aumento dos períodos de retorno, o aumento das áreas inundadas torna-se previsível, pois as vazões do projeto aumentam proporcionalmente ao aumento do TR, como indicado na Figura 25. Assim, quando o curso d'água transborda, o fluxo se propaga por áreas mais extensas. Isso resulta no impacto variável em diversas edificações nas inundações simuladas. Ao contrastar esses resultados com as inundações existentes na região, especificamente aquelas delineadas no Plano Diretor de Macrodrenagem do Rio Jundiá para TRs de 50 e 100 anos, nota-se que ambas afetam parcialmente áreas semelhantes a jusante da bacia, próximo ao exutório. No entanto, essa semelhança não é observada nas regiões mais centrais e a montante da bacia, item b da Figura em questão. Essa disparidade é justificada pelo estudo do Plano Diretor de Macrodrenagem do Rio Jundiá, que concentra a sua análise a partir do município de Campo Limpo Paulista nas proximidades da seção transversal 1667, conforme destacado no item c Figura 25.

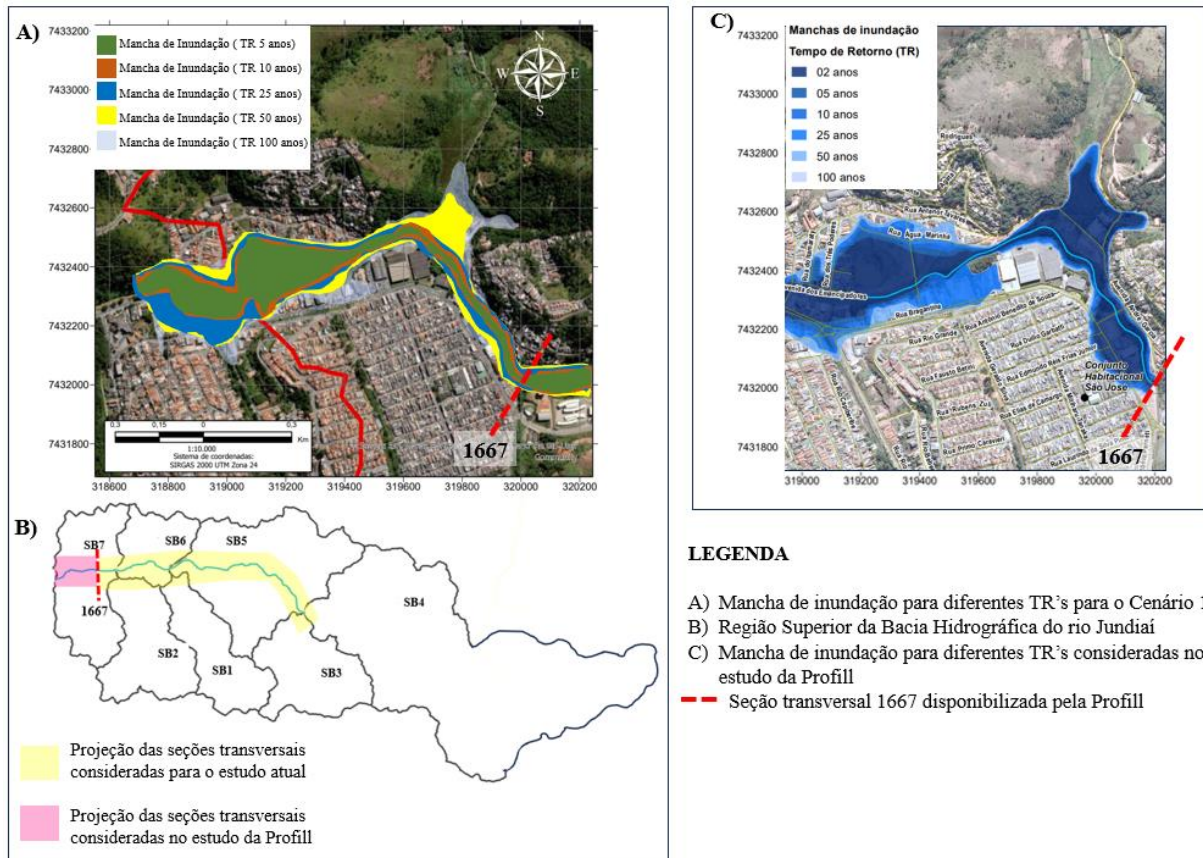


Figura 25 - Mancha de Inundação Cenário 1 *versus* Perfil  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software ArcGIS Pro

A Tabela 17, exibe a extensão das áreas afetadas pela área inundada no Cenário 1, levando em consideração as diversas categorias de uso do solo presentes em cada município ao longo da região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá.

Tabela 17- Categorização das classes de uso e ocupação do solo

Categoria de uso do solo	Área da categoria na mancha de inundação (km <sup>2</sup> )					
	2 anos	5 anos	10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Urbano	0,07	0,08	0,12	0,13	0,16	0,18
Agrícola	0,007	0,007	0,01	0,03	0,04	0,05
Áreas naturais	0,39	0,56	0,93	1,22	1,62	2,27
Outros usos	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Os resultados apresentados na Tabela 17 revelam a evolução da extensão das áreas afetadas pela inundação no Cenário 1 ao longo da região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá, considerando diferentes tempos de retorno. As áreas urbanas, representadas pela categoria "Urbano", demonstram um aumento significativo à medida que o tempo de retorno se estende. Aos 2 anos, a área urbana atinge 0,07 km<sup>2</sup>, aumentando para 0,13 km<sup>2</sup> aos 25 anos, e atingindo 0,18 km<sup>2</sup> aos 100 anos.

Comparando esses valores, observa-se um crescimento progressivo das áreas urbanas inundadas, indicando um aumento substancial no impacto sobre essas regiões ao longo do tempo. Este aumento progressivo sugere uma maior vulnerabilidade das áreas urbanas à inundação, destacando a necessidade de medidas de mitigação e adaptação para proteger essas zonas sensíveis.

Em contrapartida, as áreas agrícolas e naturais apresentam aumento gradual ao longo dos diferentes tempos de retorno, indicando uma influência significativa da inundação nessas categorias, mas em proporções menores em comparação com as áreas urbanas.

Vale ressaltar que, enquanto as áreas urbanas representam uma parcela menor da bacia hidrográfica, a sua vulnerabilidade crescente destaca a importância de estratégias de gestão e planejamento urbano para mitigar os impactos das inundações. Esses dados oferecem uma base valiosa para a formulação de políticas e a implementação de medidas de prevenção e adaptação, especialmente nas áreas urbanas, visando reduzir os efeitos adversos causados pelo aumento da frequência e intensidade das inundações.

### **5.3.2 Cenário 2 e Cenário 3**

A apresentação do Cenário 2, conforme Figura 30, considera a contribuição do afluente CF2 para a região jusante do trecho superior da bacia hidrográfica do rio Jundiaí, revela uma perspectiva adicional sobre os impactos potenciais das inundações. A inclusão desse afluente, especificamente para o Tempo de Retorno (TR) de 100 anos, a partir da sua confluência, observa-se um aumento de 0,105 km<sup>2</sup> de mancha de inundação na região. O aumento do nível do rio influencia a elevação da linha d'água no afluente, explicando a extensão da inundação no exutório do Rio Jundiaí.

A comparação entre as manchas de inundação para o TR 100 nos Cenários 1 e 2 revela uma diferença marcante, especialmente quando consideramos as projeções do Plano Diretor de Macrodrenagem do rio Jundiaí, conforme Figura 26. Este aumento na área afetada destaca a importância de integrar dados detalhados de afluentes, como o CF2, nos modelos de previsão de inundações.



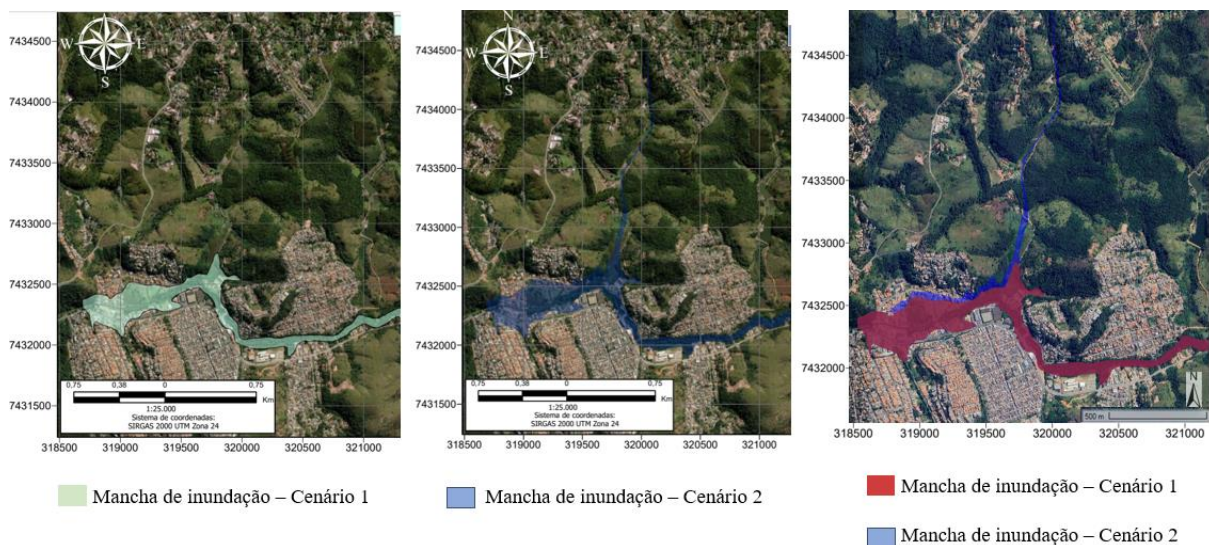


Figura 26 – Trecho crítico para TR 100 anos – Cenários 1 e 2  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software ArcGIS Pro

Ao explorar o Cenário 3, Figura 27, destaca-se a influência da barragem do Cunha na região jusante do trecho superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá. Nessa configuração, a introdução da barragem representa uma variável adicional, alterando a dinâmica hidrológica e os padrões de inundação. Ao analisar a mancha de inundação resultante do Cenário 3, especificamente para o Tempo de Retorno (TR) de 100 anos, a partir da seção transversal 4986, observa-se um aumento de 0,10 km<sup>2</sup> na região.

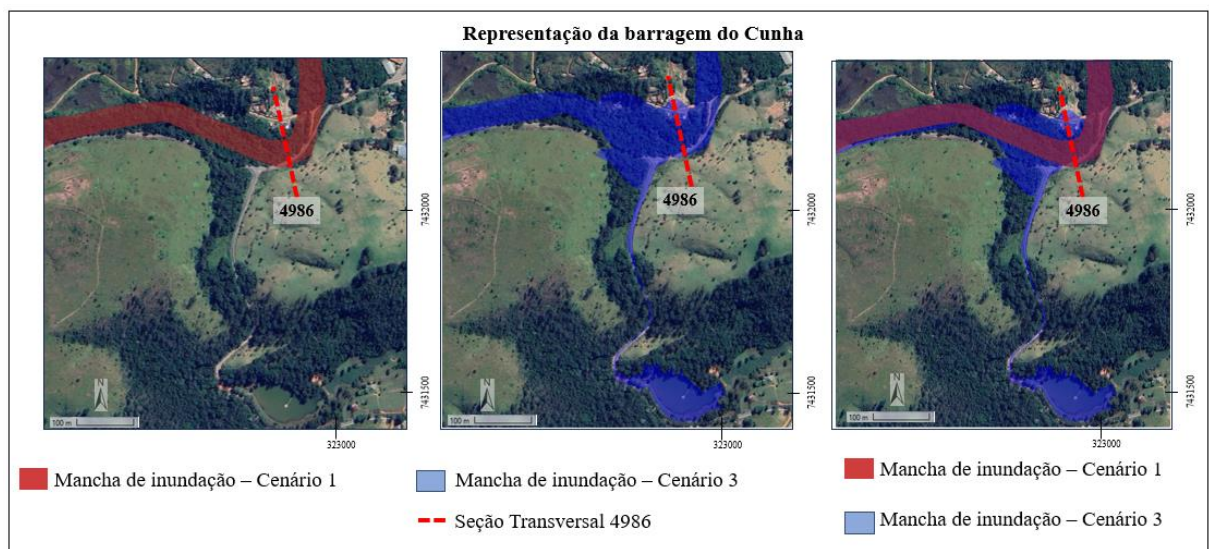


Figura 27 – Trecho crítico para TR 100 anos – Cenários 1 e 3  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software ArcGIS Pro

Essa variação relativamente pequena sugere que a barragem do Cunha tem uma contribuição para o aumento da área inundada na região em comparação com os Cenários 1 e 2. No entanto, é importante ressaltar que, mesmo com um acréscimo aparentemente modesto, a presença da barragem pode ter implicações relevantes para a gestão de riscos de inundação.

Em conjunto, esses resultados destacam a necessidade de uma abordagem integrada e holística na modelagem de eventos extremos, incorporando tanto os afluentes quanto as estruturas de controle, para uma avaliação mais precisa dos riscos de inundação. A análise conjunta dos Cenários 1, 2 e 3 oferece uma visão mais completa dos fatores que influenciam as inundações na região estudada, permitindo uma melhor orientação das estratégias de gerenciamento de riscos.

### 5.3.3 Avaliação Crítica dos Cenários e Áreas de Maior Risco

Considerando todos os cenários estudados, os imóveis mais suscetíveis a serem atingidos encontram-se na região de Campo Limpo Paulista, particularmente entre a rua Bragantina e a avenida Alfried Krupp, conforme Figura 28. Esta área específica é notavelmente vulnerável devido à sua proximidade direta com o curso d'água, o que aumenta significativamente o risco de inundações, especialmente nos cenários mais impactantes.



Figura 28 – Mancha de Inundação - Cenários 1, 2 e 3

FONTE: Preparado pela autora a partir do software ArcGIS Pro

Os bairros do Santa Maria, Jardim Santa Catarina, Jardim Santiago, Parque Internacional, entre outros, também se destacam como áreas propensas a inundações. O transbordamento na Avenida Alfried Krupp, em frente à Metalúrgica Thyssenkrupp, é uma região de atenção, pois essa via representa a principal rota de acesso da cidade, ligando o centro a diversos bairros. Este ponto crítico não apenas coloca em risco a infraestrutura viária, mas também compromete a mobilidade da população, destacando a urgência de medidas de adaptação e mitigação nessa localidade.

#### 5.4 Análise das simulações de índice de perigo para os diferentes períodos de retorno

À medida que os períodos de retorno aumentam, observa-se uma previsível elevação nos índices de perigo, uma vez que tanto a profundidade da lâmina d'água quanto a velocidade do rio Jundiá crescem proporcionalmente.

