

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Amanda Medeiros de Souza

**Técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio João Gualberto,  
Florianópolis, SC utilizando modelagem (SWMM)**

Florianópolis.

2024.

Amanda Medeiros de Souza

**Técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio João Gualberto,  
Florianópolis, SC utilizando modelagem (SWMM)**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientador: Prof. Dra. Patrícia Kazue Uda

Florianópolis

2024.

Souza, Amanda Medeiros de  
Técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio  
João Gualberto, Florianópolis, SC utilizando modelagem  
(SWMM) / Amanda Medeiros de Souza ; orientadora, Patrícia  
Kazue Uda, 2024.  
80 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Engenharia  
Sanitária e Ambiental. 3. Drenagem Urbana Sustentável. 4.  
Modelagem SWMM. 5. Bacia Hidrográfica. I. Uda, Patrícia  
Kazue. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III.  
Título.

Amanda Medeiros de Souza

**Técnica de Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio João Gualberto,  
Florianópolis, SC utilizando modelagem (SWMM)**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheira Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental

Florianópolis, 27 de julho de 2024.

---

Prof. Bruno Segalla Pizzolatti Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.(a) Patrícia Kazue Uda Dr.(a)  
Orientador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.(a) Alexandra Rodrigues Finotti Dr.(a)  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Paula Lúcia Santana Ms.(a)  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, cuja força e orientação foram fundamentais ao longo desta jornada. Sua presença constante me deu ânimo e clareza para enfrentar os desafios.

Minha gratidão se estende à minha família, que sempre esteve ao meu lado com amor e compreensão. Em especial, agradeço aos meus pais, Clarice e Walmor, por seu apoio incondicional, e aos meus irmãos, Ana, Daniel e Vinicius, por serem pilares de incentivo. Também expresso minha profunda gratidão aos meus primos Hélio, Joel e Leonardo, que contribuíram com sua amizade e apoio.

Um agradecimento especial vai ao meu parceiro Bruno, cujo amor e companheirismo foram essenciais em cada etapa deste trabalho.

Aos meus amigos Graziela, Ana Luiza e Carlos, sou imensamente grata por todo o suporte e pelas memórias que construímos juntos. Aos amigos que fiz durante a graduação, agradeço a presença que tornou essa caminhada mais leve e prazerosa. Os momentos descontraídos com Bruna, Alisson e Aline, regados a cafezinhos, serão sempre lembrados com carinho.

Sou grata pelos bons momentos e pelas colaborações com a Carol, que se tornou um presente valioso da graduação e uma grande amiga. À Beatriz, agradeço pelas videochamadas e pelo apoio constante. À Mariane, minha amiga e colega desde o início da faculdade, e às risadas compartilhadas nos almoços com a Duda, que trouxeram alegria aos meus dias.

Agradeço especialmente à Bruna Piasesk, por todo o conhecimento valioso que contribuiu significativamente para a minha trajetória acadêmica. Aos amigos que fiz na Engevix, especialmente à Maria Natalia, Mônica, Martina, Giovanna, Elisa, Manuela e Gilles, agradeço pelas amizades e pelo aprendizado compartilhado.

Agradeço também às pessoas da EC Projetos, em especial ao Leonardo, Tainara, Lorenzo, Denis, Letícia e Julia, pelo carinho, apoio e ensinamentos. Guardarei todos vocês em meu coração.

Minha orientadora, Patrícia, merece um agradecimento especial por sua paciência e compreensão durante os meses de desenvolvimento deste trabalho.

À mestrande Thays, agradeço o apoio inestimável ao longo desta jornada.

Finalmente, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina e aos professores, cuja dedicação e excelência foram fundamentais para a minha formação e crescimento profissional.

## RESUMO

A urbanização acelerada nas últimas décadas transformou áreas naturais em espaços altamente impermeáveis, resultando em sérios problemas ambientais. O crescimento urbano intenso aumentou o escoamento superficial durante as chuvas e a erosão do solo, evidenciando deficiências no planejamento urbano e infraestrutura inadequada. Isso tem causado enchentes recorrentes, comprometendo a qualidade da água das bacias hidrográficas e afetando negativamente a vida das populações locais. Este estudo foca na sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto, em Florianópolis, SC, utilizando o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) para simular técnicas de drenagem urbana sustentável e analisar seus impactos no escoamento superficial. O objetivo é avaliar como essas técnicas podem mitigar os efeitos da urbanização na região. Inicialmente, foram analisadas as características da bacia, como padrões de precipitação e outros fatores relevantes. O modelo SWMM foi então ajustado com dados locais para garantir a precisão das simulações, sendo então simulados três diferentes cenários para a área de estudo. Os resultados demonstram que a combinação dos LIDs já existentes com a técnica compensatória de bacia de retenção pode reduzir consideravelmente as vazões máximas e o escoamento total, na sub-bacia do rio João Gualberto. A localização estratégica da bacia de retenção se mostrou crucial para maximizar a redução das vazões. No entanto, a persistência de erros de continuidade elevados, com valores que extrapolaram os limites aceitáveis, indica a necessidade urgente de ajustes e calibrações do modelo para melhorar a precisão das simulações. Esses resultados fornecem uma base para futuras ações de planejamento hidrológico, contribuindo para a mitigação de inundações e para promover um desenvolvimento urbano mais sustentável na região. A implementação bem-sucedida de técnicas de drenagem urbana sustentável não só reduz o impacto das chuvas intensas, mas também promove a gestão integrada de recursos hídricos, melhorando a qualidade de vida urbana e preservando ecossistemas.

**Palavras-chave:** Drenagem urbana sustentável. Modelagem SWMM. Bacia Hidrográfica.

## ABSTRACT

Rapid urbanization in recent decades has transformed natural areas into highly impermeable spaces, leading to serious environmental issues. Intense urban growth has increased surface runoff during rainfall and soil erosion, highlighting deficiencies in urban planning and inadequate infrastructure. This has resulted in recurrent floods, compromising water quality in hydrographic basins and negatively affecting local populations. This study focuses on the watershed of the João Gualberto River in Florianópolis, SC, using the SWMM (Storm Water Management Model) to simulate sustainable urban drainage techniques and analyze their impacts on surface runoff. The aim is to evaluate how these techniques can mitigate the effects of urbanization in the region. Initially, basin characteristics such as precipitation patterns and other relevant factors were analyzed. The SWMM model was adjusted with local data to ensure simulation accuracy, testing three different scenarios for the study area. The results demonstrate that combining existing LIDs with a compensatory detention basin can significantly reduce maximum flows and total runoff in the João Gualberto River watershed. The strategic location of the detention basin proved crucial in maximizing flow reduction. However, the persistent high continuity errors, exceeding acceptable limits, highlight the urgent need for adjustments and model calibrations to enhance simulation accuracy. These findings provide a solid foundation for future hydrological planning actions, contributing to flood mitigation and promoting sustainable urban development in the region. The successful implementation of sustainable urban drainage techniques not only reduces the impact of intense rainfall but also promotes integrated water resource management, improving urban quality of life and preserving ecosystems.

**Keywords:** Sustainable urban drainage. SWMM modeling. Hydrographic basin.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pavimento permeável com infiltração total no solo.....	19
Figura 2. Localização da sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto. ....	23
Figura 3. Precipitação média e temperaturas média, máxima e mínima de Florianópolis entre 2001 e 2022. ....	24
Figura 4. Declividade do terreno na área de estudo .....	27
Figura 5. Altimetria do terreno na área de estudo .....	27
Figura 6. Pedologia presente na sub-bacia do rio João Gualberto .....	29
Figura 7. Uso e ocupação do solo na área de estudo.....	31
Figura 8. Aproximação da região do exutório da sub-bacia do rio João Gualberto...	33
Figura 9. Áreas de inundação na UTP 05 – Bacia Lagoa da Conceição.....	35
Figura 10. Técnicas compensatórias presentes na área de estudo. ....	36
Figura 11. Discretização da área de estudo. ....	43
Figura 12. Representação das sub-bacias no SWMM.....	44
Figura 19 . Hidrograma de projeto da área de estudo – TR 50 anos.....	48
Figura 20 Hidrograma de projeto da área de estudo – TR 100 anos.....	49
Figura 13. Chuva de projeto da área de estudo – TR 50 anos.....	50
Figura 14. Chuva de projeto da área de estudo – TR 100 anos.....	50
Figura 15. Chuva de projeto TR de 50 anos inserida no SWMM para os cenários 1, 2 e 3. ....	51
Figura 16. Chuva de projeto TR de 100 anos inserida no SWMM para os cenários 4, 5 e 6. ....	51
Figura 17 . Chuva efetiva da área de estudo – TR 50 anos .....	52
Figura 18 . Chuva efetiva da área de estudo – TR 100 anos .....	53
Figura 21. Seção do rio no exutório da área de estudo.....	54
Figura 22. Bacia de retenção inserida na área de estudo. ....	55
Figura 23. Seção da bacia de retenção.....	56
Figura 24. Relatório do estado da simulação no Cenário 1.....	56
Figura 25. Vazão por trecho no Cenário 1 em (m <sup>3</sup> /s).....	57
Figura 26. Escoamento por sub-bacia no Cenário 1 em (m <sup>3</sup> /s). ....	58



Figura 27. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o Cenário 1. ....	58
Figura 28. Relatório de estado da simulação no Cenário 2.....	59
Figura 29. Vazão por trecho no Cenário 2 em (m <sup>3</sup> /s).....	60
Figura 30. Escoamento por sub-bacia no Cenário 2 em (m <sup>3</sup> /s). ....	61
Figura 31. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o Cenário 2. ....	61
Figura 32. Relatório de estado da simulação no Cenário 3. ....	62
Figura 33. Vazão por trecho no Cenário 3 em (m <sup>3</sup> /s).....	63
Figura 34. Relatório de estado da simulação no Cenário 4. ....	63
Figura 35. Vazão por trecho no Cenário 4 em (m <sup>3</sup> /s).....	64
Figura 36. Escoamento por sub-bacia no Cenário 4 em (m <sup>3</sup> /s). ....	65
Figura 37. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o Cenário 4. ....	65
Figura 38. Relatório de estado da simulação no Cenário 5. ....	66
Figura 39. Vazão por trecho no Cenário 5 em (m <sup>3</sup> /s).....	67
Figura 40. Escoamento por sub-bacia no Cenário 5 em (m <sup>3</sup> /s). ....	68
Figura 41. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m <sup>3</sup> /s) para o Cenário 5. ....	68
Figura 42. Relatório de estado da simulação no Cenário 6. ....	69
Figura 43. Vazão por trecho no Cenário 6 em (m <sup>3</sup> /s).....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Áreas da declividade do terreno na sub-bacia do rio João Gualberto .....	28
Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia de estudo entre os anos de 2000 e 2020 .....	32
Tabela 3. Materiais utilizados nos cenários considerados.....	41
Tabela 4. Dados de entrada para a sub-bacia João Gualberto e para as sub-áreas .....	45
Tabela 5. CN, manning e armazenamento para a sub-bacia João Gualberto e para as sub-áreas .....	46
Tabela 6. Poços de infiltração por sub-bacia.....	51
Tabela 7. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 1. ....	57
Tabela 8. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 1.....	57
Tabela 9. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 2. ....	59
Tabela 10. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 2.....	60
Tabela 11. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 3. ....	62
Tabela 12. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 4. ....	64
Tabela 13. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 4.....	64
Tabela 14. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 5. ....	66
Tabela 15. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 5.....	67
Tabela 16. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 6. ....	69