No contexto das análises das simulações do Índice de Perigo para os diversos Tempos de Retorno (TR), optou-se por enfatizar a região crítica próxima ao exutório na parte superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá. Ao examinar a Figura 29, 30, 31, 32, 33 e 34 o software HEC-RAS gerou mapas relacionados ao índice de perigo relacionado ao tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, respectivamente resultante do produto entre a profundidade e a velocidade do fluxo.

A integração dessa mancha de perigo, juntamente com as informações de uso e ocupação do solo da Tabela 17, permite analisar a evolução da extensão das áreas afetadas pela inundação na região superior da bacia hidrográfica do rio Jundiá. As áreas urbanas, apresentam um aumento significativo do índice de perigo, à medida que a ocupação se aproxima das margens do rio. Isso possibilita a delimitação de zonas de risco potencial, especialmente devido à baixa cobertura de vegetação nativa na bacia. Esse cenário é agravado pela ocupação nas faixas marginais de proteção, tornando esse trecho da bacia propensa a eventos de inundação recorrentes.

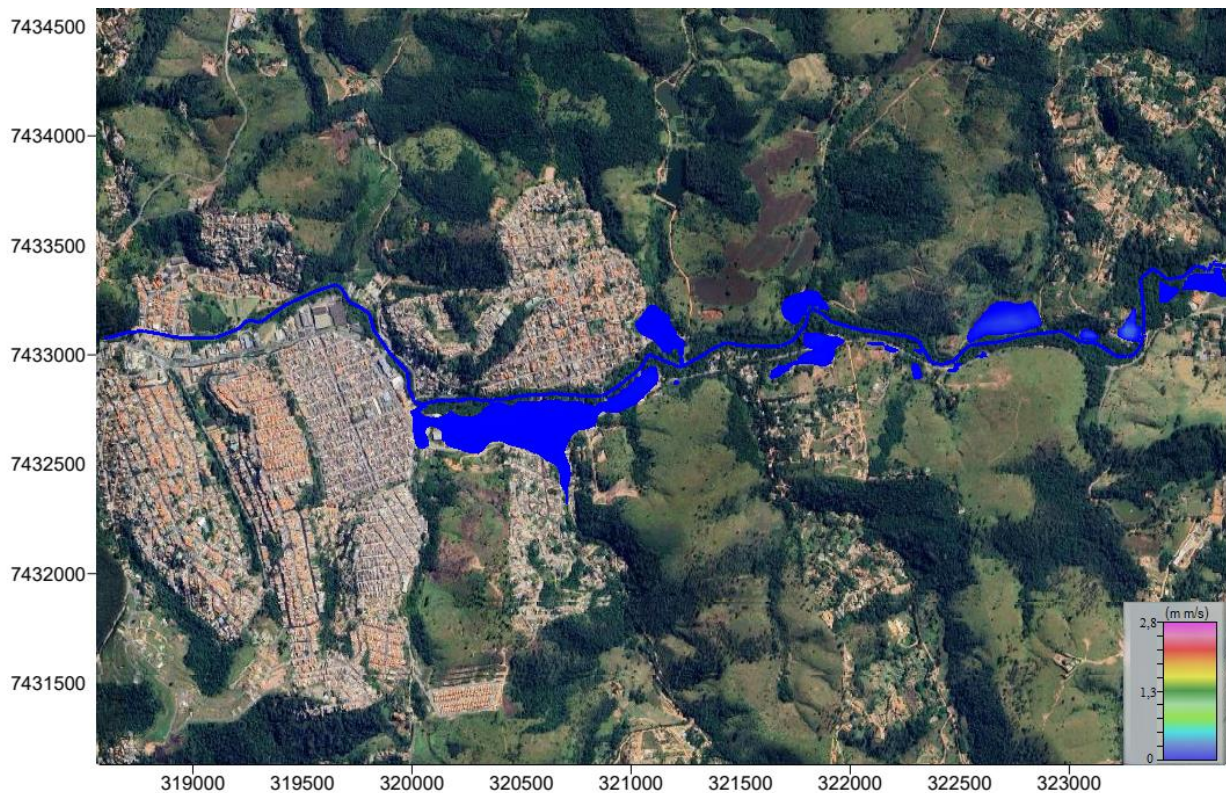


Figura 29 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 2 anos  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

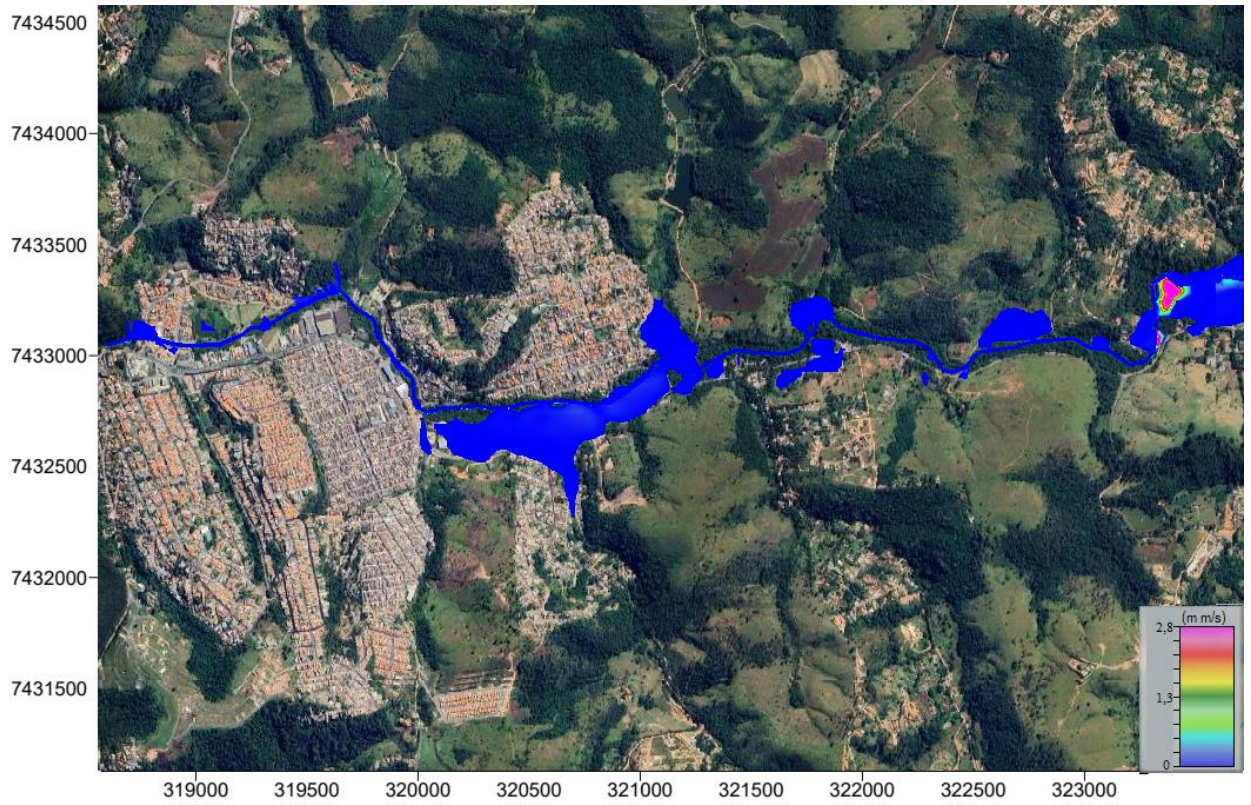


Figura 30 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 5 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

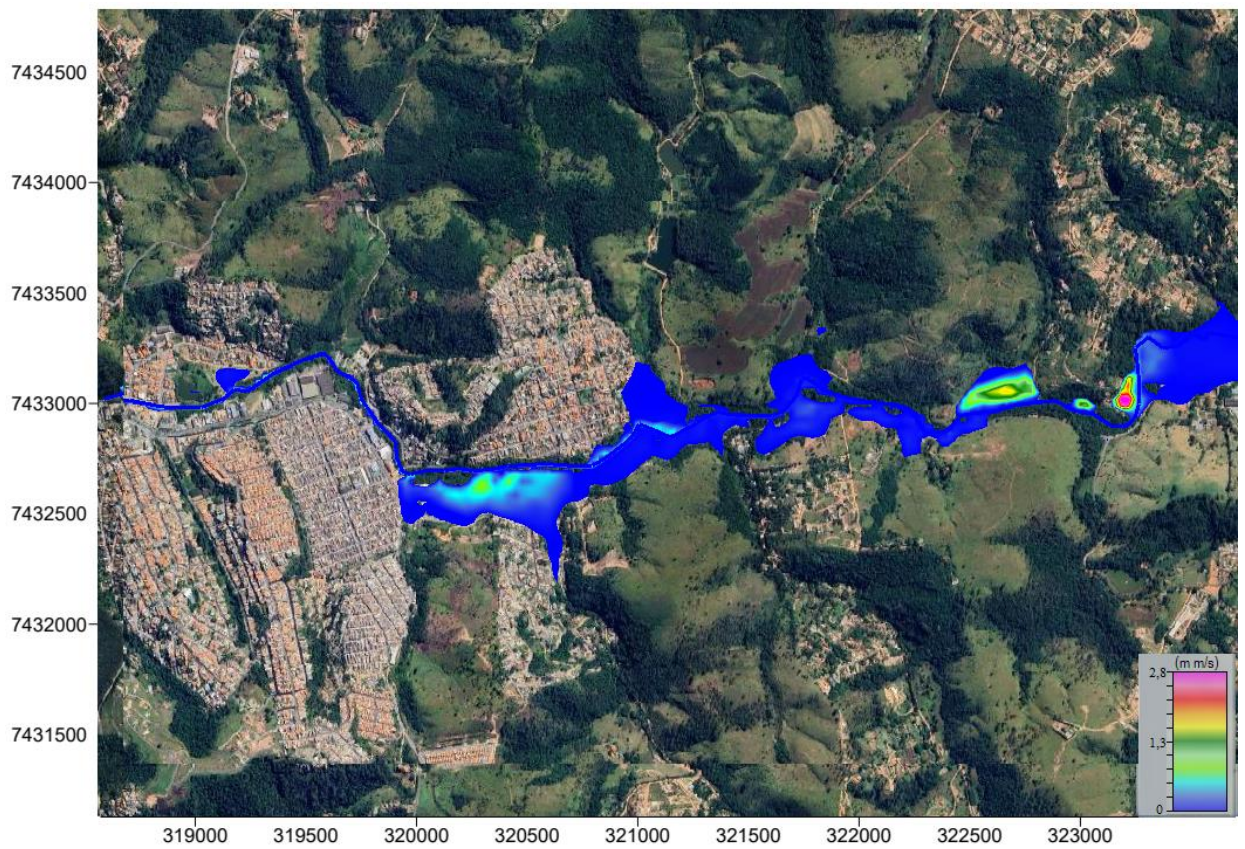


Figura 31 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 10 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

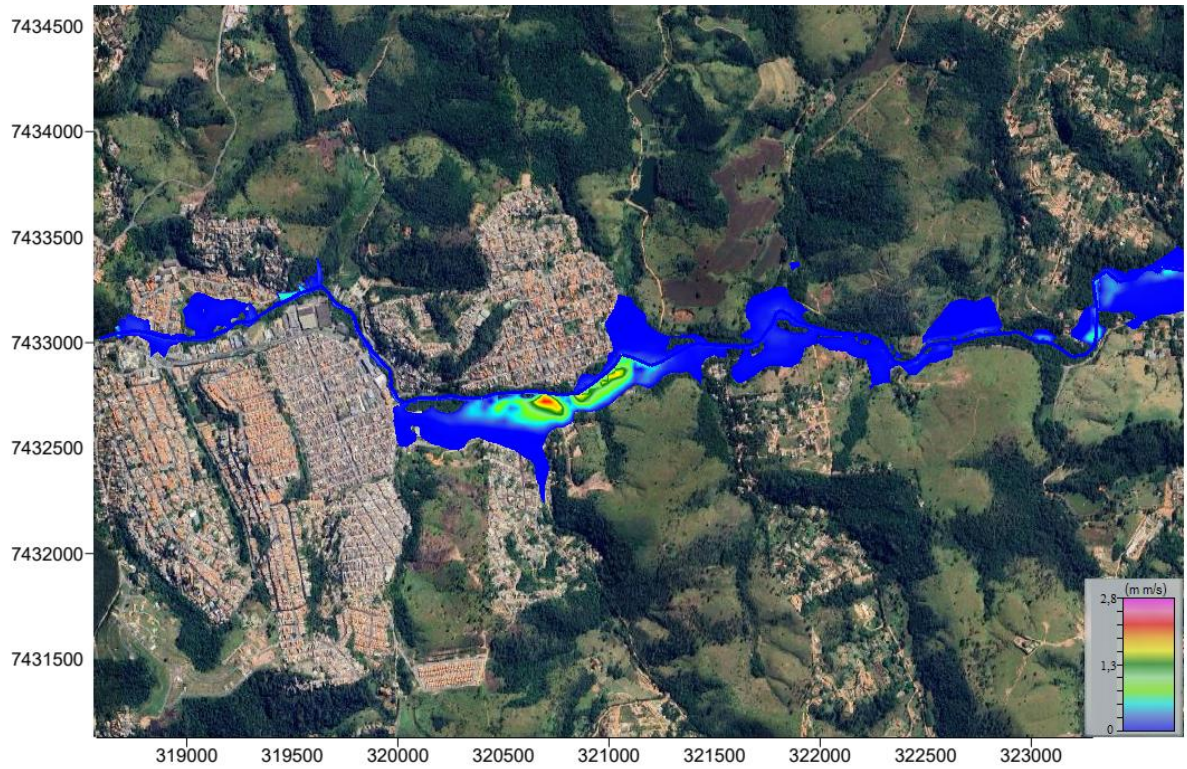


Figura 32 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 25 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