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AQ	Areias Quartzosas
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DREMAP	Comissão Especial de Estudos de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Florianópolis
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENS	Engenharia Sanitária e Ambiental
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ESD	Escoamento Superficial Direto
JG	Bacia Hidrográfica do Rio João Gualberto
LaHiMar	Laboratório de Hidrologia Marinha
LID	<i>Low Impact Development</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDE	Modelo Digital de Elevação
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrométrico
PVA	Argissolos Vermelho-Amarelos
RQ	Neossolos Quartzarênicos
SIGSC	Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina
SUDs	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
SWMM	Storm Water Management Model
UTP	Unidades Territoriais de Planejamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1	CONCEITOS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	16
<b>3.1.1</b>	<b>Definição de Drenagem Urbana Sustentável.....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Técnicas e práticas de drenagem sustentável.....</b>	<b>17</b>
3.1.2.1	<i>Técnicas de Infiltração .....</i>	19
3.1.2.2	<i>Reutilização de Águas Pluviais .....</i>	20
3.1.2.3	<i>Detenção e Retenção de Água .....</i>	21
3.1.2.4	<i>Gestão Integrada das Águas Pluviais .....</i>	21
3.2	MODELOS HIDROLÓGICOS E SUA APLICAÇÕES .....	22
3.3	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	23
<b>3.3.1</b>	<b>Características físicas e geográficas da Bacia Hidrográfica Rio João Gualberto</b>	<b>23</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Clima e precipitação .....</b>	<b>24</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Altimetria e declividade .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Pedologia.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Hidrogeologia .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.6</b>	<b>Uso e ocupação do solo na região .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.7</b>	<b>Problemas de drenagem enfrentados na região .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.8</b>	<b>Técnicas compensatórias existentes .....</b>	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Período de retorno .....</b>	<b>37</b>

4.1.2	Tempo de concentração.....	37
4.1.3	Hidrograma unitário .....	38
4.1.4	Chuva de projeto.....	39
4.1.5	Chuva efetiva.....	40
4.1.6	Volume de detenção.....	40
4.1.7	Vazão admissível.....	41
4.1.8	Reservatório de detenção .....	41
5	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
5.1	ESTUDO HIDROLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO .....	47
5.1.1	Escolha do período de retorno.....	47
5.1.2	Tempo de concentração.....	47
5.1.3	Hidrograma unitário .....	47
5.1.4	Chuva de projeto.....	49
5.1.5	Chuva efetiva.....	52
5.1.6	Vazão admissível.....	53
5.1.7	Volume de detenção.....	54
5.1.8	Reservatório de detenção .....	55
5.2	RESULTADOS PARA CADA CENÁRIO .....	56
5.2.1	Cenário 1 – TR50 (condições atuais sem LIDs): .....	56
5.2.2	Cenário 2 – TR50 (condições atuais com LIDs existentes): .....	59
5.2.3	Cenário 3 – TR50 (condições atuais com LIDs existentes e bacia de detenção): 62	
5.2.4	Cenário 4 – TR100 (condições atuais sem LIDs): .....	63
5.2.5	Cenário 5 – TR100 (condições atuais com LIDs existentes): .....	66
5.2.6	Cenário 6 – TR100 (condições atuais com LIDs existentes e bacia de detenção): 69	

<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>73</b>
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, não só no Brasil, mas em diversos países em desenvolvimento o processo de urbanização ocorreu de maneira acentuada, mesmo com a presença de Planos Diretores, resultando em um crescimento populacional em áreas antes compostas com vegetação nativa, das quais tiveram alterações nas características da superfície de área ocupada, alteração a infiltração de água no solo e aumentando o escoamento superficial direto (ESD) (TUCCI, 2010).

Por consequência, as redes de drenagem das bacias hidrográficas influenciadas por processos de urbanização necessitam conduzir maiores vazões quando comparadas com condições existentes de pré-urbanização (LUCAS; SOBRINHA; MURUZZI., 2015). Além disso, as bacias ficam sujeitas a problemas como enchentes, erosão do solo, alteração da qualidade da água na bacia e alteração na qualidade de vida da população em relação a sustentabilidade ambiental.

Segundo Pompêo (2000), as enchentes podem ser compreendidas como fenômenos naturais que ocorrem de maneira periódica nos cursos hídricos em decorrência de chuvas intensas que apresentam um grande período de retorno; devido a mudanças no ciclo hidrológico que ocasionam o transbordamento dos cursos d'água em regiões próximas a áreas urbanizada ou também devido a urbanização intensa, que reduz a permeabilidade das áreas.

Diante disso, a drenagem urbana tem o intuito de controlar os possíveis impactos que podem ocorrer devido a regiões com solos altamente impermeabilizados, trazendo medidas de infraestrutura que possam captar e conduzir as precipitações principalmente em áreas urbanizadas. No Brasil, tem-se a cultura higienista, sendo empregada em sua maioria sistemas de drenagem urbana convencionais.

No entanto são cada vez mais frequentes no Brasil eventos de alagamentos e inundações em tempos de cheia, o que mostra que os sistemas de drenagem atualmente implantados não conseguem suportar a demanda. Além disso, a limitada disponibilidade hídrica em algumas bacias hidrográficas, para o atendimento de demandas de abastecimento evidencia que o controle da poluição também faz parte de um problema a ser considerado nos sistemas de drenagem, sendo que os sistemas pluviais podem vir a ser condutores e dispersores de possíveis poluentes nos cursos hídricos (MARTINS, 2012).

Com o passar do tempo, o sistema de drenagem convencional, que previa o sistema de drenagem urbana com captação, condução e descarregamento das águas da chuva, começou a

ser substituído pelo conceito definido como sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDs – *Sustainable Urban Drainage Systems*), os quais preveem ações de armazenamento e infiltração, quando possível (BATTEMARCO *et. al.*, 2018).

Segundo Neto (2019), os sistemas sustentáveis de drenagem urbana apresentam como principal característica o controle do escoamento superficial na fonte, ou seja, o mais próximo possível do local atingido pela precipitação, reduzindo assim o escoamento por meio de tecnologias que auxiliam na evaporação e evapotranspiração, bem como na infiltração no solo e no armazenamento temporário das águas. Esses sistemas sustentáveis, fazem uso de estruturas de controle de águas pluviais em pequenas unidades, reduzindo a necessidade de grandes dispositivos de manejo na calha dos rios, sendo ainda um conceito aplicado na melhoria do ambiente construído e na qualidade da vida humana (REZENDE, 2010).

De acordo com o Diagnóstico Participativo de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de Florianópolis (2019), o setor da drenagem e do manejo das águas fluviais no município de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, apresenta grandes problemas relacionados a carência em instrumentos de planejamento e gestão, juntamente com a insuficiência de recursos e deficiências de estruturas técnico institucionais, falta de rotina e de procedimentos padronizados na execução desses serviços.

Além disso, na sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto, inserida na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, esse problema se estreita ainda mais, visto que a região conta com a falta de infraestrutura de microdrenagem e com a presença de solos altamente impermeáveis. O plano prevê uma taxa máxima de 70% de impermeabilização do solo na área, que já sofre com problemas relacionados a enchentes (DREMAP, 2019).

O crescimento populacional acelerado pela especulação imobiliária, sem o correto acompanhamento do Plano Diretor do município, junto com as limitações de solo e relevo, resulta em uma carência no sistema de esgotamento sanitário da região. A falta de planejamento urbano adequado para a situação local leva à ausência de redes coletoras de esgoto no bairro Rio Vermelho, inserido na sub-bacia do rio João Gualberto, ocasionando um impacto negativo na qualidade de água dos corpos hídricos presentes na bacia.

Atualmente, existem diversas técnicas sustentáveis para a melhoria da qualidade da água e dos sistemas de drenagem das cidades. Diante disso, o presente estudo simulou técnicas de drenagem urbana sustentável utilizando o modelo dinâmico chuva-vazão Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (SWMM – *Storm Water Management Model*), avaliando os impactos na



dinâmica do escoamento superficial com a utilização de técnicas de drenagem urbana sustentável na Bacia Hidrográfica João Gualberto em Florianópolis/SC.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Modelar técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na bacia do rio João Gualberto em Florianópolis/SC, utilizando o modelo dinâmico chuva-vazão Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (SWMM – *Storm Water Management Model*).

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Levantar as características da bacia João Gualberto em Florianópolis/SC.
- Simular escoamento superficial na bacia com SWMM.
- Simular o efeito das técnicas de drenagem urbana sustentável no escoamento superficial da bacia.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 CONCEITOS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL**

#### **3.1.1 Definição de Drenagem Urbana Sustentável**

Ao longo dos anos, o conceito higienista a respeito de drenagem urbana, que se baseia em captação, condução e descarregamento das águas pluviais, se alterou para o conceito de drenagem urbana sustentável, que insere as dimensões de armazenamento e infiltração (BATTEMARCO *et. al.*, 2018) e de evapotranspiração.

Ademais, de acordo com Pompêo (2000), considerando a reconfiguração da dinâmica social é necessário propor uma revisão para considerar a interação entre sistemas urbanos e naturais e buscar soluções mais integradas e sustentáveis.

A microdrenagem abrange todas as estruturas destinadas ao funcionamento das vias e ao acesso às propriedades, como ruas pavimentadas, meios-fios, bueiros e galerias pluviais. Esses elementos têm maior probabilidade de falha durante eventos de precipitação de média intensidade, afetando as vias onde estão instalados. Em contrapartida, a macrodrenagem urbana substitui os cursos d'água naturais e se utiliza de estruturas como canais, túneis, reservatórios para gerenciar grandes volumes de água. Esses sistemas são altamente interligados, o que reduz o risco de falhas significativas e lhes confere uma capacidade de lidar com eventos extremos menos frequentes. Enquanto a microdrenagem atende principalmente às necessidades viárias, a macrodrenagem lida com os impactos da urbanização na bacia hidrográfica (MARTINS, 2012).

Bacias hidrográficas apresentam seus próprios meios naturais de escoamento de água da chuva, como rios, riachos, córregos, áreas alagadas e planícies de inundação, os quais se formaram em decorrência das características físicas locais e funcionam em harmonia com os padrões de precipitação. Entretanto, a partir do avanço da urbanização e ocupação do solo, há um aumento significativo de superfícies impermeáveis em certas áreas, o que modifica a dinâmica ao reduzir a capacidade de absorção da água pelo solo. Diante disso, torna-se imprescindível a implementação de sistemas artificiais para restaurar o controle sobre as águas pluviais (MARTINS, 2012).

Além disso, a falta de água em determinadas áreas em algumas bacias ressalta a importância em reduzir a poluição, que pode espalhar substâncias nocivas nos corpos d'água. Ademais, o aprimoramento das estratégias de gestão dos recursos hídricos, como a criação de regiões de planejamento baseadas na delimitação das bacias hidrográficas e agências reguladoras, possibilitou uma melhora no controle dos impactos nos mananciais, bem como evitou a propagação de danos ao longo das bacias. Isso releva que as intervenções urbanas afetam o meio ambiente aquático e ressalta a importância das medidas compensatórias na elaboração e administração dos planos urbanos (MARTINS, 2012).

### **3.1.2 Técnicas e práticas de drenagem sustentável**

Com a evolução da drenagem para uma abordagem mais ambiental, em contraposição a visão higienista, surgem técnicas inovadoras e sustentáveis que se integram às estruturas convencionais, sendo obtidas soluções complementares ou até mesmo compensatórias possuem como intuito mitigar de maneira sistêmica os impactos gerados pela urbanização, em termos qualitativos e quantitativos (SILVA, 2007).

Essa combinação de técnicas tradicionais com abordagens mais sustentáveis busca não só lidar com os efeitos da urbanização na drenagem, mas também aumentar a resiliência dos sistemas hidrológicos urbanos e a preservação do meio ambiente (SILVA, 2007).

Neste contexto, destacam-se como sistemas frequentemente empregados: pavimentos permeáveis e semipermeáveis, reservatórios de detenção e retenção, trincheiras de infiltração, valas e valetas de infiltração, poços de infiltração, telhados verdes e faixas gramadas (AGOSTINHO, 2012).

Sendo assim, trata-se de tecnologias inovadoras e sustentáveis para lidar com os desafios da drenagem urbana, promovendo uma gestão eficiente das águas pluviais, a redução

do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água, contribuindo para a construção de ambientes urbanos resilientes e ecologicamente equilibrados.

A ideia por trás das soluções de drenagem sustentável e integrar os processos naturais de fluxo da água nas construções e edificações, buscando implementar os seguintes sistemas: armazenamento temporário de água, que visa reter a água para reuso ou para desacelerar o escoamento superficial, impedindo a rápida chegada da água aos cursos d'água, áreas alagadas e zonas suscetíveis a inundações (BENINI, 2015).

A abordagem de infraestrutura verde não visa apenas resolver problemas a partir do processo de infiltração da água no solo, mas também busca maximizar essa técnica de modo a reduzir a dependência de sistemas de drenagem convencionais, dos quais muitas vezes se tornam obsoletos ou até mesmo ineficazes sem a constante expansão (BEZERRA, 2020). Diante dos impactos da drenagem cinza e as vantagens da drenagem verde, é fundamental aprofundar a análise e a exploração de sistemas e técnicas de drenagem urbana sustentável em ambientes urbanos, integrando técnicas de infraestrutura verde de modo a harmonizar diversas funções do espaço urbano, utilizando-se de infraestruturas que não só potencializam a infiltração, mas também podem servir como atributos positivos para o ambiente urbano, como a construção de parques, lados e praças (BEZERRA, 2020).

De acordo com Bezerra (2020), o seu estudo prático e simulado das técnicas de infraestrutura verde revela sua eficácia na resolução de problemas de alagamentos urbanos, com redução notável do escoamento superficial ao empregar jardins de chuva e trincheiras de infiltração. No entanto, são necessárias modelagens adicionais para explorar mais técnicas compensatórias e realizar ajustes paisagísticos nos locais estudados.

A pesquisa destaca a importância de uma melhor integração entre os padrões de ocupação do solo e o ambiente natural, ressaltando a necessidade de diálogo entre esses elementos para alcançar soluções eficazes conforme preconizado pela disciplina da infraestrutura verde e da drenagem sustentável (BEZERRA, 2020).

Como exemplo é possível citar principalmente o telhado verde ou jardim em edifícios, este dispositivo é utilizado para controlar o escoamento de água diretamente na fonte, ajudando a reduzir os impactos da urbanização, especialmente em áreas com alta densidade populacional. Esses telhados são eficientes na diminuição do escoamento, pois aumentam a área verde e facilitam a evapotranspiração das plantas. Além disso, agregam valor comercial aos empreendimentos e promovem condições de vida mais naturais, sendo uma opção

economicamente vantajosa em comparação com sistemas estruturais convencionais (RIGHETTO, 2009).

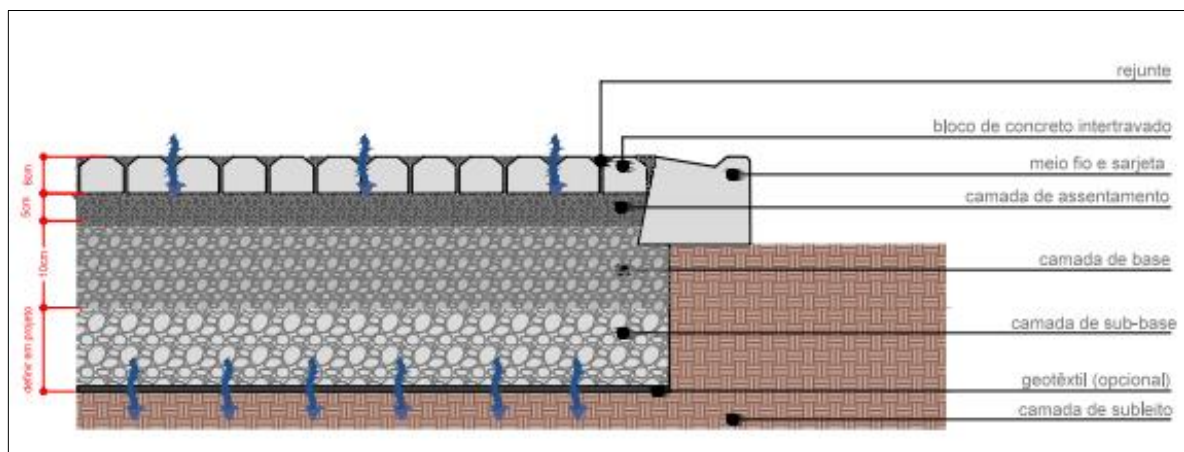
### 3.1.2.1 Técnicas de Infiltração

A implementação de pavimentos que permitem a passagem de água pode ser uma estratégia eficaz para mitigar enchentes urbanas e o acúmulo de água na superfície. Tais pavimentos são projetados com coberturas que absorvem água, retendo-a brevemente e permitindo que parte dela se infiltre no solo (YAZAKI *et al.*, 2016).

Além disso, pavimentos construídos com materiais porosos ajudam a armazenar temporariamente a água da chuva, o que contribui para a diminuição da quantidade e da força com que a água flui, modificando assim a distribuição do escoamento ao longo do tempo. A combinação de uma estrutura porosa com mecanismos que facilitam a entrada de água no solo potencializa esses efeitos, resultando em uma redução significativa do volume de água que eventualmente se tornaria escoamento superficial (YAZAKI *et al.*, 2016)

O pavimento se torna permeável devido à presença de poros que facilitam a infiltração da água. Ademais, ao contrário de uma camada contínua como a manta asfáltica, o pavimento permeável é composto por blocos dispostos de forma a deixar juntas de dilatação entre eles. Essas juntas são preenchidas com areia, o que também permite a infiltração da água (PROENÇA; DE ALMEIRA; BERTICELLI., 2019). A Figura 1 apresenta um pavimento permeável com infiltração total no solo.

**Figura 1. Pavimento permeável com infiltração total no solo**



Fonte: Yazaki (2016).

### *3.1.2.2 Reutilização de Águas Pluviais*

A água é considerada um recurso renovável que, quando reciclada por meio de processos naturais, pode se tornar uma fonte limpa e segura, apesar de poder ter sua qualidade comprometida pela intervenção humana. Uma vez contaminada, a água pode ser tratada e reutilizada para diversas finalidades. A qualidade da água utilizada e o propósito do reuso determinam os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos envolvidos. As possibilidades e métodos potenciais de reuso variam de acordo com as características, condições e fatores específicos de cada localidade (HESPANHOL, 2002).

A reutilização da água pode ser classificada como direta ou indireta, sendo resultado de ações planejadas ou não. O reuso indireto não planejado ocorre quando a água residual é descarregada no meio ambiente e, eventualmente, reutilizada sem controle ou intenção específica a jusante, após passar por processos naturais como diluição e autodepuração no ciclo hidrológico. Por outro lado, o reuso indireto planejado envolve o tratamento dos efluentes antes do descarte planejado em corpos d'água, sendo então reutilizados de maneira controlada a jusante (CETESB, 2005).

Já o reuso direto planejado acontece quando os efluentes tratados são conduzidos diretamente ao local de reuso, como em processos industriais ou irrigação. Em contrapartida, o reuso direto não planejado ocorreria se a água residual fosse descarregada sem tratamento adequado e reutilizada diretamente no ponto de descarga, o que é considerado irregular devido à falta de controle sobre os parâmetros de qualidade da água (CETESB, 2005).

Geralmente não é viável reutilizar uma água residual de forma contínua ou indefinida. A prática de reutilização de efluentes tratados, seja de forma direta ou indireta, serve como um método complementar aos existentes de disposição de água. A quantidade de efluente passível de reutilização é determinada pela disponibilidade e custo da água doce, além dos custos associados ao transporte e tratamento, requisitos regulatórios de qualidade da água e o potencial específico de reutilização da água residuária (METCALF; EDDY; TCHOBANOGLOUS, 1979).

De acordo com Goldenfum (2006), a água da chuva é uma fonte naturalmente pura de água. No entanto, ao entrar em contato com a superfície terrestre, como telhados e outros substratos, pode se contaminar com minerais, bactérias, substâncias orgânicas e outros poluentes. A poeira e a fuligem depositadas nos telhados contribuem para essa contaminação. Resíduos vegetais e animais também adicionam matéria orgânica que pode comprometer a

qualidade da água da chuva. Além disso, o uso generalizado de pesticidas, fertilizantes e produtos químicos industriais e médicos tem impacto na qualidade da água da chuva.

Apesar desses desafios, a água da chuva pode ser uma fonte confiável de água limpa se os sistemas de coleta forem adequadamente construídos e mantidos, e se a água for tratada de acordo com o uso pretendido. A intensidade do tratamento varia de acordo com o destino da água. Para usos potáveis, são necessárias etapas mais rigorosas de filtração e desinfecção, como cloração ou tratamento por ultravioleta. Para usos não potáveis, como irrigação, geralmente apenas a filtração é suficiente (GOLDENFUM, 2006).

### *3.1.2.3 Detenção e Retenção de Água*

Os dispositivos de armazenamento têm o propósito de retardar o escoamento, reduzindo picos nos hidrogramas e restaurando a capacidade de amortecimento perdida devido à impermeabilização da bacia. Esses dispositivos podem ser instalados em diferentes escalas: no nível do lote (conhecidos como on-site), na microdrenagem e na macrodrenagem (CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998). O armazenamento em nível de lote pode ser realizado através de telhados, pequenos reservatórios residenciais, estacionamentos, áreas esportivas, entre outros. Esses reservatórios também podem ser utilizados para armazenar água destinada à irrigação de gramados, lavagem de superfícies ou veículos.

Segundo Poletto e Tassi (2011), uma grande vantagem dos reservatórios de retenção é a possibilidade de instalação em áreas públicas, como praças, parques e quadras esportivas, que continuam a ter sua função original após as chuvas. Por outro lado, os reservatórios de retenção mantêm uma lâmina d'água e possibilitam o controle da qualidade da água, sendo adequados para aplicação em áreas alagadiças ou reservatórios urbanos.

O principal desafio dos reservatórios de retenção é a necessidade de manutenção constante, impondo responsabilidades pesadas ao proprietário. Após eventos de chuva, o escoamento superficial carrega uma variedade de resíduos sólidos e sedimentos presentes na bacia. Por isso, é crucial implementar dispositivos de limpeza periódica dos reservatórios para evitar a perda de sua eficiência em reter o volume originalmente projetado (CRUZ; TUCCI; SILVEIRA, 1998).