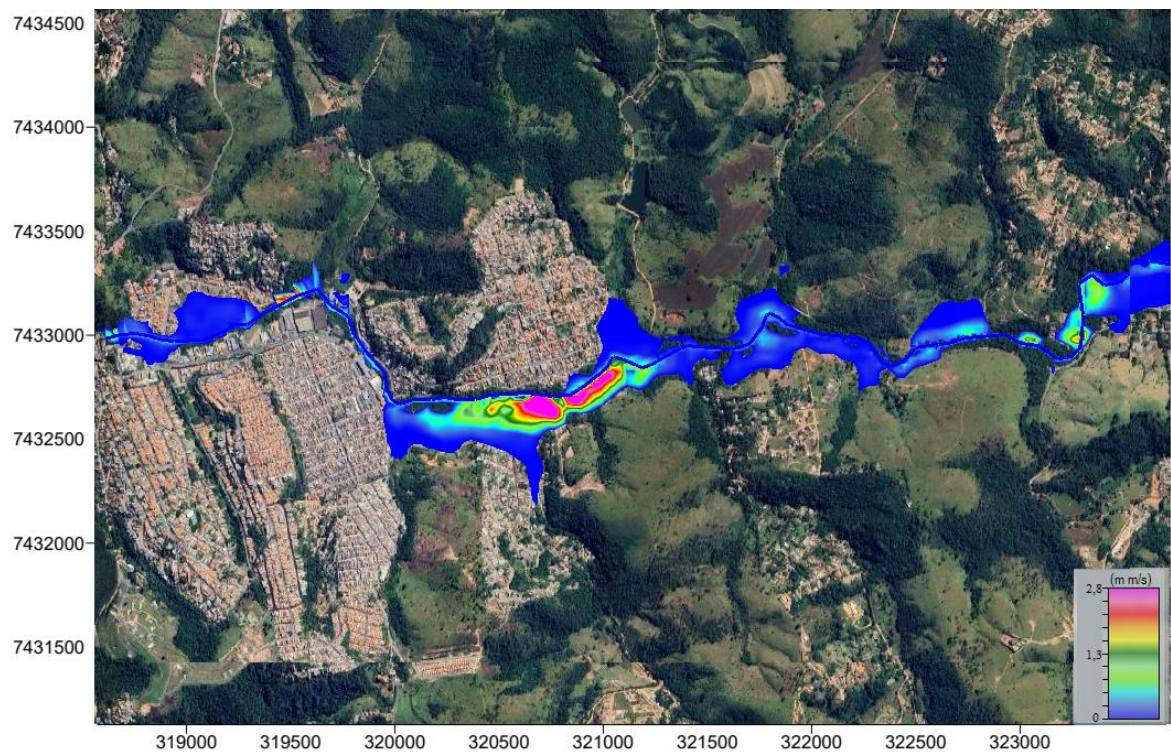


Figura 33 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 50 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

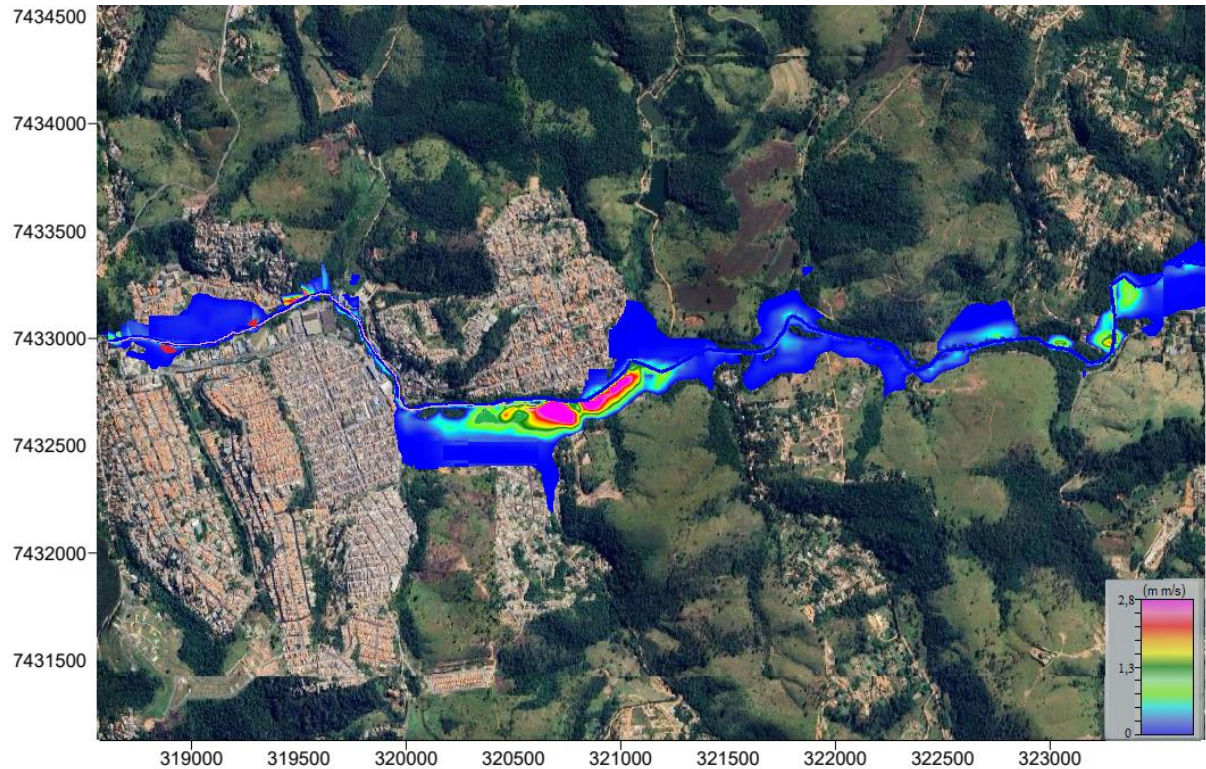


Figura 34 – Cenário 1 de Índice de Perigo para TR 100 anos  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Para facilitar a visualização e interpretação do mapa de índice de perigo gerado no software HEC-RAS para os três cenários simulados, optou-se por destacar o trecho crítico 324, localizado na região assinalada em cor rosa, conforme ilustrado na Figura 39.

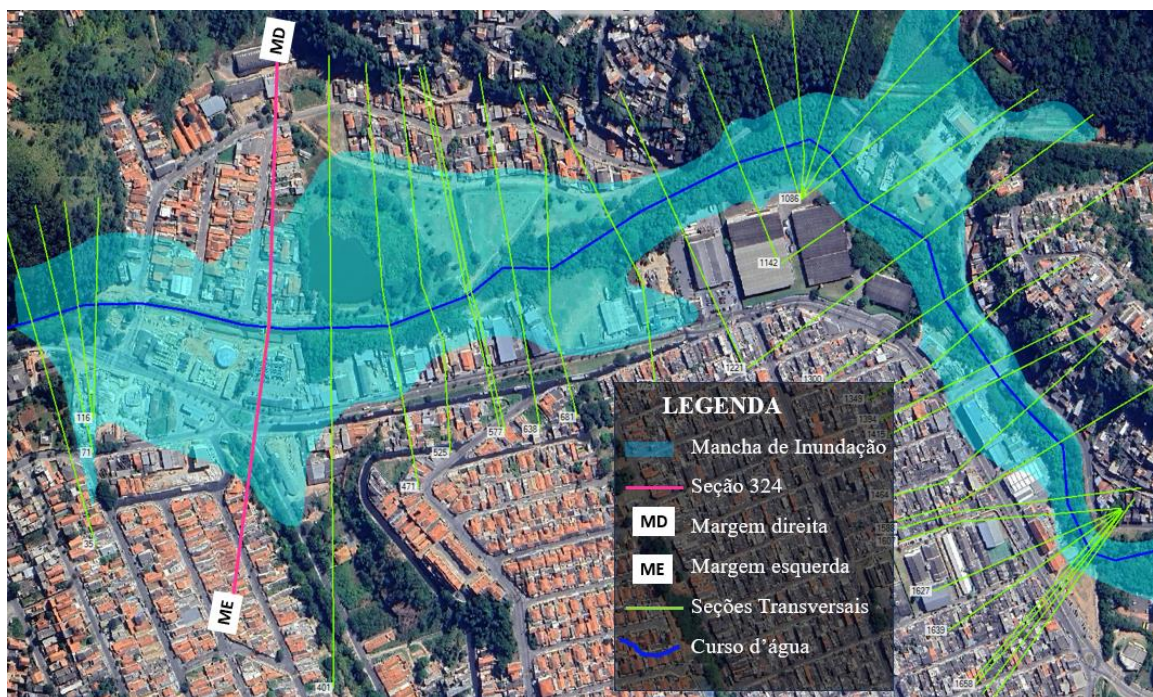


Figura 35 – Trecho crítico - Seção Transversal 324  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

A tabela do Apêndice V, foi gerada utilizando o HEC-RAS, mais especificamente, por meio do *RAS Mapper*, utilizando as linhas do perfil da seção 324. As informações da tabela indicam os pontos ao longo de um rio, especificando as cotas do terreno e as posições correspondentes a partir da margem esquerda no sentido do fluxo. A primeira coluna, denominada "Point", indica a numeração sequencial dos pontos. A segunda coluna, "*Terrain (m)*", apresenta as cotas do terreno em metros, representando a elevação em relação ao ponto de referência. A terceira coluna, denominada "*Station (m)*", indica as posições ao longo do rio em metros, começando a partir da margem esquerda, onde a posição inicial é 0 metros.

Por exemplo, o primeiro ponto (Point 1) possui uma cota do terreno de 761.534 metros e está localizado na posição 0 metros a partir da margem esquerda. À medida que se avança na margem do rio, as posições aumentam em relação ao primeiro ponto de referência. O ponto 2, localizado a 0.18 m de distância do ponto 1, possui uma cota do terreno de 761.314 metros.

A tabela correspondente continua a enumerar os pontos subsequentes, suas cotas do terreno e posições correspondentes, fornecendo uma representação detalhada da topografia ao longo do curso do rio. Figura 36 ilustra o resultado dessa análise, representando a seção transversal 324, onde o eixo x denota as posições e o eixo y indica as cotas do terreno.

#### SEÇÃO TRANSVERSAL 324

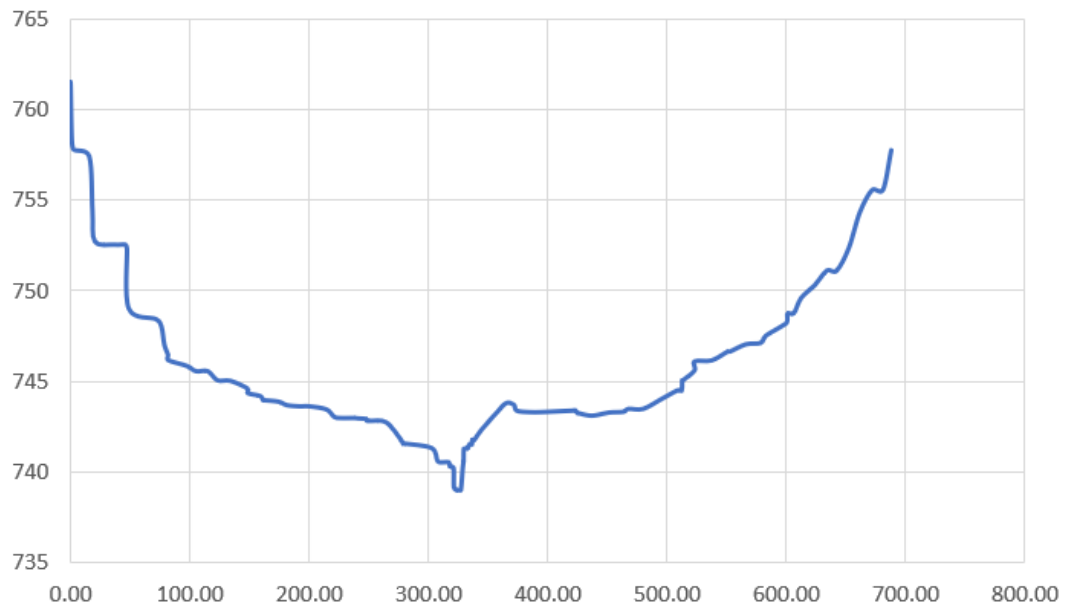


Figura 36 – Posição do Terreno *versus* Cota do Terreno - Seção Transversal 324

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Ao considerar os aspectos relacionados à velocidade e profundidade, a Figura 37 destaca quatro gráficos que representam a profundidade da lâmina d'água, a velocidade e o índice de perigo, os quais foram gerados pelo software HEC-RAS.

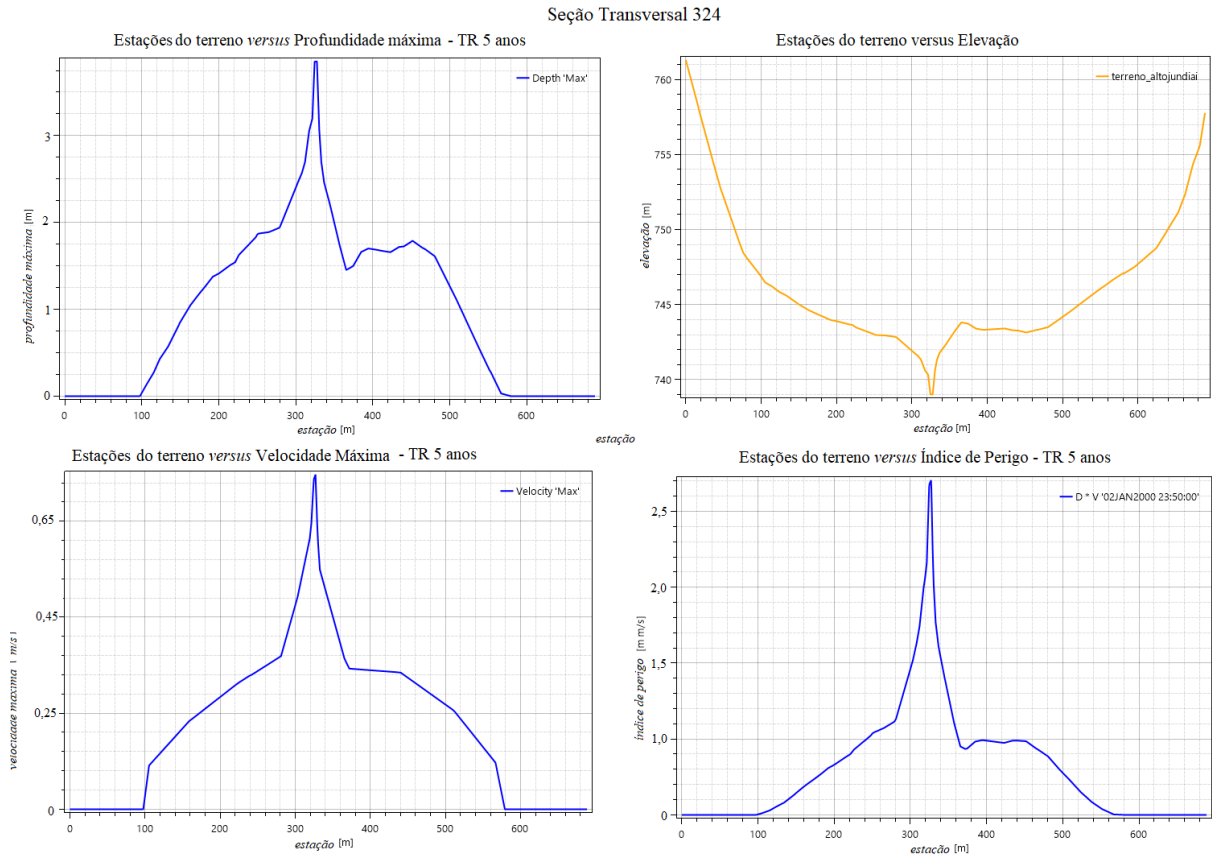


Figura 37 – Profundidade, Velocidade, IP (Velocidade \* Profundidade) para TR 5 anos e Seção Transversal 324. FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

### 5.4.1 Cenário 1

Ao analisar a Figura 38, associadas à seção transversal 324, percebe-se que, para as primeiras posições do terreno (0,00 m a 20,50 m), todos os valores de Índice de Perigo (IP) são 0,00 m<sup>2</sup>/s, indicando que, nessas localidades, o risco é mínimo ou inexistente para todos os Tempos de Retorno (TR) considerados. Os resultados da análise indicam que, para o TR 2 anos, o IP alcança o limiar a partir da posição 303,14 m, atingindo o valor de 0,40 m<sup>2</sup>/s. Em contrapartida, para o TR 5 anos, esse limiar é ultrapassado a partir da posição 251,75 m, com um IP de 0,41 m<sup>2</sup>/s. O mesmo padrão é observado para outros TR's, como o TR 10 anos a partir da posição 247,90 m (IP = 0,43 m<sup>2</sup>/s), o TR 25 anos a partir da posição 226,06 m (IP = 0,40 m<sup>2</sup>/s), o TR 50 anos a partir da posição 200,37m (IP = 0,41 m<sup>2</sup>/s) e o TR 100 anos a partir da posição 181,58 m (IP = 0,41 m<sup>2</sup>/s).Esses resultados destacam que, à medida que os TR's aumentam, o IP passa a ocupar as posições mais baixas, conforme indicado na tabela do Apêndice V.



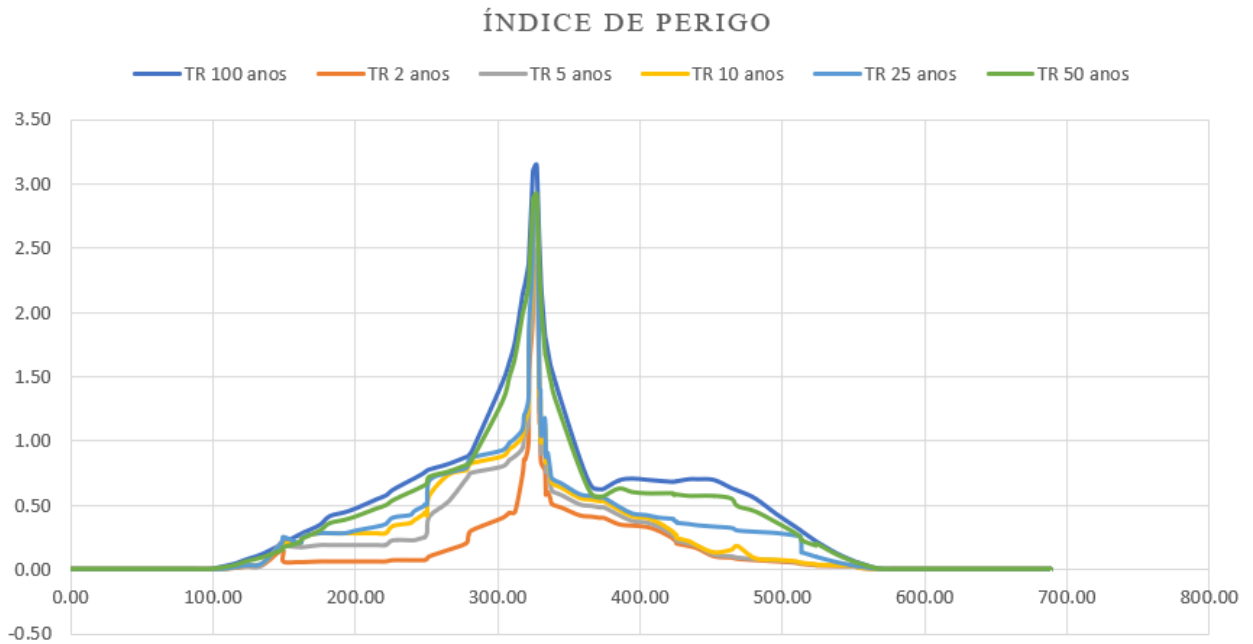


Figura 38 – Posição do Terreno *versus* Índice de Perigo - Seção Transversal 324  
 FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

A análise dos dados também revela padrões distintos no comportamento do IP em relação aos diferentes TR's ao longo da posição 326,98m. Notavelmente, o pico do IP ocorre no TR 100 anos, atingindo 3,15 m<sup>2</sup>/s, representando um aumento significativo de aproximadamente 33% em relação ao TR de 2 anos, que apresenta um IP de 2,37 m<sup>2</sup>/s. Essa tendência de crescimento mais acentuado para TR's de maior magnitude sugere uma resposta não linear do sistema, indicando que eventos hidrológicos mais raros estão associados a um aumento proporcionalmente mais substancial no risco de inundação.

Além disso, ao comparar os incrementos percentuais entre os diferentes TR's em relação ao TR de 2 anos, observa-se uma variabilidade na intensidade do aumento. Enquanto o TR 5 anos exibe um aumento de cerca de 5%, os TR's 10, 25 e 50 anos registram incrementos de aproximadamente 15,6%, 21,5% e 23,6%, respectivamente.

#### 5.4.2 Cenário 2 e Cenário 3

Ao analisar os mapas gerados pelo software HEC-RAS, representados nas Figuras 39 e 40, observa-se a representação do índice de perigo associado ao período de retorno de 100 anos. Esses mapas resultam da multiplicação entre a profundidade e a velocidade do fluxo para os Cenários 2 e 3.

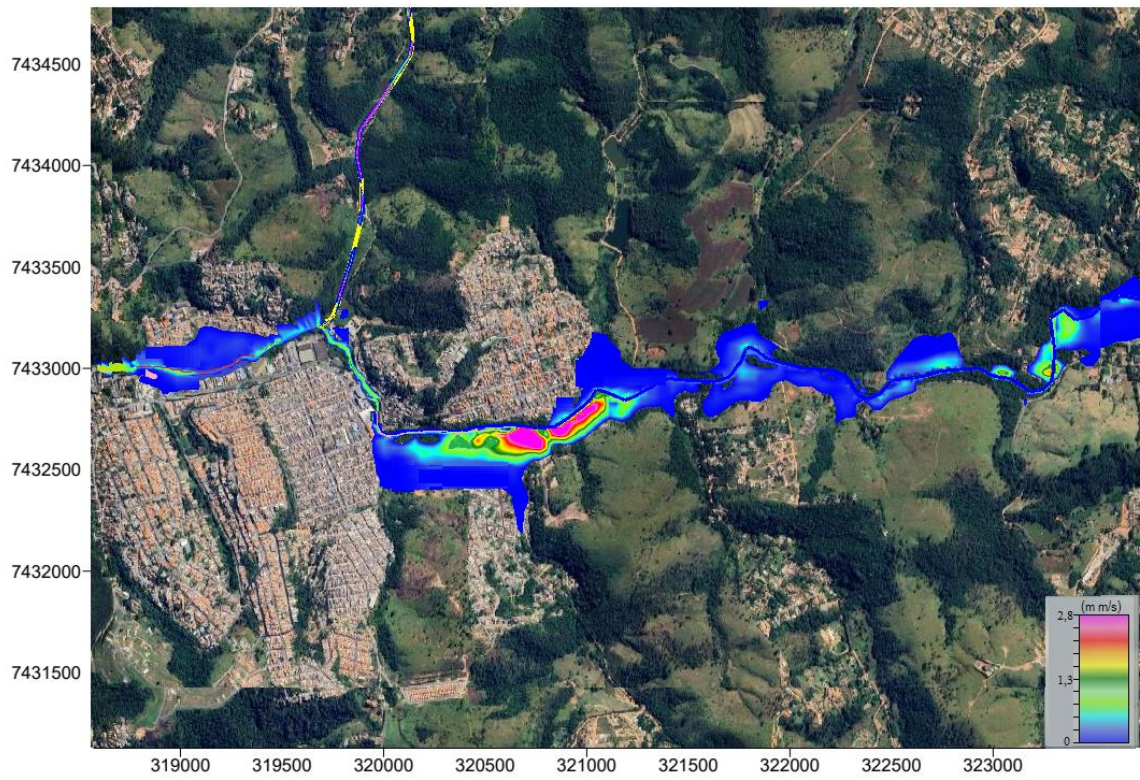


Figura 39 – Cenário 2 de Índice de Perigo para TR 100 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

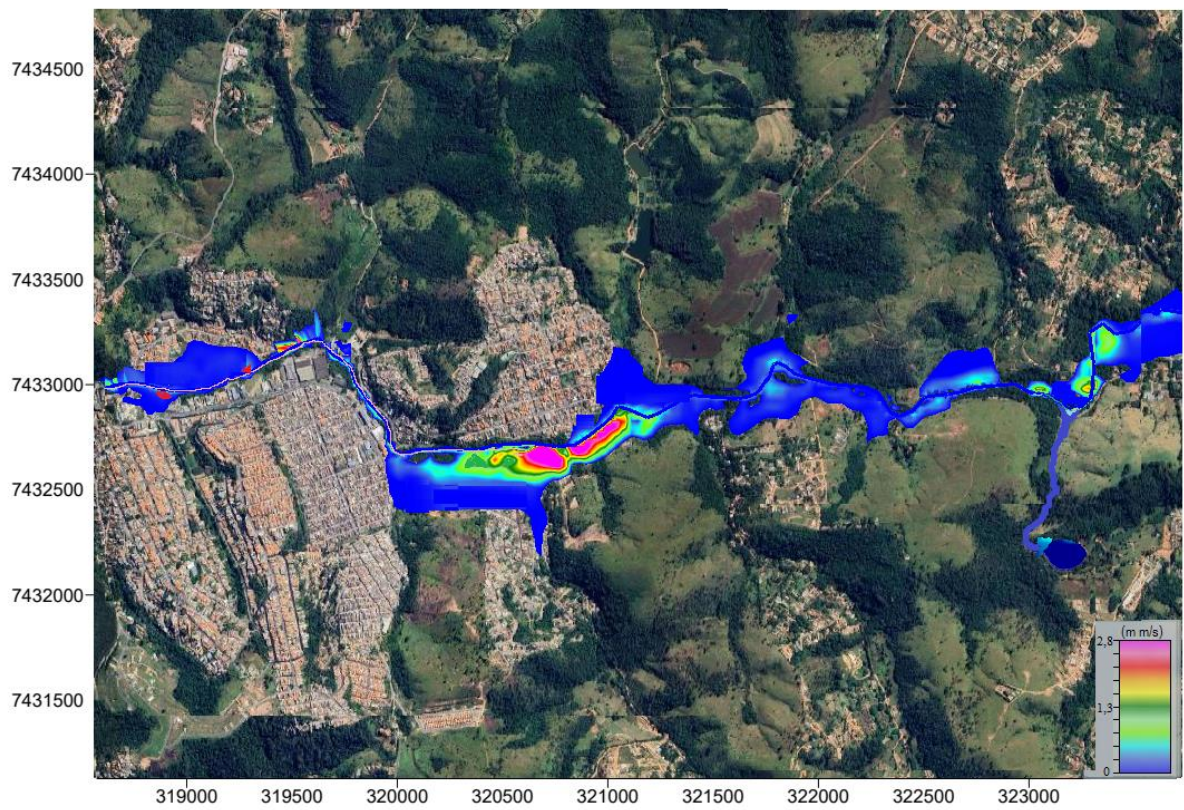


Figura 40 – Cenário 3 de Índice de Perigo para TR 100 anos  
FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Ao examinar o gráfico da Figura 41 em conjunto com as Figuras 39, 40 e o apêndice VI, que correlaciona a posição do terreno e a cota na seção transversal 324, destaca-se um aumento significativo no Índice de Perigo (IP) em determinadas posições ao longo do rio, especialmente ao considerar o afluente e a barragem.

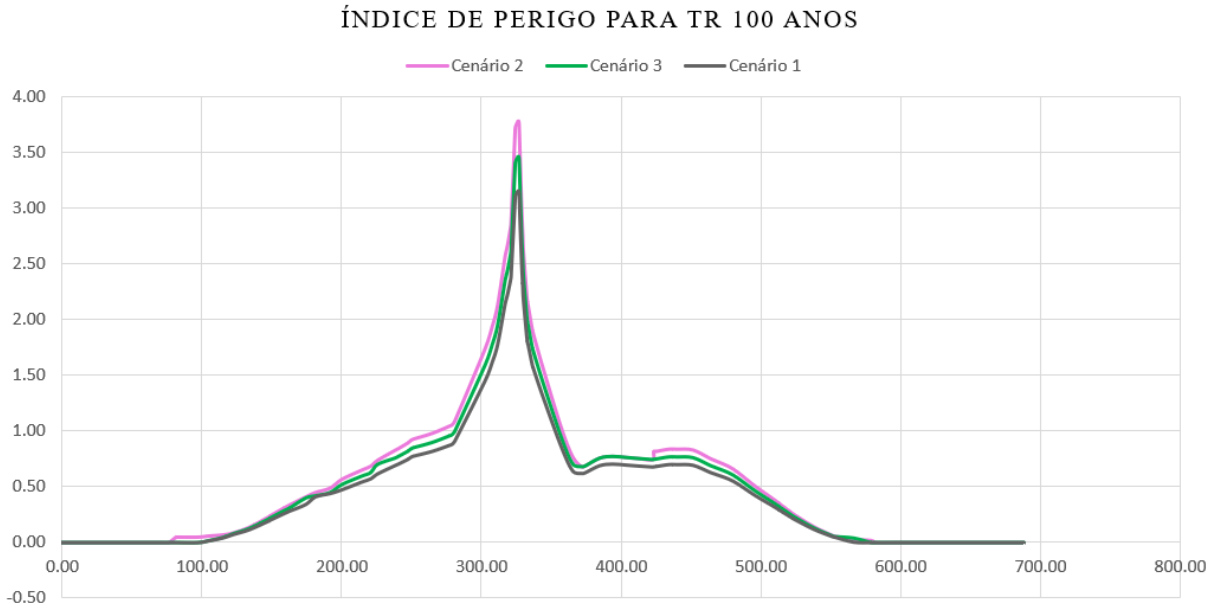


Figura 41 – Posição do Terreno versus Índice de Perigo para TR 100- Seção Transversal 324

FONTES: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

Os resultados da análise revelam que, no Cenário 1 para o Tempo de Retorno (TR) 100 anos, o IP ultrapassa o limiar recomendado a partir da posição 181,58 m ( $IP = 0,41 \text{ m}^2/\text{s}$ ). No Cenário 2, esse limiar é ultrapassado a partir da posição 174,67 m, com um IP de  $0,41 \text{ m}^2/\text{s}$ , apresentando um aumento de aproximadamente 6.3% em relação ao Cenário 1. Já no Cenário 3 o IP atinge  $0,405 \text{ m}^2/\text{s}$ , representando um acréscimo de cerca de 2.4% em comparação com o Cenário 1. Ao considerar o Cenário 3, a influência da barragem também é evidente em determinadas posições, alterando o panorama do risco de inundação em comparação com cenários sem barragem. Em locais como a posição 174,67, a variação do IP entre o TR 100 (Cenário 1) e o TR 100 com barragem (Cenário 3) vai de  $0,34 \text{ m}^2/\text{s}$  para  $0,40 \text{ m}^2/\text{s}$ , representando um aumento de aproximadamente 17,6%.