### *3.1.2.4 Gestão Integrada das Águas Pluviais*

Segundo Tucci (2005), na atualidade um dos principais problemas de recursos hídricos no país é o impacto causado pelo desenvolvimento urbano, tanto dentro dos municípios quanto externamente, com a exportação de poluição e inundações para áreas rio abaixo das cidades. As

regiões metropolitanas expandem-se para a periferia, onde se localizam os mananciais, intensificando o problema. As cidades continuam buscando novas fontes de água cada vez mais distantes e dispendiosas. A ineficiência pública é evidente em diversos aspectos:

Grandes perdas de água tratada nas redes de distribuição urbana, seja por falhas na medição e cobrança (perdas de faturamento) ou por vazamentos na rede (perdas físicas). Redes de tratamento de esgoto que não coletam quantidade suficiente de esgoto e estações de tratamento operando abaixo da capacidade instalada. Investimentos na ampliação da cobertura de tratamento de esgoto não estão atingindo as Metas do Milênio estabelecidas em fóruns internacionais. Problemas na rede de drenagem pluvial incluem o transporte de esgoto não coletado, contaminação orgânica e de metais, além do uso excessivo de canais e condutos que apenas transferem inundações de um local para outro na cidade, gerando custos insustentáveis para os municípios (TUCCI, 2005).

### 3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS E SUA APLICAÇÕES

Sendo definidos como representações matemáticas do fluxo de água e seus contribuintes diante de superfície ou subsuperfície terrestre, os modelos hidrológicos permitem a simulação de processos físicos nas suas dimensões temporais, tendo grande importância para previsão de cheias ou para estimar a disponibilidade hídrica em momentos de escassez (PULLAR & SPRINGER, 2000).

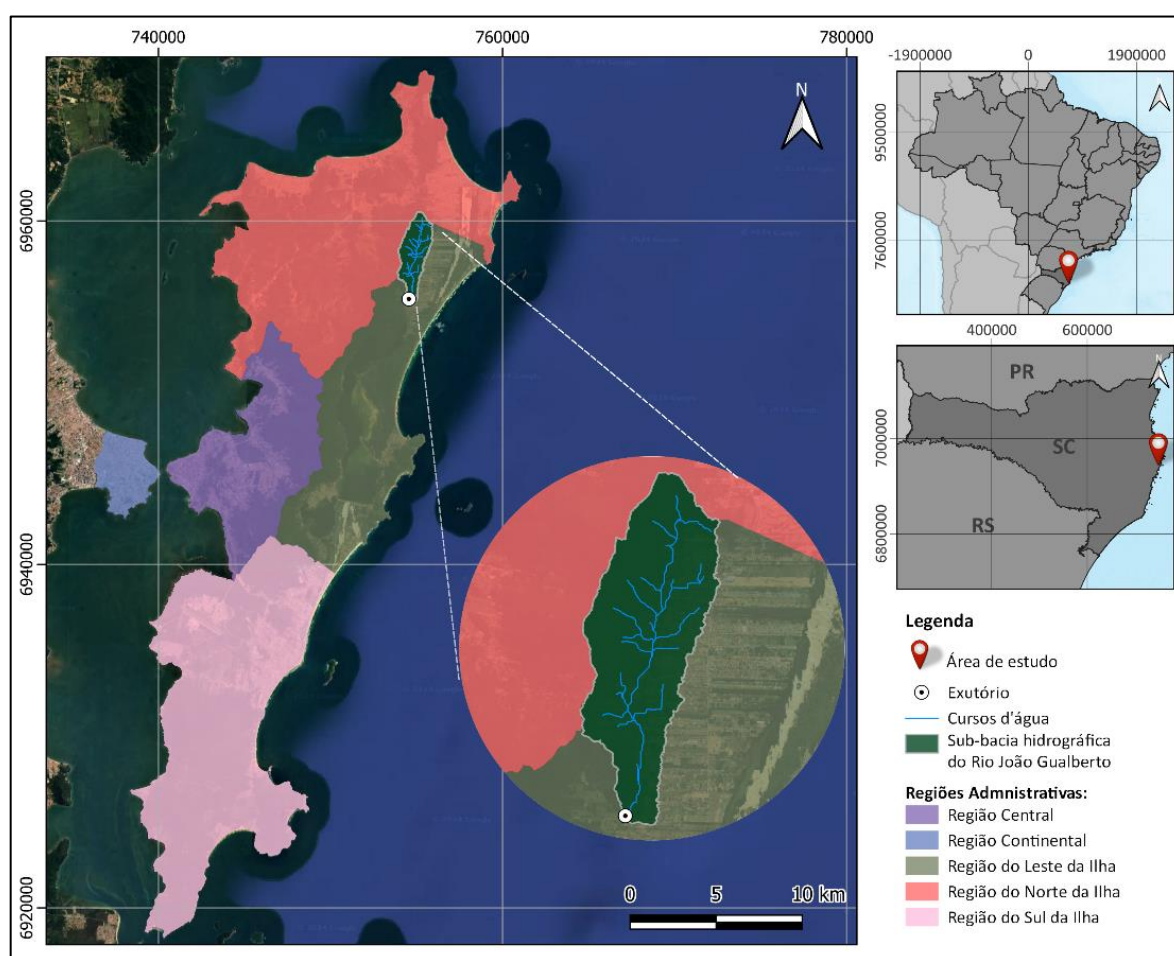
É vasta a quantidade de ferramentas de modelagem existentes para elaboração de métodos sustentáveis de gerenciamento da drenagem urbana, variando de simples modelos de planilhas até a ferramentas mais complexas elaboradas para modelagem em bacias hidrográficas, sendo algumas como RECARGA, P8, SWMM, MUSIC, SUSTAIN e WinSLAMM, ferramentas de modelagem que fornecem resultados mais precisos no que se refere ao escoamento. Sendo ainda possível indicar que para o gerenciamento de águas pluviais, o SWMM, em comparação aos demais pode ser utilizado em projetos de grande escala, mais complexos, incluindo também um projeto detalhado de drenagem urbana sustentável. Ademais, quando comparada a precisão, os algoritmos e as escalas, o SWMM tende a ser uma das ferramentas mais sofisticadas relacionadas a modelagem da vazão, qualidade e desempenho das medidas de gerenciamento de águas pluviais sustentáveis (NETO, 2019).

### 3.3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.3.1 Características físicas e geográficas da Bacia Hidrográfica Rio João Gualberto

Segundo Kern (2019), a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição está localizada na parte central-leste da Ilha de Santa Catarina, com uma área total da bacia de 75,5 km<sup>2</sup>. Na bacia está inserida a sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto, contando com uma área de 9,9 km<sup>2</sup>, compondo assim, 13% da área total da bacia. A área de estudo possui 6,14 km<sup>2</sup> da sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto, sendo apresentada na Figura 2, localizada nas coordenadas em UTM Fuso 22 S: 6955496 N, 754609 L.

Figura 2. Localização da sub-bacia hidrográfica do Rio João Gualberto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As sub-bacias hidrográficas do rio João Gualberto e do Rio Vermelho, localizadas na região norte da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, em relação ao contexto hidrológico, são responsáveis de cerca de 24% de toda a descarga recebida pela lagoa em eventos de



precipitação. Entre os 60 corpos hídricos que fornecem água ao corpo lagunar, o Rio João Gualberto Soares é o seu maior contribuinte (BIER, 2013).

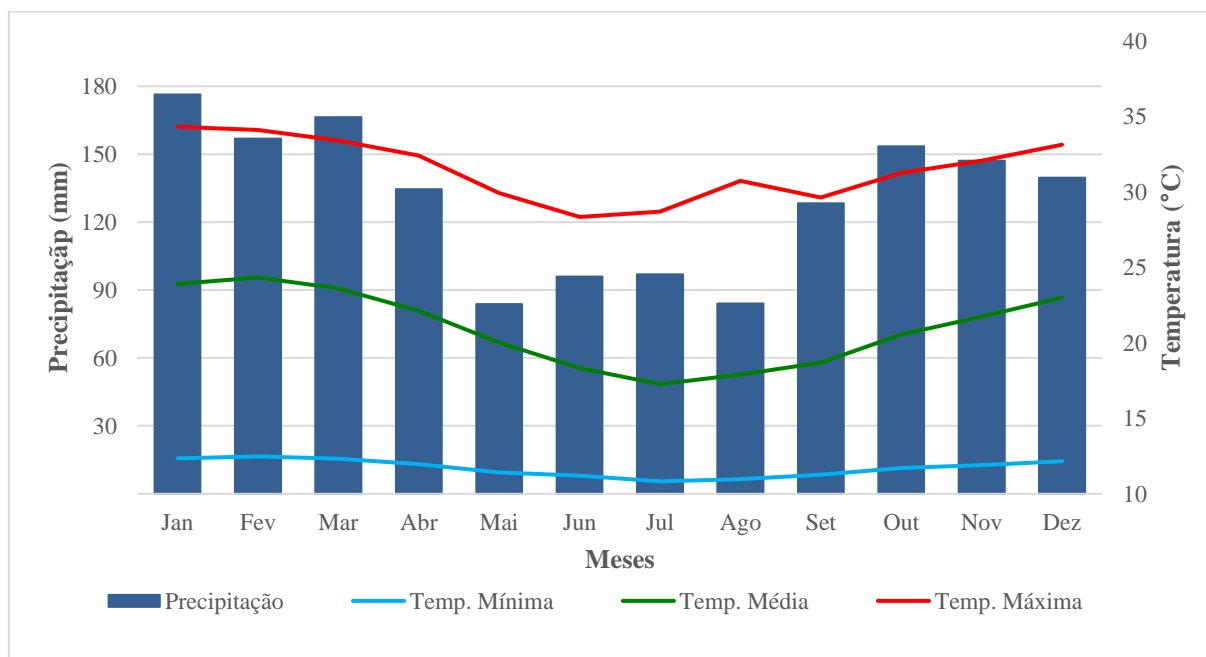
### 3.3.2 Clima e precipitação

A região sul do Brasil é uma das áreas mais chuvosas do mundo. O clima subtropical nesta região resulta em uma significativa variação de temperatura, com os litorais de Santa Catarina e Paraná tendo temperaturas amenas durante o inverno. De acordo com Maraslis (2022), a região de estudo recebe precipitações consideráveis ao longo de todo o ano, mas a intensidade desses fenômenos apresentam algumas flutuações.

A classificação de Köppen, ou Cfa, a cidade de Florianópolis/SC está inserida em uma zona de clima subtropical (mesotérmico úmido e verão quente), marcado pela amplitude térmica. A média das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais e a média acumulada mensal de precipitação o município entre o período dos anos de 2001 a 2022, são apresentadas na Figura 3, conforme dados obtidos da Estação 1006:Florianópolis – Cetre/Epagri.

É possível notar, através da linha verde, que a temperatura média se mantém relativamente estável ao longo do ano, variando apenas cerca de 7,1°C entre os meses. No entanto, a diferença entre os valores máximos e mínimos mensais é significativamente maior, com uma média de 20,1°C. Isso evidencia a ampla amplitude térmica que caracteriza o clima diário da cidade de Florianópolis.

**Figura 3. Precipitação média e temperaturas média, máxima e mínima de Florianópolis entre 2001 e 2022.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ainda na análise das temperaturas foi possível observar a média de 24°C no verão e a média de 18°C no inverno. Sendo o mês de julho o mês mais frio da região de Florianópolis, com uma média em suas temperaturas mínimas de 5,5 °C. Para as médias máximas, o mês de janeiro apresentou o maior valor entre os meses mais quentes, com uma temperatura de 34,3°C.