### 5.5 Incertezas e Simplificações

O modelo hidrológico, implementado por meio das formulações matemáticas presentes no HEC-HMS, desempenhou um papel importante na representação de vários processos inerentes ao ciclo hidrológico. No âmbito deste estudo, foram incorporados elementos como infiltração, transformação da chuva em vazão e vazão de base, visando uma análise abrangente da resposta hidrológica da bacia em questão. No entanto, observa-se que certos componentes

do ciclo hidrológico, como evapotranspiração, interceptação pela vegetação e acúmulo de água na superfície, foram desconsiderados na modelagem.

Esta decisão foi tomada devido às incertezas associadas a esses processos, bem como para simplificar a complexidade do modelo. Vale ressaltar que a não inclusão desses elementos introduz uma limitação na capacidade do modelo em representar completamente todos os fenômenos hidrológicos da bacia. Embora seja possível calibrar o modelo para incorporar esses parâmetros adicionais, é importante reconhecer que tal ajuste é inerentemente restrito, e a estrutura e parâmetros do modelo não podem capturar integralmente a complexidade dos processos hidrológicos na bacia.

Da mesma forma, a equação de chuva, ajustada para o Rio Acima, possui suas próprias limitações. A complexidade das interações ambientais e a variabilidade temporal e espacial dos eventos climáticos podem não ser completamente representadas por esta equação ajustada. Portanto, é necessário interpretar os resultados do modelo com considerável atenção às simplificações e incertezas inerentes à modelagem hidrológica, reconhecendo que, apesar dos esforços de calibração, o modelo pode ser considerado conservador devido a alguns pontos que apoiam essa afirmativa:

- Semelhança parcial nas áreas inundadas: Para todos os cenários simulados, o modelo revelou que as inundações para diferentes tempos de retorno afetaram parcialmente áreas semelhantes a jusante da bacia, próximo ao exutório. Isso sugere que o modelo pode ser conservador ao prever áreas afetadas, considerando consistência nas áreas inundadas para diferentes eventos extremos.
- Avaliação da propagação do hidrograma de rompimento: Em relação ao Cenário 3, a consideração da propagação do hidrograma de rompimento da barragem do Cunha indica consistência nas áreas inundadas em relação aos outros cenários estudados, além de permitir uma compreensão de como a liberação de grandes volumes de água afetaria as áreas a jusante do rio.

Em relação à modelagem hidrodinâmica realizada no software HEC-RAS, é essencial considerar as incertezas e limitações inerentes ao processo, reconhecendo que, embora o modelo forneça uma boa representação, há aspectos que não podem ser totalmente capturados. Uma das principais fontes de incerteza reside no ajuste do coeficiente de Manning, aplicado tanto nas seções da calha principal quanto na planície de inundação. Embora esse ajuste seja uma prática comum e útil para adaptar o modelo à realidade local, é fundamental ressaltar que a precisão do coeficiente de *Manning* depende de diversos fatores, e nada substitui a coleta

direta de dados em campo para uma calibração mais robusta.

Outro ponto relevante é a questão do Modelo Digital de Elevação (MDE), que, ao não considerar não capturar variações locais detalhadas, como a profundidade de um rio em ambientes de alta variabilidade altimétrica, exigiu ajustes manuais. Esses ajustes, embora sejam uma abordagem comum para lidar com as limitações dos dados disponíveis, introduzem incertezas adicionais na representação da topografia da área em estudo. A necessidade de ajustes manuais destaca a importância de validar e aprimorar continuamente a qualidade do MDE, uma vez que discrepâncias nesse aspecto podem afetar significativamente os resultados da modelagem hidrodinâmica.

No contexto geral das incertezas e simplificações, é importante reconhecer que um modelo hidrodinâmico, por mais avançado que seja, nunca reproduzirá completamente a complexidade da realidade. A variabilidade espacial e temporal de eventos hidrológicos, as características específicas da vegetação, as mudanças na morfologia da calha e outros fatores podem escapar à representação detalhada do modelo.

A modelagem de risco de inundação utilizando o software HEC-RAS oferece uma abordagem valiosa para avaliar os potenciais impactos desses eventos complexos. No entanto, é crucial reconhecer as inerentes incertezas e limitações associadas a esse processo.

O cenário das mudanças climáticas e a redução da retenção natural de água devido à alteração no uso do solo realçam a importância de incorporar possíveis cenários futuros nos estudos de gestão de riscos. Conforme mencionando anteriormente, um exemplo marcante desse contexto foi observado no estado do Rio Grande do Sul, onde intensas chuvas afetaram extensas áreas da metade norte do estado em setembro de 2023. Outro caso revelador, em novembro de 2023, envolveu ondas de calor na capital de São Paulo, seguidas por alertas da Defesa Civil do Estado e da ENEL, principal órgão privado de distribuição de energia do país, sobre tempestades iminentes e rajadas fortes de vento.

Esses eventos recentes ressaltam a necessidade premente de mapear os perigos associados a fenômenos climáticos extremos. A consideração atenta de alterações nos regimes hidrológicos e na cobertura do solo torna-se categórica para antecipar mudanças futuras no risco de inundações. Esta abordagem permite a identificação e priorização de áreas que demandam a implementação de medidas de redução e proteção.

Além disso, destaca-se a importância da comunicação eficaz do risco de inundação. Esta prática desempenha um papel fundamental no aumento da conscientização pública e na promoção de uma percepção precisa do risco. Ao reduzir a vulnerabilidade social, fortalece-se a resiliência e a capacidade adaptativa das comunidades em regiões propensas a inundações.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão em consonância direta com os objetivos delineados, concentrando-se no desenvolvimento e aplicação de um índice de perigo como ferramenta analítica para avaliar o risco de inundações em áreas urbanas da região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí.

No âmbito do desenvolvimento de modelagens hidrológicas, os hidrogramas gerados pelo HEC-HMS representaram de forma eficaz os Cenários 1 e 2 de estudo, permitindo uma análise detalhada da resposta hidrológica da bacia a eventos de precipitação de diferentes magnitudes e durações. No contexto do Cenário 3, foi adotado um evento hipotético, envolvendo a propagação da vazão proveniente do rompimento do afluente da barragem do Cunha. Para a transmissão do hidrograma, foi necessária a utilização de equações empíricas específicas, visando garantir a precisão e a coerência dos resultados obtidos.

A apresentação dos resultados relacionados às áreas afetadas baseou-se em dados gerados pelo HEC-RAS, fornecendo informações sobre a extensão das inundações em cada cenário. A inclusão de variáveis adicionais, como o afluente CF-2 e a barragem, demonstrou seu impacto na dinâmica hidrológica e nos padrões de inundação.

A calibração do modelo hidrodinâmico, juntamente com ajustes manuais e comparação com dados de campo, contribuíram para a precisão das simulações. Porém a eficácia da calibração precisa ser aprimorada, especialmente para os Cenários 1 e 2, mediante a obtenção de dados de campo e informações sobre cheias observadas. Esta necessidade é particularmente crítica em pontos mais a montante do rio Jundiaí, onde a falta de informações pode afetar a precisão das simulações e subestimar os reais riscos de inundação.

No que concerne ao índice de perigo, a análise dos três cenários revelou um padrão distinto: à medida que os tempos de retorno (TR) aumentam, observa-se uma tendência do aumento da extensão do índice de perigo ao longo da seção transversal, indicando que eventos hidrológicos menos frequentes estão associados a um aumento proporcionalmente mais significativo no risco de inundação.

No que tange as limitações deste estudo, além da escassez de dados observados para a porção mais a montante da bacia, o modelo digital de elevação apresentou limitações ao não considerar adequadamente a profundidade real do rio. A calibração precisa ser aprimorada com análises coletadas in loco, um aspecto que não foi abordado nesta pesquisa. A realização de mapeamentos em campo após eventos de inundação, incluindo informações detalhadas sobre a data, volume e duração das chuvas, é fundamental para garantir que os resultados da simulação

se aproximem o máximo possível da realidade. Essas considerações destacam a importância de abordagens mais precisas na obtenção de dados para fortalecer a confiabilidade e utilidade dos modelos hidrodinâmicos em estudos de risco de inundação.

Em face dessas constatações, deve-se reforçar a necessidade de considerar de forma abrangente todos os elementos hidrográficos relevantes na elaboração de cenários futuros, visando uma gestão mais eficiente e proativa dos riscos de inundação.

Ademais, este estudo complementa os resultados obtidos no Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí - PDMRJ, ao fornecer a mancha de inundação simulada para o afluente CF2 e a barragem do Cunha. Além disso, apresenta como resultado adicional o índice de perigo, utilizando a mesma metodologia empregada no PDMRJ, fazendo uso do HEC-HMS e HEC-RAS.

Os registros de ocorrência compilados pelo PDMRJ convergem parcialmente com as manchas de inundação obtidas neste trabalho, indicando que a região a jusante do estudo apresenta suscetibilidade a inundações.

A parcela que não foi abordada no estudo realizado pela Profill, considerando o rio Jundiaí desde a sua nascente, foi apresentada nos cenários. Esse fator é apontado como uma possível justificativa para ajustes diferentes a partir do mesmo conjunto de parâmetros realizados no PDMRJ. No entanto, dado que o objetivo deste trabalho é avaliar o índice de perigo na bacia, considera-se que os resultados estão adequados para demonstrar as áreas de perigo frequente na região superior do rio Jundiaí.

Com o avanço das mudanças climáticas e a tendência que indica um provável aumento na frequência desse tipo de evento extremo, torna-se fundamental desenvolver estudos semelhantes em mais localidades para contribuir para uma compreensão mais aprofundada das áreas vulneráveis. É fundamental que a ciência avance nos estudos de cenários futuros, especialmente considerando os impactos dos padrões ambientais e do uso do solo, na gestão dos riscos de inundação. As descobertas desta pesquisa podem ser utilizadas como instrumento para embasar políticas públicas e diretrizes de planejamento urbano, com o objetivo de fortalecer a resiliência das comunidades que enfrentam ameaças de inundação.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATTI, Bruno Henrique. **Modelagem Hidrológica: curso de modelagem hidrogeomorfológica para mapeamento de risco**. Rio Grande do Sul: Ufrgs, 2022. 18 slides, color.

ABDELLA, K. et al. **Application of hydrodynamic models for designing structural measures for river flood mitigation: the case of kulfo river in southern ethiopia**. Modeling Earth Systems And Environment, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 2779-2791, 11 jan. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40808-020-01057-5>.

AIDR . ( 2018 ). **Perigo de inundação. Coleção australiana de manuais de resiliência a desastres**. Diretriz 7-3 . Instituto Australiano para Resiliência a Desastres. Disponível em: <https://knowledge.aidr.org.au/media/3518/adr-guideline-7-3.pdf>

ALVARENGA, Lívia Alves et al. **Hydrological simulation with SWAT and VIC Models in the Verde River Watershed, Minas Gerais**. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1, 6 jul. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2492>.

ALVES JUNIOR, F. M.; KOBİYAMA, M.; CORSEUIL, C. W.. **Flood risk index mapping of an area downstream of a dam in case of a break**. Mercator, Fortaleza, v. 22, n. 1, p. 1-12, fev. 2023.

ARAÚJO, Paulo Victor N. et al. **Delimitation of flood areas based on a calibrated a DEM and geoprocessing: case study on the uruguay river, itaqui, southern brazil**. Natural Hazards And Earth System Sciences, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 237-250, 25 jan. 2019. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-19-237-2019>.

BARROS, Mario T. L. et al. **Flood Forecasting System in a Mega City: challenges and results for the são paulo metropolitan region**. World Environmental And Water Resources Congress 2016, [S.L.], p. 10-19, 16 maio 2016. American Society of Civil Engineers. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784479889.002>.

BATES, P. D.; HORRITT, M. S.; FEWTRELL, T. J. **A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling**. Journal of Hydrology, v. 387, p. 33-45, 2010.

BENNETT, J.C. et al. **Performance of quantile-quantile bias-correction for use in hydroclimatological projections**. 19Th International Congress On Modelling And Simulation, Australia, v. 19, n. 1, p. 12-16, dez. 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Nathaniel-Bindoff/publication/236116506\\_Performance\\_of\\_quantile-quantile\\_bias-correction\\_for\\_use\\_in\\_hydroclimatological\\_projections/links/02e7e52e2f3b378305000](https://www.researchgate.net/profile/Nathaniel-Bindoff/publication/236116506_Performance_of_quantile-quantile_bias-correction_for_use_in_hydroclimatological_projections/links/02e7e52e2f3b378305000)



000/Performance-of-quantile-quantile-bias-correction-for-use-in-hydroclimatological-projections.pdf. Acesso em: 19 jul. 2023.

BHAT, M. Sultan et al. **Flood hazard assessment of upper Jhelum basin using morphometric parameters**. Environmental Earth Sciences, [S.L.], v. 78, n. 2, p. 12-21, jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8046-1>.

BHUSAL, Amrit et al. **Application of Machine Learning and Process-Based Models for Rainfall-Runoff Simulation in DuPage River Basin, Illinois**. Hydrology, [S.L.], v. 9, n. 7, p. 117, 27 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology9070117>.

BRUBACHER, João Paulo et al. **Preenchimento de Falhas em Séries Temporais de Precipitação Diária no Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 335-344, jun. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786352035>.

BUCKLEY, S., Agram, P. et al. 2020. **NASADEM User Guide Version 1**. Pasadena, California, USA: California Institute of Technology. [https://lpdaac.usgs.gov/documents/592/NASADEM\\_User\\_Guide\\_V1.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/592/NASADEM_User_Guide_V1.pdf)

BRECKENFELD, Karolyne Aquino Alexandre et al. **Avaliação dos novos modelos digitais de elevação globais NASADEM, COPDEM e FABDEM comparativamente a dados Lidar**. XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste: 15º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, Paraíba, v. 1, n. 15, p. 1-10, nov. 2022.

CANWAT, Vincent et al. **Social innovations and drivers in flood early warning systems: a community :based transboundary perspective from Elegu flood plain in northern Uganda**. Journal Of Flood Risk Management, [S.L.], v. 19, n. 24, p. 1-19, 21 jun. 2023. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12930>.