Em relação aos dados de precipitação para Florianópolis, apresentados na Figura 3, é possível notar variações sazonais, sendo o inverno geralmente mais seco do que as outras estações, com valores de precipitação acumulada por mês abaixo de 100 mm. Já o mês de janeiro, por outro lado, apresentou as maiores precipitações durante o período analisado, com médias acumuladas de 176 mm.

A análise da Figura 3 destaca claramente a variação sazonal das chuvas, similar ao que foi observado na análise das temperaturas. Isso significa que as maiores chuvas ocorrem nos meses mais quentes, enquanto os meses mais frios registram médias mensais menores. Os dados coletados também mostram que a média anual de precipitação para Florianópolis é um pouco acima de 1500 mm, corroborando com o estudo de Limberger e Silva (2016).

### **3.3.3 Altimetria e declividade**

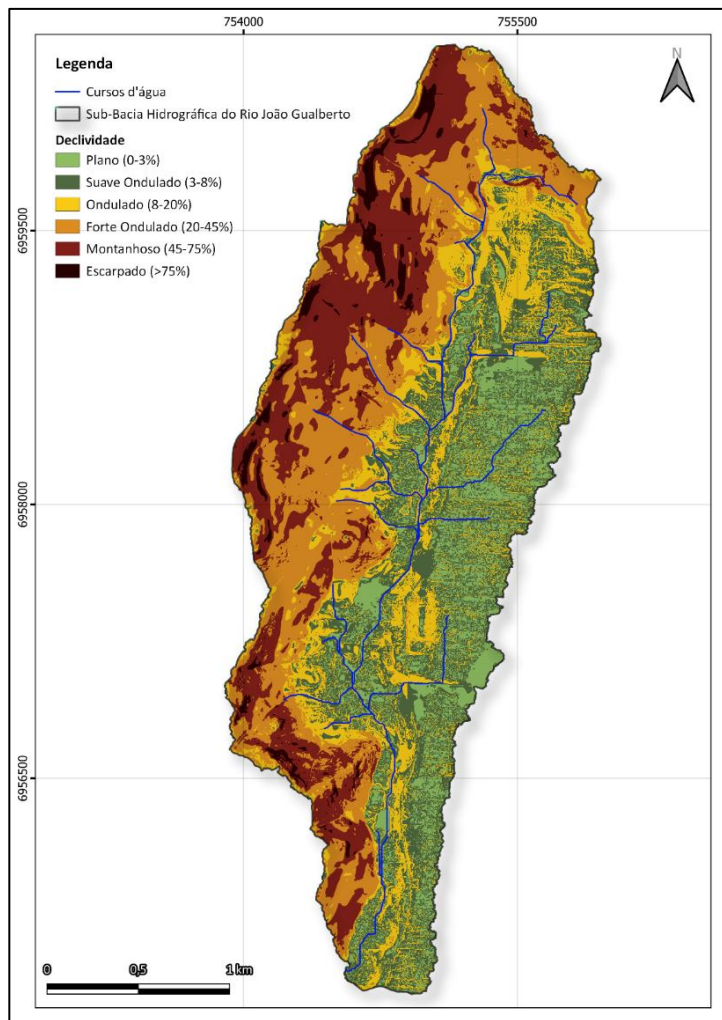
Na área de estudo que compreende a sub-bacia hidrográfica do rio João Gualberto, observa-se que as altitudes predominantes geralmente não ultrapassam os 20 (vinte) metros. No entanto, na porção ocidental mais ampla da região investigada, devido à presença de topos de morros, as altitudes podem alcançar consideravelmente maiores, atingindo até 440 (quatrocentos e quarenta) metros acima do nível do mar. Essa variação altimétrica substancial é significativa para entender a topografia e a geografia da área em estudo, influenciando diversos aspectos, desde a hidrologia até o uso do solo e a distribuição de habitats naturais.

As regiões de terreno plano, onde as elevações são menores que 20 (vinte) metros, caracterizam a parte central e leste da área de estudo. Essas áreas são facilmente identificadas pela presença de solos arenosos ou argilosos cobertos por vegetação, e uma densa presença humana. Por outro lado, a oeste da área delimitada para análise, encontramos as formações rochosas maciças da Ilha de Santa Catarina, onde se destaca o Morro do Bom Jesus, cuja altitude chega a 395 (trezentos e noventa e cinco) metros.

A análise minuciosa da altitude e declividade do terreno é essencial para compreender os padrões naturais e a dinâmica urbana em áreas específicas. Por isso, na Figura 4, é apresentado o mapa detalhado de elevação, criado a partir de dados do Modelo Digital de

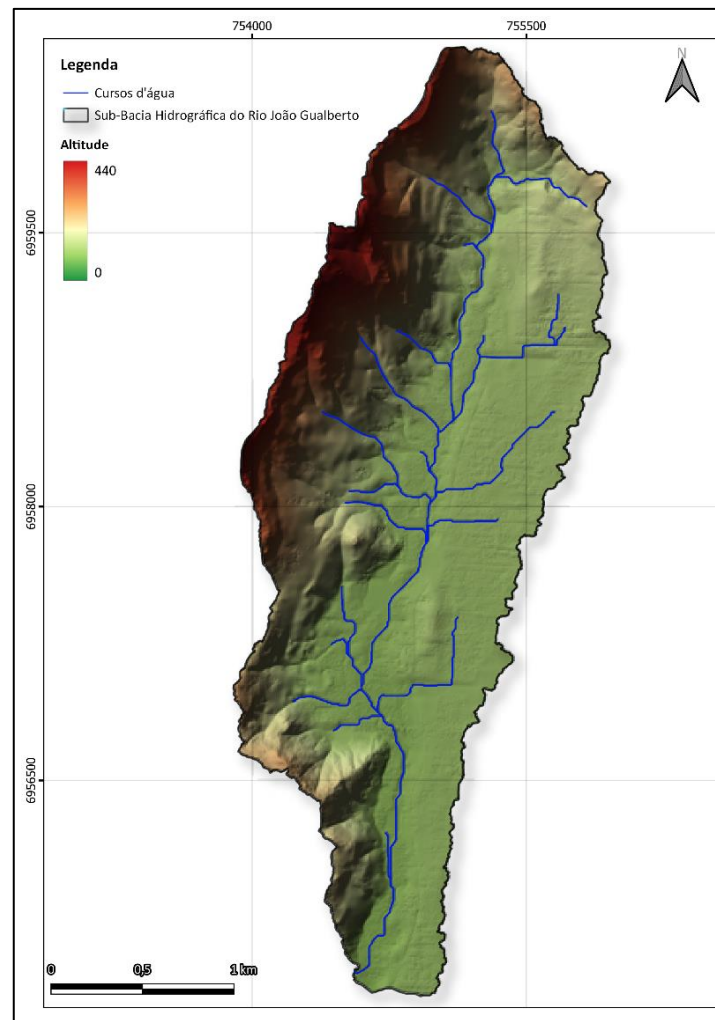
Elevação (MDE) com uma resolução de 5 metros, obtidos através do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC). Além disso, na Figura 5 é apresentado o mapa que mostra a declividade do terreno, elaborado com base em informações fornecidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), datadas de 1979. Esses mapas fornecem uma visão completa da forma física do terreno, o que ajuda na formulação de estratégias relacionadas ao planejamento urbano, conservação do meio ambiente e gestão sustentável dos recursos naturais.

**Figura 4. Declividade do terreno na área de estudo**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 5. Altimetria do terreno na área de estudo**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A topografia da região está ligada às mudanças de altitude, sendo possível notar pela declividade que cerca de metade da área da região exibe um relevo variando de levemente a fortemente ondulado, como observado na Figura 5 e na análise detalhada fornecida na Tabela 1 subsequente. Por outro lado, é possível observar que as áreas com uma inclinação de terreno inferior a 3% estão predominantemente localizadas na porção centro-sul da região, acompanhando o curso do Rio João Gualberto até sua saída da área de estudo.

**Tabela 1. Áreas da declividade do terreno na sub-bacia do rio João Gualberto**

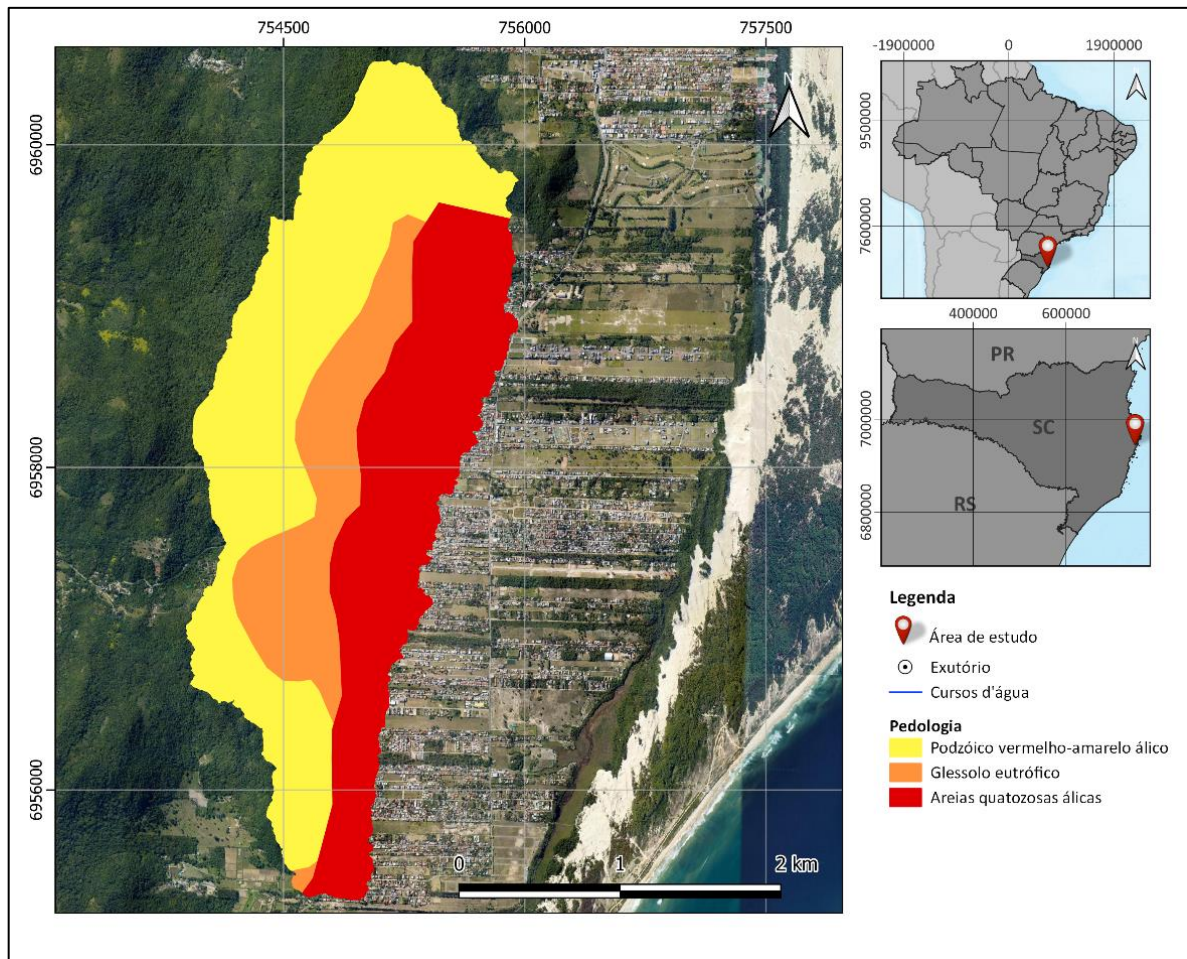
<b>Classe de relevo (Embrapa, 1969)</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual (%)</b>
Plano	0,83	13,64
Suave Ondulado	1,38	22,61
Ondulado	1,13	18,43
Forte Ondulado	1,47	24,08
Montanhoso	1,15	18,88
Escarpado	0,14	2,36

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### **3.3.4 Pedologia**

A área de estudo é composta em sua maioria por podzóico vermelho-amarelo, representando cerca de 46,9% da região, seguido por areias quartozas álicas, sendo cerca de 34%, localizadas na área mais plana e urbanizada da bacia, o que garante uma taxa de infiltração satisfatória. da região. A bacia ainda conta com o componente geológico gleissolo, em 21,4% da área de estudo. A visualização da pedologia pode ser observada na Figura 6, com base no mapeamento dos recursos naturais do Brasil, do tema pedologia na escala de 1:250.000, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, versão de 2023. Em relação aos argisolos, estes geralmente contam com profundidades variando até 1,5 m, das quais junto com as ondulações da zona oeste da área de estudo favorecem o escoamento superficial na área da bacia hidrográfica (MARASLIS, 2022; KERN, 2019).