CEA, Luís et al. **Flood Risk in Urban Areas: modelling, management and adaptation to climate change. a review**. Hydrology, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 50, 18 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/hydrology9030050>.

CHAN, Ngai Weng et al. **Integrating Structural and Non-structural Flood Management Measures for Greater Effectiveness in Flood Loss Reduction in the Kelantan River Basin, Malaysia**. Proceedings Of Aicce'19, [S.L.], p. 1151-1162, 29 nov. 2019. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-32816-0\\_87](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-32816-0_87).

COX, R.J.; SHAND, T.D. & BLACKA, M.J. **Australian Rainfall and Runoff revision Project 10: appropriate safety criteria for people**. 2010. Water Research, v. 978, 31p.

DEMIREL, M.C.; VENANCIO, A. & KAHYA, E. **Flow forecast by SWAT model and**

**ANN in Pracana basin, Portugal.** 2009. *Advances in Engineering Software*, v. 40, n. 7, p. 467-473.

DION, Patrice et al. **Hydrological ensemble forecasting using a multi-model framework.** *Journal Of Hydrology*, [S.L.], v. 600, p. 126537, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126537>.

DJIMESAH, Isaac Edem et al. **Influential factors in creating warning systems towards flood disaster management in Ghana: an analysis of 2007 northern flood.** *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, [S.L.], v. 28, p. 318-326, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.03.012>.

DOMENEGHETTI, Alessio et al. **Preface: remote sensing for flood mapping and monitoring of flood dynamics.** *Remote Sensing*, [S.L.], v. 11, n. 8, p. 943, 19 abr. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11080943>.

Dwyer, A., Zoppou, C., & Nielsen, O. **Assessing the cost of natural hazards: A multi-dimensional model.** 2004. *Natural Hazards*, 33(1), 41-62.

EPA (2023). **Storm Water Management Model (SWMM).** 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> Acesso em: 17 jul. 2023.

FAGUNDES, Marina Refatti. **Previsão hidrológica como ferramenta para auxiliar no critério de fechamento da trilha do Rio do Boi (SC).** 2021. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/250620/001140443.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 maio 2022.

FAN, Fernando Mainardi et al. **Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 4, n. 20, p. 914-926, jul. 2015. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/156/0b3abcc12909adf53bbeadef5cb87d85\\_e19a4c15b4f13f1d6cb42471534d7d44.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/156/0b3abcc12909adf53bbeadef5cb87d85_e19a4c15b4f13f1d6cb42471534d7d44.pdf). Acesso em: 19 jul. 2022

FARR, T. G., et al. (2007), **The Shuttle Radar Topography Mission**, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183

FERRÃO, André Munhoz de Argollo et al. **Aspectos de governança e de gestão integrada na região hidrográfica do alto rio Jundiaí.** *Geosciences = Geociências*, [S.L.], v. 40, n. 2, p. 489-499, 6 ago. 2021. UNESP - Universidade Estadual Paulista. <http://dx.doi.org/10.5016/geociencias.v40i02.13802>.

FERRAREZI NETO, Diniz et al (org.). **Parâmetros hidráulicos para quantificação de**

**vazão sólida em escoamentos fluviais, estudo de caso no rio Jundiá, estado de são paulo. Transporte de Sedimentos: da Bacia Hidrográfica até a Foz: XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Campinas, v. 14, n. 8, p. 1-8, 09 nov. 2020. Anual.**

GAMA, C.H.A. **Previsão operacional de vazões baseada em modelo hidrológico concentrado, assimilação de dados e previsões meteorológicas.** 2019. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 97p.

GARCIA, Fabricio Ribeiro; ALIXANDRINI JÚNIOR, Mauro José. **Comparação de MDTs a partir do acoplamento de modelo hidrológico e hidrodinâmico aplicado à identificação de áreas de inundações urbanas.** Revista Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 783, 21 abr. 2022. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p783-803>.

GARCIA, Junior Ruiz; MAIA, Alexandre Gori. **O papel dos produtores rurais na gestão dos recursos hídricos: uma análise preliminar da bacia do rio Jundiá-SP.** Biodiversidade, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 8-18, 2020. Editora Conhecimento Livre. <http://dx.doi.org/10.37423/200300335>.

GESPLA. **O impacto em edificações causado pela cheia do Rio Taquari-Antas de 4 e 5 de setembro de 2023: estimativa preliminar e diretrizes para ações de adaptação e resposta.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 1, p. 1-11, set. 2023. Nota Técnica. Disponível em: [https://www.ufrgs.br/warp/wp-content/uploads/2023/09/nota\\_tecnica\\_gespla\\_edificacoes\\_taquari\\_cheia23.pdf](https://www.ufrgs.br/warp/wp-content/uploads/2023/09/nota_tecnica_gespla_edificacoes_taquari_cheia23.pdf). Acesso em: 20 out. 2023.

GOERL, A. M., et al. (2012). **The perception of risk: A gender-based analysis of flood hazards in the Dominican Republic.** Gender and Disaster Network. Retrieved from <http://www.gdnonline.org/>.

GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. **Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações.** Universidade de São Paulo, agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (Águia). <Http://Dx.Doi.Org/10.11606/T.18.2010.Tde-13082010-102943>, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1-191, jul. 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13082010-102943/publico/GraciosaTese.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

GRACIOSA, Melissa Cristina Pereira. **Tópicos Especiais em Engenharia Ambiental e Urbana.** 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dOfFdtzE6Ng&t=3568s>. Acesso em: 19 fev. 2023.

GROCH, Damián et al. **Medidas de mitigación contra inundaciones en la isla urbanizada “La Herradura”, Neuquén, Argentina.** Revista de Geografía Norte Grande, [S.L.], n. 83, p. 221-242, 2022. SciELO Agência Nacional de Investigación y

Desarrollo (ANID). <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-34022022000300221>.

GROHMANN, C. H. **Análise Digital de Terreno: Aplicações em Geologia e Geomorfologia. Tese de Livre-Docência.** 2015. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.106.2019.tde-30072019-161617>

GROHMANN, C.H., **Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30.** 2018. Remote Sensing of Environment <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.043>

GUTH, P.L., Geoffroy, T.M. **LiDAR point cloud and ICESat-2 evaluation of 1 second global digital elevation models: Copernicus wins. Transactions in GIS.** 2021. <https://doi.org/10.1111/tgis.12825>

HAWKER, Laurence et al. **A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed.** Environmental Research Letters, [S.L.], v. 17, n. 2, p. 024016, 1 fev. 2022. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>.

HIRANO, A., WELCH, R., LANG, H. **Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment.** 2003. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57, 356–370.

HOU, Aizhong; HU, Zhidan; HU, Hongchang. **A distributed hydrological forecast system and its application in predicting the flood caused by Mangkhut.** Tropical Cyclone Research And Review, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 187-192, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcr.2020.10.001>.

IPCC (2014). **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Geneva, Switzerland: IPCC.

IPT (org.). **Manual de Procedimentos Metodológicos.** São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 2023. 182 p.

JAIN, Sharad Kumar et al. **A Brief review of flood forecasting techniques and their applications.** International Journal Of River Basin Management, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 329-344, 22 jan. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/15715124.2017.1411920>.

JOO, Soohyun et al. **An Analysis of Factors Influencing Disaster Mobility Using Location Data from Smartphones: case study of western japan flooding.** Journal Of Disaster Research, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 903-911, 1 set. 2019. Fuji Technology Press LTD. <http://dx.doi.org/10.20965/jdr.2019.p0903>.

KITTIPONGVISES, Suthirat et al. **AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world heritage site on Ayutthaya Island, Thailand.**

International Journal Of Disaster Risk Reduction, [S.L.], v. 48, p. 101612, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101612>.

KOLLAT, Joshua B. et al. **Estimating the Impacts of Climate Change and Population Growth on Flood Discharges in the United States**. Journal Of Water Resources Planning And Management, [S.L.], v. 138, n. 5, p. 442-452, set. 2012. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000233](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000233).

KOSHINCHANOV, Georgy et al. **Hydrological modelling using remote sensing techniques in Bulgaria**. Seventh International Conference On Remote Sensing And Geoinformation Of The Environment (Rscy2019), [S.L.], v. 2, n. 1, p. 12-20, 27 jun. 2019. SPIE. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2533155>.

KVITSJØEN, J. et al. **Natural flood protection: streamlining the planning of flood detention in natural landscapes for the reduction of urban flooding**. Water Science And Technology, [S.L.], v. 85, n. 1, p. 367-382, 20 dez. 2021. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2021.628>.

LAGES. Sílvio Luís Rafaeli Neto. Ministério do Desenvolvimento Regional (org.). **Estudo de Viabilidade Técnica Econômica – EVTA: Estudo Hidrológico**. Lages: Udesc, 2019. 53 p.

LAPIETRA, Isabella et al. **Evaluation of Social Vulnerability to Flood Hazard in Basilicata Region (Southern Italy)**. Water, [S.L.], v. 15, n. 6, p. 1175, 18 mar. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w15061175>

LIPATOV, Viacheslav et al. **Flood hazards, social vulnerability and societal risks in Russia. Environment, Development and Sustainability**, [S.L.], p. 111-120, 6 jun. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10668-023-03410-x>.

LOPEZ, M. Girons et al. **Impact of social preparedness on flood early warning systems**. Water Resources Research, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 522-534, jan. 2017. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/2016wr019387>.

LYU, Hai-Min et al. **Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system**. Tunnelling And Underground Space Technology, [S.L.], v. 84, p. 31-44, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tust.2018.10.019>.

MA, Meihong et al. **XGBoost-based method for flash flood risk assessment**. Journal Of Hydrology, [S.L.], v. 598, p. 126382, jul. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126382>.

MARANZONI, Andrea; D'ORIA, Marco; RIZZO, Carmine. **Quantitative flood hazard assessment methods: a review**. Journal Of Flood Risk Management, [S.L.], v. 16, n. 1,

p. 1-20, 19 out. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jfr3.12855>.

MATTOS, Tiago Souza. **Improving urban flood resilience**. 2021. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Ms, 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/3702/1/Tese\\_Corrigida.pdf](https://repositorio.ufms.br/bitstream/123456789/3702/1/Tese_Corrigida.pdf). Acesso em: 10 set. 2022.

MAZZOLENI, M. et al. **Evaluating precipitation datasets for large-scale distributed hydrological modelling**. Journal Of Hydrology, [S.L.], v. 578, p. 124076, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124076>.

MEDIONDO, E., et al. **Mortality risk and socio-economic vulnerability due to flash floods in Spain: a theoretical approach**. 2013. Natural Hazards and Earth System Sciences, 13(6), 1573-1582.

MELLO, Yara Rúbia de et al. **Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações pluviométricas**. Boletim de Geografia, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 112, 9 ago. 2017. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v35i1.30893>.

MONTEIRO, Leonardo Romero; KOBAYAMA, Masato; ZAMBRANO, Fernando Campo. **Mapeamento de Perigo de Inundação**. Porto Alegre: IPH GPDEN, 2015. 90 p.

MONTEIRO, Carlos Eduardo de Oliveira. **Previsão de vazões para minicentraís hidrelétricas - estudo de caso**. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019. Disponível em: [https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2121/Disserta%20a7%20a3o\\_2020028.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2121/Disserta%20a7%20a3o_2020028.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 19 jul. 2022.

MURILLO-BERMÚDEZ, Luis Fernando et al. **Estimation of the time of concentration from morphometric and hydrological monitoring parameters in São Paulo state watersheds**. Ciência e Natura, [S.L.], v. 44, p. 1-24, 21 abr. 2022. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x68805>.

NAEEM, Babar et al. **Flood Hazard Assessment for the Tori Levee Breach of the Indus River Basin, Pakistan**. Water, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 604, 25 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13050604>.

NOFAL, Omar M.; LINDT, John W. van de. **Understanding flood risk in the context of community resilience modeling for the built environment: research needs and trends**. Sustainable And Resilient Infrastructure, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 171-187, 12 fev. 2020. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/23789689.2020.1722546>.

NOYMANEE, Jeerana et al. **Flood Forecasting with Machine Learning Technique on Hydrological Modeling**. Procedia Computer Science, [S.L.], v. 156, n. 5, p. 377-386, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.214>.

OLIVEIRA, Luiz F. C. de et al. **Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, [S.L.], v. 14, n. 11, p. 1186-1192, nov. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010001100008>.

PAIXÃO, L. R. M., et al. **Factors influencing flood risk perception in coastal areas: a case study in Brazil**. 2018. International Journal of Disaster Risk Reduction, 27, 38-47.

POSSANTTI, Iporã; MARQUES, Guilherme Fernandes; PAIVA, Rodrigo. **O impacto em edificações causado pela cheia do Rio Taquari-Antas de 4 e 5 de setembro de 2023: estimativa preliminar e diretrizes para ações de adaptação e resposta**. Porto Alegre: Grupo de Pesquisa em Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos, 2023. 11 p. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/warp/2023/09/19/nota-tecnica-o-impacto-em-edificacoes/>. Acesso em: 19 out. 2023.

PROFILL. **Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí**. São Paulo: Agência das Bacias Pcj, 2021. 586 p.

PURINTON B., BOOKHAGEN B., 2021. **Beyond Vertical Point Accuracy: Assessing Inter-pixel Consistency in 30m Global DEMs for the Arid Central Andes**. Frontiers in Earth Science <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2021.758606/full>

QUEDI, Erik Schmitt; FAN, Fernando Mainardi. **Sub seasonal streamflow forecast assessment at large-scale basins**. Journal Of Hydrology, [S.L.], v. 584, p. 124635, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124635>.

ROCHA FILHO, Kleber Lopes da et al. **Identificação e distribuição temporal de extremos de precipitação horária nos últimos 15 anos na região metropolitana de São Paulo**. ABRHidro: XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas / IV Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, Brasília, v. 4, n. 14, p. 1-10, set. 2022. Disponível em: [https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/189/XIV-ENAU\\_IV-SRRU0035-1-20220708-111046.pdf](https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/189/XIV-ENAU_IV-SRRU0035-1-20220708-111046.pdf). Acesso em: 16 jul. 2023.

RODRÍGUEZ-RINCÓN, J. P. et al. **Uncertainty Propagation in a Flood Model Cascade Under Different Rainfall Generation**. IAHR, Hague, n. 36, p. 1-7, jun. 2015.

SALMAN, Abdullahi M. et al. **Flood Risk Assessment, Future Trend Modeling, and Risk Communication: a review of ongoing research**. Natural Hazards Review, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 54-67, ago. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000294](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000294).

SÃO PAULO. **SAISP - Sistema de Alerta A Inundações de São Paulo**. Centro

Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos (org.). Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Disponível em: <https://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/home.html>. Acesso em: 16 jul. 2023.