**Figura 6. Pedologia presente na sub-bacia do rio João Gualberto**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2021), as areias quartzosas (AQ) geralmente, solos surgem de depósitos arenosos e têm uma textura predominantemente de areia ou areia franca, alcançando pelo menos 2 (dois) metros de profundidade. Eles são compostos principalmente por grãos de quartzo e têm poucos minerais primários que resistem ao intemperismo. Em relevo suave-ondulado (entre 3% e 8%) são altamente suscetíveis a processos erosivos.

### **3.3.5 Hidrogeologia**

Na área em estudo, há quatro aquíferos distintos: Aquífero Ilha, Aquífero Conceição, Aquífero Rio Vermelho e Aquífero Ingleses. Na parte oeste, o Aquífero Ilha é predominante, caracterizado por rochas altamente fraturadas. Isso resulta em uma infiltração significativa nas partes mais altas dos morros, onde a cobertura do solo é menor e as inclinações são suaves,

enquanto o escoamento é mais evidente nas encostas devido às declividades mais acentuadas (GUEDES JR, 1999 apud KERN, 2022).

Os outros três aquíferos estão localizados em áreas de relevo menos acidentado e possuem lençóis sedimentares altamente permeáveis. A cobertura de solo sobre esses aquíferos é fina ou ausente, permitindo recargas diretas da superfície e das chuvas, além da presença de vários poços para abastecimento de água (GUEDES JR, 1999 apud KERN, 2022).

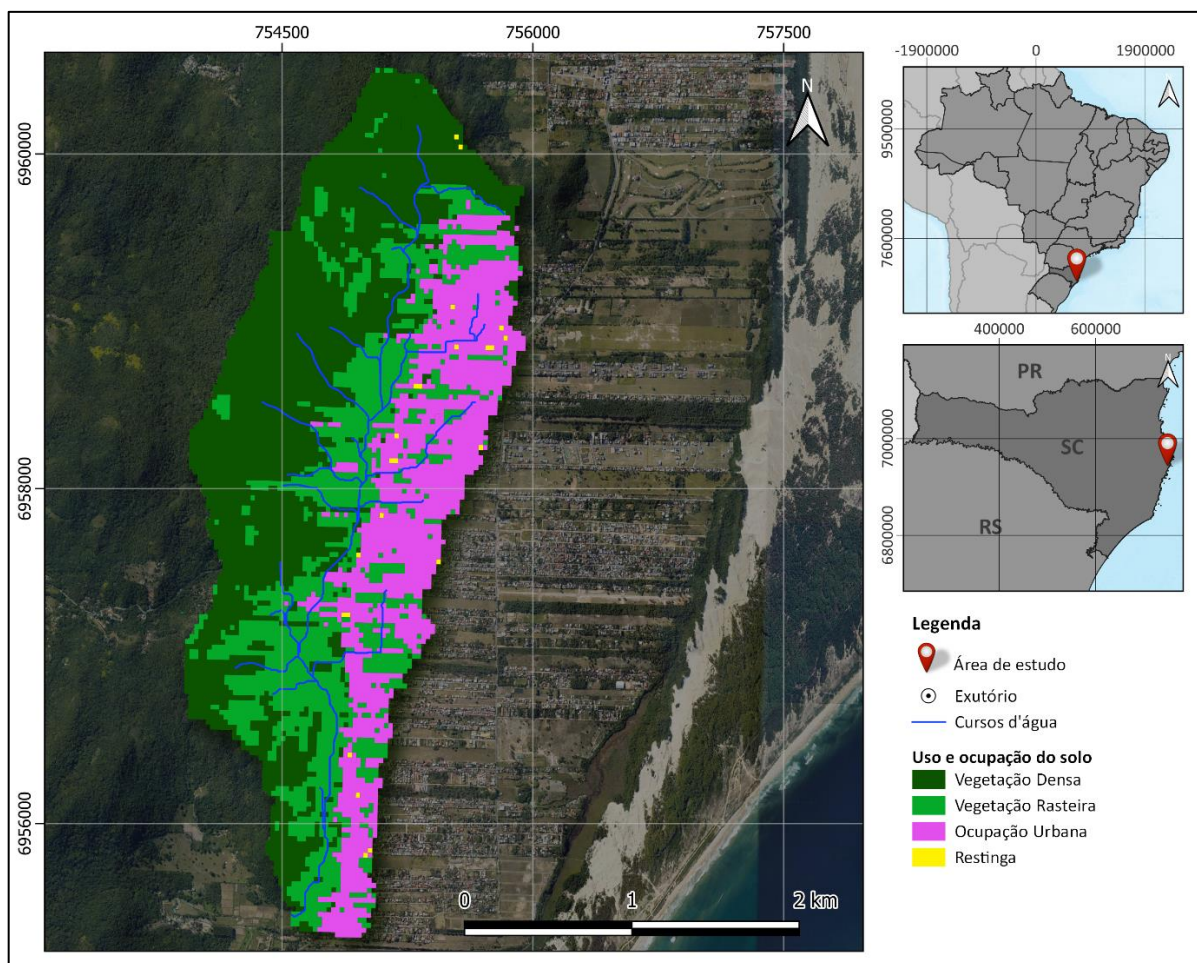
### **3.3.6 Uso e ocupação do solo na região**

O uso e ocupação do solo tem um impacto significativo no escoamento de água na superfície, bem como no transporte de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes para os corpos d'água. Isso pode levar a mudanças na qualidade e quantidade de água disponível (KERN, 2019).

De acordo com Luiz *et. al.* (2019), nos últimos anos, houve um rápido aumento na procura por habitações em Florianópolis, especialmente após a década de 1990. As encostas das colinas próximas ao centro da cidade começaram a ser ocupadas de maneira improvisada, o que gerou diversos problemas para os moradores. Essas áreas estavam em equilíbrio devido à cobertura vegetal da mata atlântica em processo de regeneração.

A Figura 7 apresenta o uso e ocupação do solo presente na sub-bacia hidrográfica do rio João Gualberto. É possível observar uma grande presença na bacia de infraestrutura urbana, seguida de vegetação densa nas regiões de maior elevação e menor urbanização.

Figura 7. Uso e ocupação do solo na área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

De acordo com Maraslis (2022), nos últimos 20 anos, a expansão da ocupação urbana ocorreu principalmente com a construção de residências unifamiliares de um ou dois pavimentos. Em 2010, a área coberta por telhados na região de estudo era superior a 436 mil metros quadrados. Considerando o crescimento urbano de 75% na sub-bacia do rio João Gualberto entre 2010 e 2020, estima-se que a área coberta por telhados na região de estudo em 2020 teria ultrapassado os 763 mil metros quadrados.

Ademais, a Tabela 2 apresenta os percentuais de uso de ocupação do solo na sub-bacia entre os anos de 2000 e 2020, na qual apresentou um grande crescimento populacional no período (MARASLIS, 2022).



**Tabela 2. Classes de uso e ocupação do solo na sub-bacia de estudo entre os anos de 2000 e 2020**

Ano/ Uso do solo	Vegetação densa		Vegetação rasteira		Área urbana	
	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>
2000	74	7,38	19	1,91	6	0,63
2010	62	6,16	25	2,53	12	1,21
2020	52	5,20	27	2,66	21	2,04

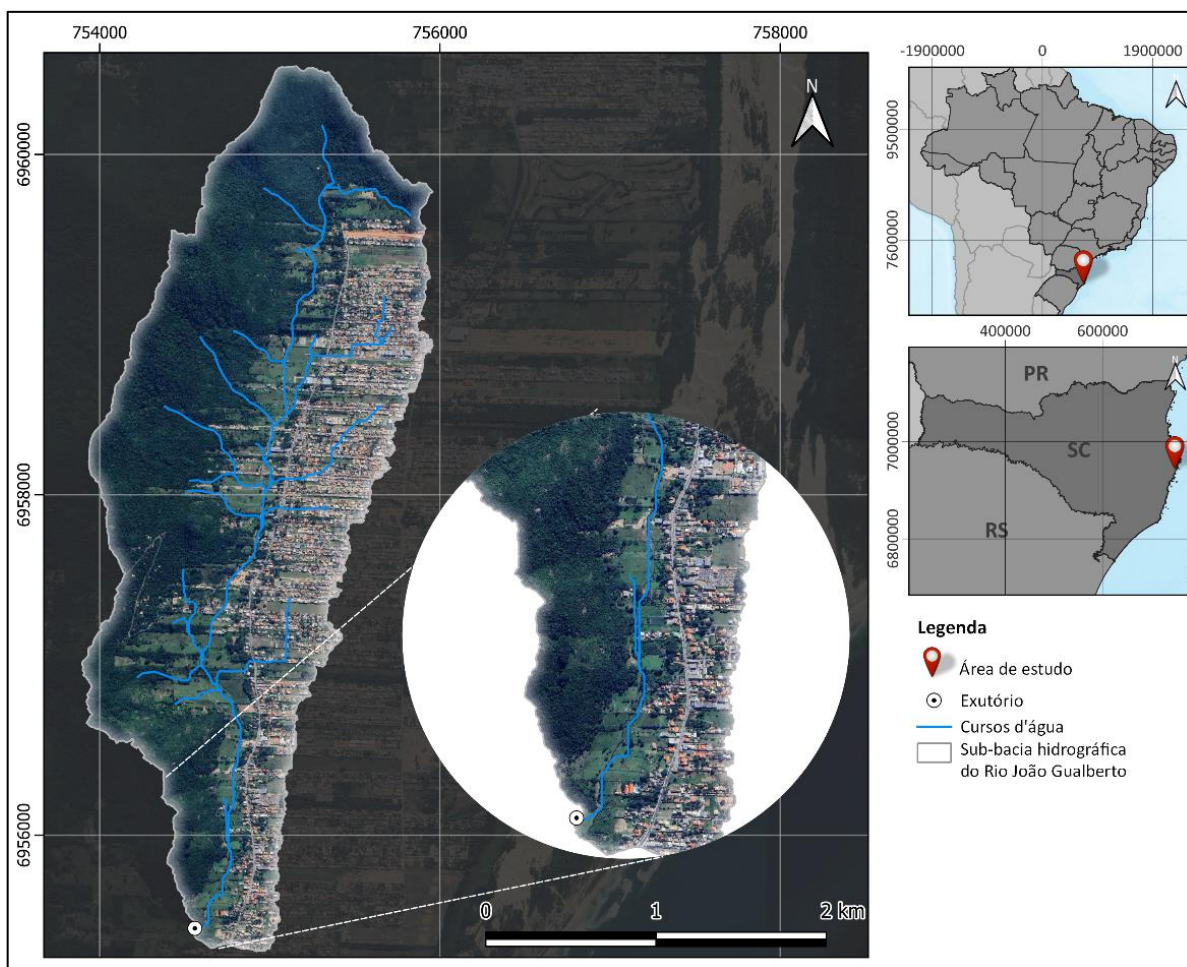
Fonte: Adaptado de Maraslis (2022).

Na Tabela 2 apresentada acima fica clara acelerada expansão da ocupação urbana em contraste com as áreas de Floresta Ombrófila Densa, que predominam na Ilha de Santa Catarina. Em 2000, a vegetação densa cobria 74% da sub-bacia, enquanto as áreas urbanas representavam apenas 6% do solo. No entanto, em 2020, houve um aumento significativo na área urbana, que passou a ocupar 21% do território em 20 anos, resultando na conversão de áreas preservadas em vegetação rasteira.

Cabe mencionar, que segundo Maraslis (2022), ao longo das margens do Rio João Gualberto e seus afluentes, predominam as formações de vegetação rasteira. A mudança da vegetação densa para a vegetação rasteira contribui negativamente para a qualidade da água dos corpos hídricos, uma vez que expõe essas áreas ao assoreamento, à deposição de resíduos sólidos e ao lançamento direto de efluentes líquidos, entre outros impactos.

Apesar disso, a presença predominante de áreas verdes ao redor do rio em comparação com a ocupação urbana, especialmente nos últimos 1.500 metros antes do ponto em questão, oferece uma oportunidade favorável para a implementação de técnicas de drenagem urbana *offline*, como parques lineares e bacias de retenção. A Figura 8 mostra a distribuição do uso do solo na parte inferior do recorte da área de estudo, destacando a presença de áreas verdes ao longo do corpo hídrico e nas proximidades do exutório.

Figura 8. Aproximação da região do exutório da sub-bacia do rio João Gualberto



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 3.3.7 Problemas de drenagem enfrentados na região

No município de Florianópolis foram criadas Unidades Territoriais de Planejamento (UTP), das quais são delimitadas a partir dos limites das bacias hidrográficas presentes no município, com a intenção de realizar o seu diagnóstico, análise e planejamento para uma gestão que considera a hidrologia da região. A sub-bacia do Rio João Gualberto, está inserida na UTP 05 – Bacia Lagoa da Conceição.

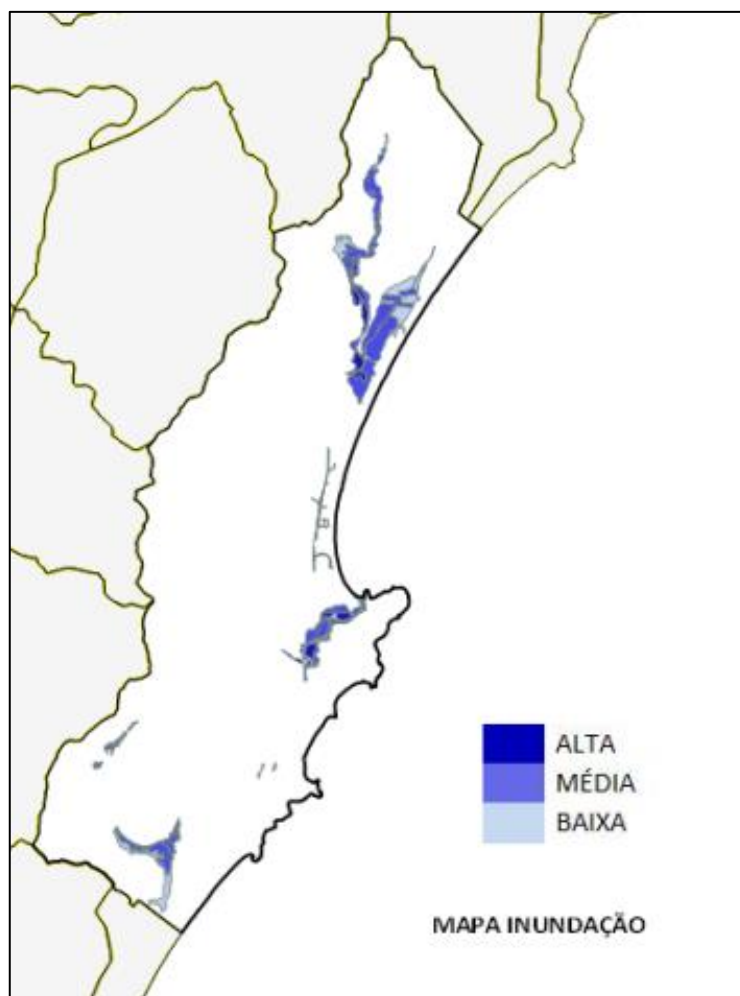
De acordo com o Diagnóstico Participativo de Drenagem Urbana de Florianópolis – DREMAP (2019), esta unidade conta com as localidades da Lagoa da Conceição, Barra da Lagoa e parte sul Rio Vermelho e enfrenta uma intensa pressão imobiliária sobre suas áreas de conservação, incluindo o Parque Estadual do Rio Vermelho, o Parque Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição e o Parque Municipal do Maciço da Costeira.

A macrodrenagem da região é composta por diversos canais e cursos d'água. O Canal da Barra da Lagoa conecta a laguna ao oceano, afetado pela maré em toda sua extensão. O Canal da Avenida das Rendeiras deságua na Lagoa da Conceição e é influenciado pela maré apenas em áreas urbanas. O Córrego da Lagoa e o Rio Capivaras também deságuam na Lagoa, com este último sofrendo influência da maré em parte de seu curso. Já a microdrenagem apresenta-se em todas as vias pavimentadas, no entanto, não possuem cadastro junto a prefeitura (DREMAP, 2019).

Em relação aos problemas existentes na UTP 05, o diagnóstico técnico apontou 10 (dez) áreas alagadas, sendo 03 (três) na sub-bacia do Rio João Gualberto Soares. Já o diagnóstico participativo identificou 46 (quarenta e seis) pontos alagados na UTP Bacia Lagoa da Conceição, com 25 (vinte e cinco) deles localizados no bairro São João do Rio Vermelho, onde está situada a área em análise.

Cabe mencionar que a maioria dos problemas ocorre em chuvas intensas devido à rede de microdrenagem subdimensionada e precária, construções ilegais, bloqueios e falta de consciência ambiental. Durante a ocorrência de alagamentos, os moradores enfrentam dificuldades como restrições na locomoção, risco de doenças, maus odores e danos materiais. O mapa de inundações da UTP de interesse é apresentado na Figura 9.

**Figura 9. Áreas de inundação na UTP 05 – Bacia Lagoa da Conceição**

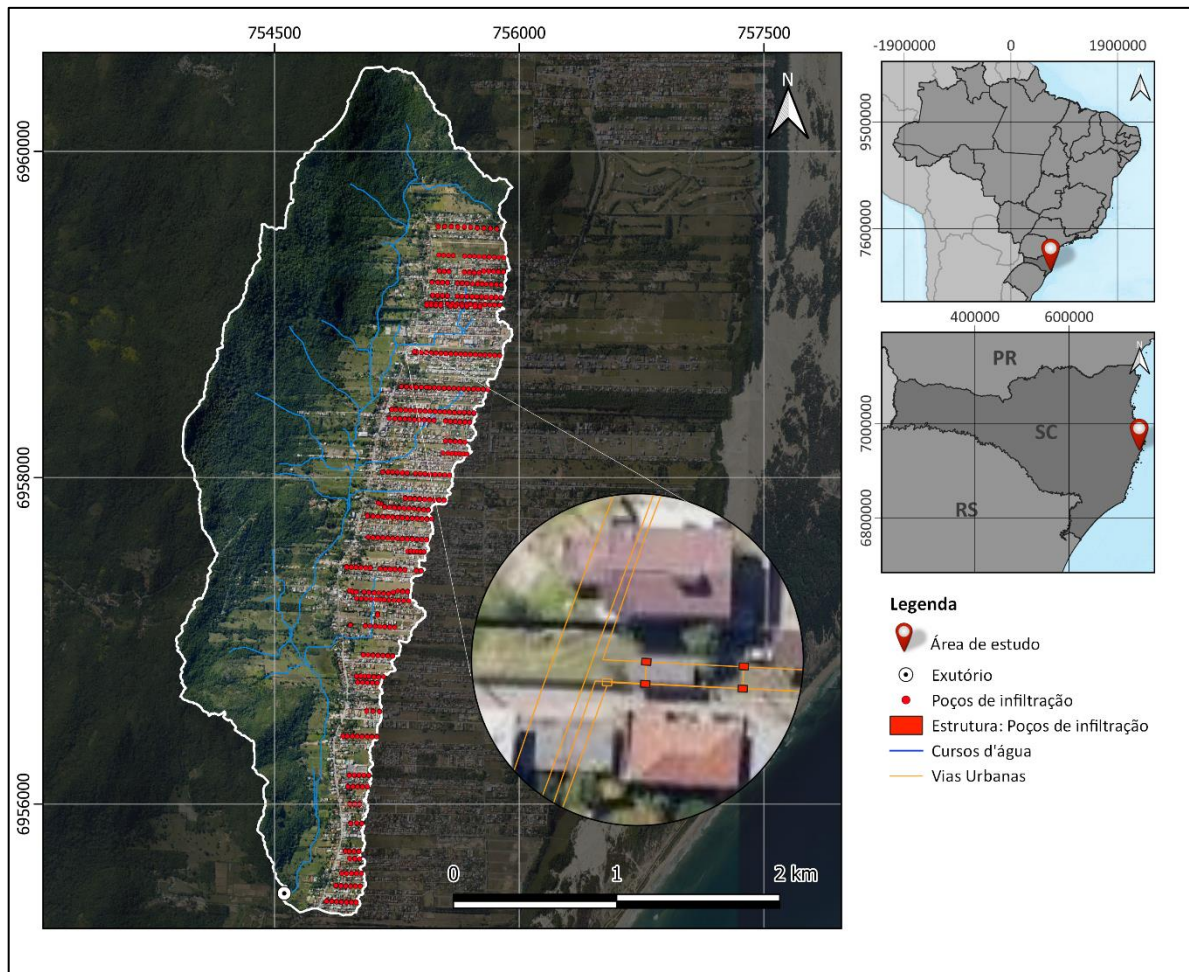


Fonte: Diagnóstico Participativo de Drenagem Urbana de Florianópolis (2019).

### **3.3.8 Técnicas compensatórias existentes**

Em relação às técnicas compensatórias existentes na bacia, foram observados aproximadamente 728 poços de infiltração na área de estudo. Esses poços são instalados ao longo da largura das servidões, com um poço de infiltração em cada lado da servidão. Cada poço possui cerca de 1,30 m de comprimento por 1,0 m de largura, conforme os dados extraídos do Qgis (CAPRARIO *et. al*, 2021). Embora apresentem dimensões relativamente pequenas, a grande quantidade de poços de infiltração faz deles uma técnica compensatória de significativa importância para a bacia, essas estruturas contam com cerca de 1,00 m de altura. A Figura 10 apresenta a visualização das estruturas na área de estudo, extraídas do Cadastro Técnico de Drenagem de Águas Pluviais do município de Florianópolis (2021).