SCHWANENBERG, Dirk et al. **Short-Term Reservoir Optimization for Flood Mitigation under Meteorological and Hydrological Forecast Uncertainty**. *Water Resources Management*, [S.L.], v. 29, n. 5, p. 1635-1651, 8 jan. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0899-1>.

SKILODIMOU, Hariklia D. et al. **Flood Hazard Assessment Mapping in Burned and Urban Areas**. *Sustainability*, [S.L.], v. 13, n. 8, p. 4455, 16 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13084455>.

SIQUEIRA, Vinícius Alencar. **Modelagem e previsão hidrológica em escala continental para a América do Sul**. 2022. 263 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Pesquisas Hidráulicas Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/239656/001142136.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 jul. 2022.

SMITH, A. B. **Hydrology modeling**. In *Encyclopedia of Water*. 2020. Science, Technology, and Society (pp. 1-10). Wiley.

SMITH, K., et al. **World Development Report 2019: The Changing Nature of Risk**. 2019. Washington, DC: World Bank.

STEPHENSON, A. **Community preparedness for flooding**. 2002. *Australian Journal of Emergency Management*, 17(1), 27-32.

S.W. São Paulo: Workshop Internacional Sobre Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos, 2023. P&B.

TOOSI, Amirhossein Shadmehri et al. **Large-scale flood hazard assessment under climate change: a case study**. *Ecological Engineering*, [S.L.], v. 147, p. 105765, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105765>.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura et al. Use of large-scale hydrological models to predict dam break-related impacts. *RBRH*, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-18, nov. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.252020190128>.

UNDRR (2019). **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Retrieved from <https://www.undrr.org/>.

USACE – US Army Corps of Engineers. **HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual**, Version 5.0. 2016. 960 p.



USACE (2023a). **River Analysis System (HEC-RAS) website. 2023.** Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

USACE (2023b). **Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) website. 2023.** Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

USACE (2023c). **Real Time Simulation (HEC-RTS) website. 2023.** Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-rts/> Acesso em: 17 jul. 2023.

USACE (2023d). **US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. 2023.** Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/> Acesso em: 17 jul. 2023.

VALVERDE, María Cleofé et al. **As chuvas e seus impactos nas bacias urbanas do rio tamandateí no ABC Paulista – São Paulo.** XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, v. 1, n. 24, p. 1-10, dez. 2020. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0060-1-20210518-114127.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

WIJAYARATHNE, Dayal Buddika et al. **Identification of hydrological models for operational flood forecasting in St. John's, Newfoundland, Canada.** Journal Of Hydrology: Regional Studies, [S.L.], v. 27, p. 100646, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100646>.

YAMAZAKI D., D. IKESHIMA, R. TAWATARI, T. YAMAGUCHI, F. O'LOUGHLIN, J.C. NEAL, C.C. SAMPSON, S. KANAE & P.D. BATES. 2017. **A high accuracy map of global terrain elevations.** *Geophysical Research Letters*, vol.44, pp.5844-5853, <https://doi.org/10.1002/2017GL072874>

YIN, Zhiqiang et al. **Assessing the economic impacts of future fluvial flooding in six countries under climate change and socio-economic development.** *Climatic Change*, [S.L.], v. 166, n. 3-4, p. 1-17, jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-021-03059-3>.

ZHANG, Xuejun et al. **On the Dominant Factor Controlling Seasonal Hydrological Forecast Skill in China.** *Water*, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 902, 20 nov. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9110902>

ZHANG, Zhixiong et al. **Driving Effects and Spatial-Temporal Variations in Economic Losses Due to Flood Disasters in China.** *Water*, [S.L.], v. 14, n. 14, p. 2266, 20 jul. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w14142266>.

## APÊNDICES

### Apêndice I

Tabela 18 – Resultados exportados das simulações do HEC-HMS – SB1 - Cenário 1

Data	Tempo	VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /s)					
		TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
2-Jan-00	0:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2-Jan-00	1:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2-Jan-00	2:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2-Jan-00	3:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2-Jan-00	4:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
2-Jan-00	5:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0
2-Jan-00	6:00	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,9
2-Jan-00	7:00	3,6	4,7	5,8	7,5	9,2	11,2
2-Jan-00	8:00	9,4	12,8	16,1	20,9	25,6	30,9
2-Jan-00	9:00	18,0	24,5	30,8	40,2	49,1	59,4
2-Jan-00	10:00	30,5	41,5	52,2	68,0	82,8	99,9
2-Jan-00	11:00	46,0	62,2	78,1	101,2	123,0	147,9
2-Jan-00	12:00	59,0	79,6	99,5	128,6	155,8	186,9
2-Jan-00	13:00	67,8	91,1	113,5	146,2	176,9	211,6
2-Jan-00	14:00	71,6	96,1	119,3	153,4	185,2	221,1
2-Jan-00	15:00	72,1	96,5	119,6	153,3	184,8	220,3
2-Jan-00	16:00	68,3	91,4	113,0	144,6	173,9	207,0
2-Jan-00	17:00	62,8	83,9	103,5	132,2	158,8	188,7
2-Jan-00	18:00	55,0	73,2	90,2	115,0	137,7	163,3
2-Jan-00	19:00	45,2	60,1	73,8	94,0	112,4	133,0
2-Jan-00	20:00	37,1	49,2	60,4	76,8	91,8	108,5
2-Jan-00	21:00	30,6	40,6	49,7	63,3	75,4	89,1
2-Jan-00	22:00	25,2	33,3	40,8	51,9	61,9	73,0
2-Jan-00	23:00	20,9	27,6	33,8	42,9	51,1	60,3
3-Jan-00	0:00	17,2	22,7	27,8	35,3	41,9	49,4
3-Jan-00	1:00	14,1	18,5	22,6	28,6	34,0	40,1
3-Jan-00	2:00	11,6	15,2	18,6	23,5	27,9	32,8
3-Jan-00	3:00	9,7	12,7	15,4	19,4	23,0	27,1
3-Jan-00	4:00	8,1	10,5	12,7	16,0	18,9	22,2
3-Jan-00	5:00	6,7	8,7	10,5	13,2	15,5	18,2
3-Jan-00	6:00	5,6	7,2	8,7	10,9	12,8	15,0
3-Jan-00	7:00	4,8	6,1	7,3	9,0	10,6	12,4
3-Jan-00	8:00	4,1	5,1	6,1	7,6	8,9	10,3
3-Jan-00	9:00	3,5	4,4	5,2	6,3	7,4	8,6
3-Jan-00	10:00	3,0	3,7	4,4	5,4	6,2	7,2
3-Jan-00	11:00	2,6	3,2	3,7	4,5	5,2	6,0
3-Jan-00	12:00	2,3	2,8	3,2	3,9	4,4	5,1
3-Jan-00	13:00	2,1	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3

Tabela 18 – Resultados exportados das simulações do HEC- HMS – SB1 – Cenário 1 (2/2)

Data	Tempo	VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /s)					
		TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
3-Jan-00	14:00	1,9	2,2	2,5	2,9	3,3	3,7
3-Jan-00	15:00	1,7	2,0	2,2	2,6	2,9	3,2
3-Jan-00	16:00	1,6	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8
3-Jan-00	17:00	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5
3-Jan-00	18:00	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2
3-Jan-00	19:00	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9
3-Jan-00	20:00	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
3-Jan-00	21:00	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3
3-Jan-00	22:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1
3-Jan-00	23:00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4-Jan-00	0:00	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
4-Jan-00	1:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	2:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	3:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	4:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	5:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	6:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	7:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	8:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	9:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	10:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	11:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	12:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	13:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	14:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	15:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	16:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	17:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4-Jan-00	18:00	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

## Apêndice II

Tabela 19 – Resultados exportados das simulações do HEC- HMS – SB6 – Cenário 2

Data	Tempo	VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /s)					
		TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
2-Jan-00	0:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	1:00	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2
2-Jan-00	2:00	6,0	8,0	10,0	13,0	15,9	19,1
2-Jan-00	3:00	12,0	15,8	19,4	24,9	29,9	35,5
2-Jan-00	4:00	7,8	10,2	12,5	15,9	19,1	22,5
2-Jan-00	5:00	3,4	4,4	5,4	6,8	8,1	9,6
2-Jan-00	6:00	1,5	1,9	2,3	2,9	3,5	4,1
2-Jan-00	7:00	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8
2-Jan-00	8:00	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
2-Jan-00	9:00	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
2-Jan-00	10:00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
2-Jan-00	11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	12:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	14:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	16:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	17:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	19:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-Jan-00	23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	0:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	1:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	2:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	3:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	4:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	5:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	6:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	7:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	8:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	9:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	10:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	12:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	14:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 19 – Resultados exportados das simulações do HEC- HMS – SB6 – Cenário 2 (2/2)

Data	Tempo	VAZÃO TOTAL (m <sup>3</sup> /s)					
		TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
3-Jan-00	15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	16:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	17:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	19:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	21:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	22:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-Jan-00	23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	0:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	1:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	2:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	3:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	4:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	5:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	6:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	7:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	8:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	9:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	10:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	11:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	12:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	14:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	15:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	16:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	17:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-Jan-00	18:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

### Apêndice III

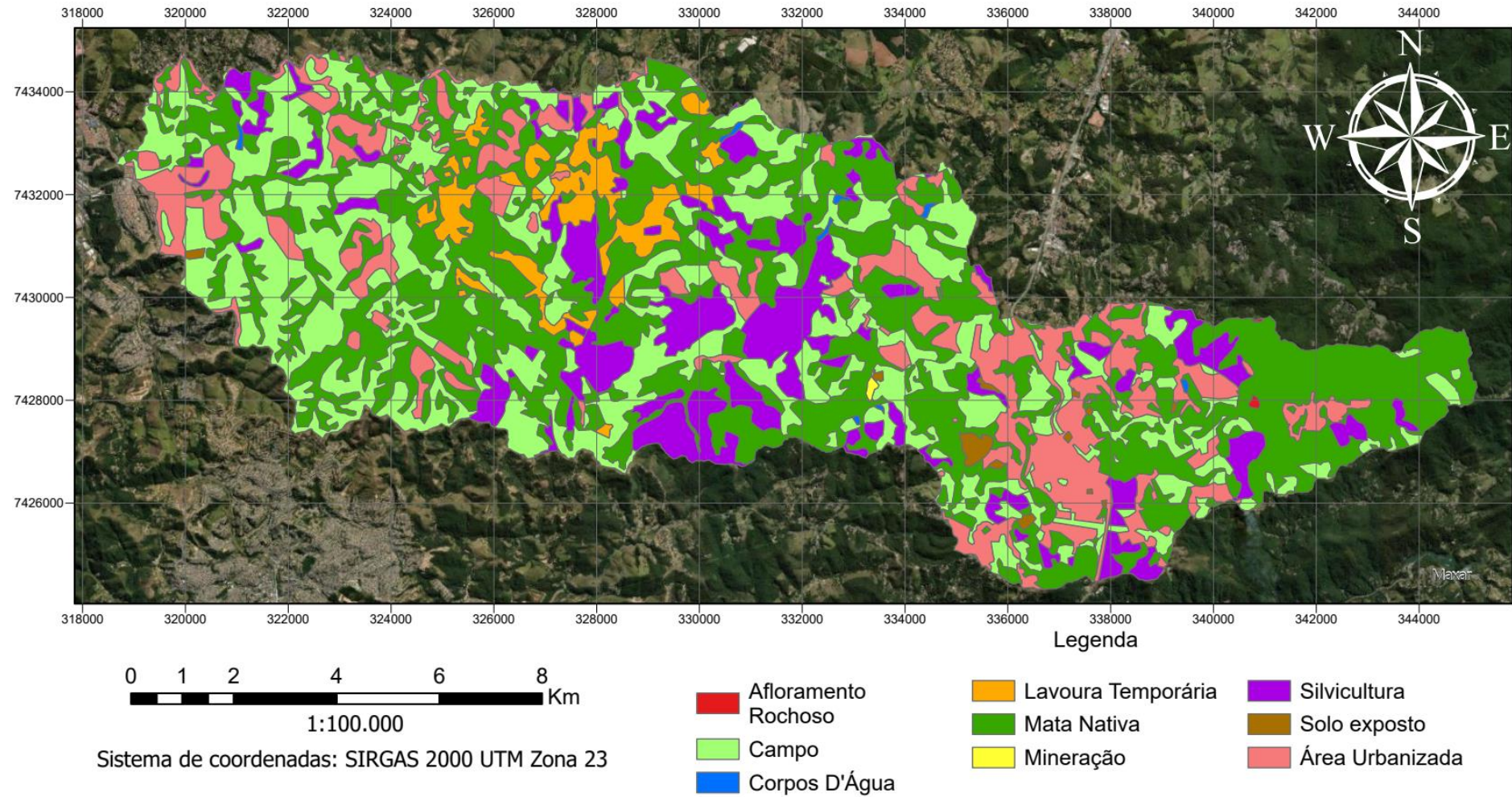
Tabela 20 – Resultados da simulação SCS – Cenário 3

<b>Data</b>	<b>Tempo</b>	<b>TR 100 anos</b>
2-Jan-00	0:00	0,000
2-Jan-00	0:01	0,000
2-Jan-00	0:02	5,714
2-Jan-00	0:03	11,429
2-Jan-00	0:04	17,143
2-Jan-00	0:05	22,857
2-Jan-00	0:06	28,571
2-Jan-00	0:07	34,286
2-Jan-00	0:08	40,000
2-Jan-00	0:09	44,215
2-Jan-00	0:10	48,430
2-Jan-00	0:11	45,581
2-Jan-00	0:12	42,732
2-Jan-00	0:13	39,884
2-Jan-00	0:14	37,035
2-Jan-00	0:15	34,186
2-Jan-00	0:16	31,337
2-Jan-00	0:17	28,488
2-Jan-00	0:18	25,639
2-Jan-00	0:19	22,791
2-Jan-00	0:20	19,942
2-Jan-00	0:21	17,093
2-Jan-00	0:22	14,244
2-Jan-00	0:23	11,395
2-Jan-00	0:24	8,546
2-Jan-00	0:25	5,698
2-Jan-00	0:26	2,849
2-Jan-00	0:27	0,000

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-HMS

## Apêndice IV

A Figura apresenta a categorização das classes de uso e ocupação do solo para a região superior da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí



## Apêndice V

Tabela 21 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1

Point	Terrain (m)	Station (m)	IP TR 2	IP TR 5	IP TR 10	IP TR 25	IP TR 50	IP TR 100
1	761.534	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	761.314	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	758.337	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	757.807	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	757.423	15.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	754.433	18.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	752.74	20.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	752.562	36.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	752.562	46.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	752.353	47.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	749.034	48.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	748.449	71.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	748.042	76.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	747.044	78.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	746.484	81.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	746.19	82.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	745.874	97.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	745.582	105.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
19	745.582	115.27	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
20	745.08	123.28	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	0.07
21	745.049	134.26	0.03	0.03	0.05	0.05	0.09	0.12
22	744.63	148.43	0.15	0.22	0.20	0.21	0.15	0.20
23	744.366	148.98	0.06	0.19	0.20	0.25	0.17	0.20
24	744.217	158.99	0.06	0.17	0.20	0.20	0.20	0.26
25	743.976	161.76	0.06	0.17	0.20	0.20	0.23	0.27
26	743.976	163.21	0.06	0.17	0.26	0.26	0.24	0.28
27	743.9	174.67	0.06	0.19	0.28	0.28	0.30	0.34
28	743.71	181.58	0.06	0.19	0.28	0.28	0.36	0.41
29	743.645	192.16	0.06	0.19	0.28	0.28	0.38	0.44
30	743.645	200.37	0.06	0.19	0.28	0.30	0.41	0.47
31	743.475	214.74	0.06	0.19	0.28	0.33	0.47	0.54
32	743.069	221.12	0.06	0.19	0.28	0.35	0.50	0.57
33	743.002	226.06	0.07	0.22	0.34	0.40	0.54	0.62
34	743.002	238.30	0.07	0.22	0.36	0.42	0.60	0.69
35	742.982	241.05	0.07	0.22	0.38	0.45	0.61	0.70
36	742.949	247.90	0.07	0.25	0.43	0.49	0.65	0.75
37	742.857	248.47	0.07	0.25	0.44	0.50	0.65	0.75
38	742.843	250.07	0.08	0.28	0.42	0.50	0.67	0.77



Tabela 21 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1 (2/3)

<b>Point</b>	<b>Terrain (m)</b>	<b>Station (m)</b>	<b>IP TR 2</b>	<b>IP TR 5</b>	<b>IP TR 10</b>	<b>IP TR 25</b>	<b>IP TR 50</b>	<b>IP TR 100</b>
39	742.843	251.75	0.10	0.41	0.57	0.69	0.72	0.77
40	742.758	265.04	0.15	0.53	0.74	0.75	0.76	0.82
41	741.786	277.45	0.20	0.70	0.77	0.79	0.81	0.87
42	741.585	279.02	0.25	0.72	0.79	0.83	0.82	0.88
43	741.585	281.05	0.30	0.75	0.83	0.87	0.84	0.90
44	741.338	303.14	0.40	0.80	0.88	0.92	1.31	1.45
45	740.632	307.98	0.44	0.85	0.94	0.98	1.50	1.61
46	740.557	311.95	0.45	0.88	0.97	1.02	1.65	1.77
47	740.557	317.24	0.74	0.94	1.04	1.09	1.99	2.14
48	740.336	318.28	0.86	1.03	1.14	1.19	2.03	2.19
49	740.336	319.34	0.86	1.06	1.16	1.22	2.08	2.24
50	740.224	321.48	0.99	1.16	1.27	1.34	2.21	2.37
51	739.176	321.74	1.52	1.62	1.78	1.87	2.26	2.43
52	739.02	324.10	1.90	2.02	2.22	2.33	2.78	2.99
53	739.02	324.48	2.32	2.49	2.74	2.88	2.87	3.08
54	739.019	324.89	2.34	2.48	2.73	2.86	2.90	3.11
55	739.017	326.98	2.37	2.49	2.74	2.88	2.93	3.15
56	739.017	327.48	2.37	2.47	2.72	2.85	2.86	3.07
57	739.312	328.04	2.11	2.22	2.45	2.57	2.67	2.88
58	740.245	329.11	1.14	1.22	1.35	1.41	2.34	2.51
59	740.586	329.79	1.12	1.21	1.33	1.39	2.17	2.33
60	740.586	329.85	1.06	1.14	1.26	1.32	2.16	2.32
61	741.215	329.96	0.88	0.96	1.05	1.11	2.13	2.29
62	741.32	330.48	0.82	0.90	0.99	1.04	2.01	2.17
63	741.32	332.72	0.78	1.01	1.12	1.17	1.73	1.86
64	741.353	333.10	0.76	0.99	1.09	1.14	1.69	1.81
65	741.353	333.22	0.75	0.98	1.07	1.13	1.68	1.80
66	741.385	333.57	0.60	0.78	0.86	0.90	1.66	1.79
67	741.385	333.61	0.58	0.75	0.83	0.87	1.66	1.78
68	741.557	334.91	0.60	0.78	0.86	0.90	1.58	1.70
69	741.557	336.80	0.55	0.66	0.73	0.76	1.48	1.59
70	741.806	337.25	0.52	0.62	0.69	0.72	1.46	1.57
71	741.806	338.94	0.50	0.60	0.66	0.69	1.37	1.51
72	742.328	344.61	0.48	0.58	0.63	0.67	1.18	1.30
73	743.274	357.27	0.42	0.50	0.55	0.58	0.79	0.87
74	743.822	365.54	0.41	0.49	0.54	0.57	0.59	0.64
75	743.731	372.00	0.40	0.48	0.53	0.55	0.56	0.62
76	743.405	374.43	0.40	0.48	0.53	0.55	0.57	0.62
77	743.326	385.01	0.35	0.42	0.46	0.49	0.63	0.69
78	743.326	394.28	0.34	0.37	0.41	0.43	0.60	0.70
79	743.354	404.26	0.33	0.36	0.40	0.42	0.59	0.69

Tabela 21 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1 (3/3)

<b>Point</b>	<b>Terrain (m)</b>	<b>Station (m)</b>	<b>IP TR 2</b>	<b>IP TR 5</b>	<b>IP TR 10</b>	<b>IP TR 25</b>	<b>IP TR 50</b>	<b>IP TR 100</b>
80	743.382	412.74	0.30	0.33	0.36	0.40	0.59	0.69
81	743.411	423.02	0.24	0.26	0.29	0.39	0.59	0.68
82	743.411	423.56	0.23	0.25	0.28	0.38	0.58	0.68
83	743.291	425.29	0.22	0.24	0.27	0.37	0.58	0.68
84	743.278	425.74	0.20	0.22	0.24	0.36	0.58	0.68
85	743.148	434.08	0.18	0.20	0.22	0.35	0.57	0.70
86	743.148	440.47	0.16	0.18	0.18	0.34	0.57	0.70
87	743.303	451.77	0.10	0.11	0.13	0.33	0.57	0.69
88	743.344	463.91	0.09	0.10	0.15	0.32	0.55	0.63
89	743.504	468.21	0.08	0.09	0.18	0.30	0.49	0.61
90	743.504	480.51	0.07	0.08	0.08	0.29	0.45	0.55
91	744.049	495.94	0.06	0.07	0.07	0.28	0.36	0.42
92	744.523	509.25	0.05	0.06	0.06	0.26	0.28	0.33
93	744.523	512.75	0.04	0.04	0.05	0.25	0.24	0.30
94	745.07	513.24	0.04	0.04	0.05	0.13	0.23	0.29
95	745.075	513.71	0.04	0.04	0.05	0.13	0.22	0.29
96	745.62	523.56	0.03	0.03	0.04	0.10	0.18	0.21
97	746.122	523.68	0.03	0.03	0.03	0.09	0.20	0.21
98	746.177	537.99	0.03	0.03	0.03	0.05	0.11	0.12
99	746.667	551.41	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
100	746.667	553.38	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05
101	747.067	566.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
102	747.142	579.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
103	747.526	583.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104	748.016	595.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
105	748.295	601.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106	748.777	601.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
107	748.777	606.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
108	749.617	613.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
109	750.311	624.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
110	751.129	634.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
111	751.129	642.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
112	752.365	652.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
113	754.356	662.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
114	755.581	672.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
115	755.581	681.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
116	757.771	688.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS

**Apêndice VI**

Tabela 22 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1, 2 e 3

<b>Point</b>	<b>Terrain (m)</b>	<b>Station (m)</b>	<b>IP TR 100</b>	<b>IP TR 100 afluente</b>	<b>IP TR 100 barragem</b>
1	761.534	0.00	0.00	0.00	0.00
2	761.314	0.18	0.00	0.00	0.00
3	758.337	1.12	0.00	0.00	0.00
4	757.807	2.80	0.00	0.00	0.00
5	757.423	15.80	0.00	0.00	0.00
6	754.433	18.45	0.00	0.00	0.00
7	752.74	20.50	0.00	0.00	0.00
8	752.562	36.70	0.00	0.00	0.00
9	752.562	46.20	0.00	0.00	0.00
10	752.353	47.40	0.00	0.00	0.00
11	749.034	48.95	0.00	0.00	0.00
12	748.449	71.89	0.00	0.00	0.00
13	748.042	76.35	0.00	0.00	0.00
14	747.044	78.77	0.00	0.02	0.00
15	746.484	81.88	0.00	0.05	0.00
16	746.19	82.11	0.00	0.05	0.00
17	745.874	97.59	0.00	0.05	0.00
18	745.582	105.31	0.02	0.06	0.02
19	745.582	115.27	0.04	0.07	0.05
20	745.08	123.28	0.07	0.09	0.08
21	745.049	134.26	0.12	0.14	0.13
22	744.63	148.43	0.20	0.23	0.21
23	744.366	148.98	0.20	0.24	0.22
24	744.217	158.99	0.26	0.31	0.29
25	743.976	161.76	0.27	0.33	0.30
26	743.976	163.21	0.28	0.34	0.31
27	743.9	174.67	0.34	0.41	0.40
28	743.71	181.58	0.41	0.45	0.42
29	743.645	192.16	0.44	0.49	0.45
30	743.645	200.37	0.47	0.57	0.52
31	743.475	214.74	0.54	0.65	0.60
32	743.069	221.12	0.57	0.69	0.63
33	743.002	226.06	0.62	0.74	0.70
34	743.002	238.30	0.69	0.83	0.76
35	742.982	241.05	0.70	0.85	0.77
36	742.949	247.90	0.75	0.90	0.82
37	742.857	248.47	0.75	0.90	0.83
38	742.843	250.07	0.77	0.92	0.84
39	742.843	251.75	0.77	0.93	0.85

Tabela 22 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1, 2 e 3 (2/3)

<b>Point</b>	<b>Terrain (m)</b>	<b>Station (m)</b>	<b>IP TR 100</b>	<b>IP TR 100 afluente</b>	<b>IP TR 100 barragem</b>
40	742.758	265.04	0.82	0.98	0.90
41	741.786	277.45	0.87	1.05	0.96
42	741.585	279.02	0.88	1.05	0.97
43	741.585	281.05	0.90	1.08	0.99
44	741.338	303.14	1.45	1.75	1.60
45	740.632	307.98	1.61	1.93	1.77
46	740.557	311.95	1.77	2.13	1.95
47	740.557	317.24	2.14	2.56	2.35
48	740.336	318.28	2.19	2.62	2.41
49	740.336	319.34	2.24	2.69	2.46
50	740.224	321.48	2.37	2.85	2.61
51	739.176	321.74	2.43	2.92	2.68
52	739.02	324.10	2.99	3.59	3.29
53	739.02	324.48	3.08	3.70	3.39
54	739.019	324.89	3.11	3.74	3.43
55	739.017	326.98	3.15	3.78	3.47
56	739.017	327.48	3.07	3.69	3.38
57	739.312	328.04	2.88	3.45	3.16
58	740.245	329.11	2.51	3.02	2.77
59	740.586	329.79	2.33	2.80	2.57
60	740.586	329.85	2.32	2.78	2.55
61	741.215	329.96	2.29	2.75	2.52
62	741.32	330.48	2.17	2.60	2.38
63	741.32	332.72	1.86	2.23	2.04
64	741.353	333.10	1.81	2.18	2.00
65	741.353	333.22	1.80	2.16	1.98
66	741.385	333.57	1.79	2.14	1.96
67	741.385	333.61	1.78	2.14	1.96
68	741.557	334.91	1.70	2.04	1.87
69	741.557	336.80	1.59	1.91	1.75
70	741.806	337.25	1.57	1.89	1.73
71	741.806	338.94	1.51	1.81	1.66
72	742.328	344.61	1.30	1.56	1.43
73	743.274	357.27	0.87	1.04	0.95
74	743.822	365.54	0.64	0.77	0.71
75	743.731	372.00	0.62	0.68	0.68
76	743.405	374.43	0.62	0.69	0.69
77	743.326	385.01	0.69	0.76	0.76
78	743.326	394.28	0.70	0.77	0.77
79	743.354	404.26	0.69	0.76	0.76

Tabela 22 – Resultados exportados das simulações do Índice de Perigo – Cenário 1, 2 e 3 (3/3)

<b>Point</b>	<b>Terrain (m)</b>	<b>Station (m)</b>	<b>IP TR 100</b>	<b>IP TR 100 afluente</b>	<b>IP TR 100 barragem</b>
80	743.382	412.74	0.69	0.76	0.76
81	743.411	423.02	0.68	0.75	0.75
82	743.411	423.56	0.68	0.81	0.75
83	743.291	425.29	0.68	0.82	0.75
84	743.278	425.74	0.68	0.82	0.75
85	743.148	434.08	0.70	0.84	0.77
86	743.148	440.47	0.70	0.84	0.77
87	743.303	451.77	0.69	0.83	0.76
88	743.344	463.91	0.63	0.76	0.69
89	743.504	468.21	0.61	0.73	0.67
90	743.504	480.51	0.55	0.66	0.61
91	744.049	495.94	0.42	0.51	0.47
92	744.523	509.25	0.33	0.39	0.36
93	744.523	512.75	0.30	0.36	0.33
94	745.07	513.24	0.29	0.35	0.32
95	745.075	513.71	0.29	0.35	0.32
96	745.62	523.56	0.21	0.26	0.24
97	746.122	523.68	0.21	0.26	0.23
98	746.177	537.99	0.12	0.14	0.13
99	746.667	551.41	0.05	0.07	0.06
100	746.667	553.38	0.05	0.06	0.05
101	747.067	566.73	0.00	0.03	0.04
102	747.142	579.15	0.00	0.02	0.00
103	747.526	583.21	0.00	0.00	0.00
104	748.016	595.47	0.00	0.00	0.00
105	748.295	601.18	0.00	0.00	0.00
106	748.777	601.68	0.00	0.00	0.00
107	748.777	606.88	0.00	0.00	0.00
108	749.617	613.03	0.00	0.00	0.00
109	750.311	624.22	0.00	0.00	0.00
110	751.129	634.61	0.00	0.00	0.00
111	751.129	642.86	0.00	0.00	0.00
112	752.365	652.96	0.00	0.00	0.00
113	754.356	662.35	0.00	0.00	0.00
114	755.581	672.68	0.00	0.00	0.00
115	755.581	681.70	0.00	0.00	0.00
116	757.771	688.66	0.00	0.00	0.00

FONTE: Preparado pela autora a partir do software HEC-RAS