Figura 10. Técnicas compensatórias presentes na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

#### 4 METODOLOGIA

Considerando atingir o objetivo geral deste trabalho, que é modelar técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na bacia do rio João Gualberto em Florianópolis/SC, utilizando o modelo dinâmico de chuva-vazão SWMM (*Storm Water Management Model*), foram realizadas diversas etapas metodológicas estruturadas em seis cenários de simulação.

O primeiro passo envolveu o levantamento das características da bacia do rio João Gualberto, incluindo dados topográficos, hidrológicos e de uso do solo. Dados coletados em campo, como profundidade da água, velocidade do fluxo, largura dos segmentos, área da seção transversal, vazão unitária e vazão total, foram utilizados para ajustar o escoamento superficial da bacia no SWMM, garantindo assim, um modelo mais preciso quanto ao comportamento hidrológico da bacia.

Em relação aos cenários simulados, estes tiveram o objetivo de permitir avaliar a situação da bacia sem medidas compensatórias, com os LIDs existentes (do conceito de *Low Impact Development*, em português, Desenvolvimento de Impacto Reduzido) e com a colocação de uma medida compensatória do tipo bacia de detenção.

#### 4.1.1 Período de retorno

O período de retorno escolhido para o dimensionamento da bacia de detenção foi definido de acordo com o manual da DAEE/CETESB (1980) e estudos mais recentes como o de Baptista *et al.* (2011), que estabelecem tempos de retorno associados ao tipo de ocupação e finalidade das estruturas de drenagem, como estruturas de drenagem urbana sustentável.

Para a definição do período de retorno (T), por se tratar de macrodrenagem deve ser considerado o intervalo entre 50 e 100 anos (DAEE/CETESB, 1980). Ademais, quando se tratar de drenagem urbana juntamente com estruturas compensatórias com a finalidade de favorecer o armazenamento de águas excedentes geradas pela impermeabilização, deve-se adotar um período de retorno em um intervalo de 1 a 50 anos (BAPTISTA, NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

#### 4.1.2 Tempo de concentração

De acordo com Winkler (2009), o tempo de concentração ( $t_c$ ) pode ser definido como o período necessário para que toda a área de uma bacia hidrográfica comece a contribuir para o escoamento superficial no exutório. A determinação do tempo de concentração ( $t_c$ ) é um parâmetro fundamental, pois influencia diretamente a capacidade de contenção de cheias em bacias hidrográficas. No entanto, a falta de dados de campo em muitos estudos de drenagem urbana levou ao desenvolvimento de métodos para realização da sua estimativa. Devido a confiabilidade e baixa complexidade, o tempo de concentração foi determinado pelos métodos empíricos Kirpich, Dooge, Carter, Ven Te Chow e Picking, dos quais são apresentados na equação (1), (2), (3), (4) e (5), respectivamente.

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H}\right) \times 0,385 \quad (1)$$

$$t_c = 21,88 \times \left(\frac{A^{0,41}}{S^{0,17}}\right) \quad (2)$$

$$t_c = 5,862 \times \left(\frac{L^{0,6}}{S^{0,3}}\right) \quad (3)$$

$$t_c = 0,160 \times \left( \frac{L^{0,64}}{S^{0,32}} \right) \quad (4)$$

$$t_c = 0,0883 \times \left( \frac{L^{0,667}}{S^{0,333}} \right) \quad (5)$$

Onde:  $t_c$  = tempo de concentração (min);

$L$  = distância máxima percorrida pela água (km);

$H$  = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório (m);

$A$  = área de contribuição da bacia (km<sup>2</sup>);

$S$  = declividade média do talvegue (m/m).

A distância máxima percorrida pela água e a área de contribuição da bacia foram obtidas através da tabela de atributos do *shapefile* dos cursos de água e do *shapefile* da bacia hidrográfica inseridos no *software* QGIS. Já a diferença de altura do rio principal foi obtida por meio do complemento 'Profile tool', também presente no *software* QGIS.

#### 4.1.3 Hidrograma unitário

Devido a falta de dados de vazão para o rio João Gualberto para o tempo de retorno adotado, para a elaboração do hidrograma unitário foi utilizado método empírico Hidrograma Sintético Unitário do *Soil Conservation Service* (SCS).

Inicialmente, é necessário determinar o tempo de duração da chuva unitária ( $t_{du}$ ), o tempo de ascensão do hidrograma ( $t_a$ ) e a vazão da descarga de pico ( $Q_p$ ), apresentados na Equação (6), (7) e (8), respectivamente.

$$t_{du} = 0,133 \times t_c \quad (6)$$

$$t_a = 4 \times t_{du} \quad (7)$$

$$Q_p = 2,78 \times C_p \times P_{ef} \times \left( \frac{A}{\frac{t_a}{60}} \right) \quad (8)$$

Onde:  $t_{du}$  = tempo de duração da chuva unitária (min);

$t_c$  = tempo de concentração (min);

$t_a$  = tempo de ascensão (min);

$t_a$  = tempo de ascensão (h), para a Equação (8);

$Q_p$  = vazão da descarga de pico (m<sup>3</sup>/s);

$C_p$  = coeficiente que relaciona o tempo de ascensão e o tempo de base no hidrograma triangular sintético do SCS, igual a 0,75;

$P_{ef}$  = precipitação efetiva, definida pelo método como 1 cm;

$A$  = área de bacia ( $\text{km}^2$ );

#### 4.1.4 Chuva de projeto

A chuva de projeto tem o intuito de representar de maneira efetiva a intensidade da precipitação ao longo do tempo, com o intuito de determinar a chuva efetiva, ou seja, a parte da precipitação que se transforma em escoamento superficial (CUNHA *et al.*, 2015). Métodos comuns incluem blocos alternados e o hietograma triangular do SCS, além de abordagens regionais como os métodos de Huff e Pilgrim e Cordery (TUCCI, 2005).

A duração da chuva deve considerar o tempo de concentração da bacia, recomendando-se um período entre 1,5 e 2 vezes esse tempo. Essa técnica é essencial para planejar medidas de controle, como reservatórios de retenção, onde tanto o volume escoado quanto a vazão de pico são importantes. É importante notar que o risco calculado está relacionado à precipitação, não à vazão, em decorrência da falta de dados de vazão (TUCCI, 2005).

Na determinação da chuva de projeto, foi utilizado o método dos blocos alternados, do qual sugere a divisão dos totais de precipitação em intervalos discretos com base na duração total da chuva. A duração da precipitação ( $t_d$ ) foi estimada como o primeiro múltiplo do tempo de duração do hidrograma unitário ( $t_{du}$ ) que é maior que o tempo de concentração ( $t_c$ ). Com isso, o número de blocos ( $N$ ) foi calculado utilizando a Equação (9).

$$N = \frac{t_d}{t_{du}} \quad (9)$$

Onde:  $N$  = número de blocos;

$t_d$  = tempo de duração da precipitação (min);

$t_{du}$  = tempo de duração do hidrograma unitário (min).

Já a intensidade média da chuva foi calculada empregando as equações Intensidade-Duração e Frequência (IDF) de Pompêo (2003) para o município de Florianópolis, nas quais mudam conforme a duração da chuva, a qual pode ser igualada ao tempo de concentração da bacia hidrográfica (RIGHETTO, 1998). A seguir as equações de Intensidade-Duração e Frequência são apresentadas na equação (10) e (11).

$$i = \frac{145 \times T^{0,25}}{(t_d - 1,18)^{0,34}}, \text{ para } t \leq 60 \text{ minutos} \quad (10)$$



$$i = \frac{597 \times T^{0,32}}{(t_d - 3)^{0,73}}, \text{ para } t > 60 \text{ minutos} \quad (11)$$

Onde:  $i$  = intensidade da chuva (mm/h);

$T$  = tempo de retorno (anos);

$t_d$  = tempo de duração da precipitação (min).

Utilizando as equações acima apresentadas, obtém-se o total de precipitação realizando a multiplicação da intensidade pelo tempo. Calculam-se os incrementos entre os totais acumulados para cada intervalo de tempo, e esses blocos são reorganizados com o maior no centro. Os demais blocos são dispostos em ordem decrescente, alternadamente à direita e à esquerda do maior. Esse método distribui a intensidade da chuva com um pico central, diminuindo para as extremidades, proporcionando uma representação mais realista da chuva de projeto (TUCCI, 1995).

#### 4.1.5 Chuva efetiva

O valor do coeficiente de deflúvio (CN) que foi obtido por meio das características pedológicas juntamente com o uso de ocupação do solo, é aplicado na Equação (12), determinando assim a infiltração potencial máxima (S).

$$S = \left( \frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (12)$$

Onde:  $S$  = infiltração potencial máxima do SCS (mm/h);

CN = coeficiente de deflúvio.

Na sequência, foi analisada a ocorrência de escoamento superficial subtraindo da chuva de projeto acumulada 20% da infiltração potencial máxima, na qual se refere às perdas iniciais como acúmulo de água na superfície e interceptação antes do início da geração do escoamento superficial. Obtendo assim, escoamento superficial quando a relação acima contar com resultados positivos, ou seja, chuva efetiva.

#### 4.1.6 Volume de detenção

Conforme a vazão admissível obtida no canal, utiliza-se o hidrograma de projeto para obtenção das vazões superiores as da  $Q_{adm}$ . Diante disso, as vazões excedentes podem ser transformadas em volumes, multiplicando-as por 60 segundos e em seguida por 5, visto que o passo de tempo utilizado no hidrograma de projeto é de 5 minutos.

#### 4.1.7 Vazão admissível

A vazão admissível ( $Q_{adm}$ ) da área de estudo foi obtida por meio da equação de Manning, apresentada na Equação (13).

$$Q_{adm} = A_y \times Rh^{\frac{2}{3}} \times \frac{S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (13)$$

Onde:  $Q_{adm}$  = vazão admissível no canal ( $m^3/s$ );

$A_y$  = área molhada da seção ( $m^2$ );

$Rh$  = raio hidráulico (razão entre área molhada e perímetro molhado:  $(A/P)$  (m);

$S$  = declividade (m/m);

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning.

Para obtenção da declividade média da área de estudo utilizou-se o complemento ‘Profile tool’, presente no *software* QGIS. A área e o perímetro molhados foram obtidos juntos ao LaHiMar e para o coeficiente de rugosidade de Manning adotou-se o que define Porto (2006), considerando assim, as condições do canal.

#### 4.1.8 Reservatório de detenção

A fim de realizar a modelagem no *software* SWMM, o dispositivo de saída irá transferir a água da bacia de detenção ao *Wetland* construído a partir de um conduto, sendo utilizado também um extravasor na parte superior a fim de permitir que as vazões dos períodos estabelecidos para área de estudo sejam extravasadas sem causar danos a estrutura do reservatório de detenção.

### 5 RESULTADOS

Para a realização das simulações dos cenários considerados, foram utilizados estudos, cuja qualidade e precisão são fundamentais para a confiabilidade dos resultados obtidos. A Tabela 3 apresenta os principais dados e recursos empregados, incluindo suas fontes e características.

**Tabela 3. Materiais utilizados nos cenários considerados**

Variável	Tipo de dado	Resolução/ Frequência	Período	Fonte
Precipitação	Tabular .txt	diário	2001 - 2022	EPAGRI/CETRE
Temperatura	Tabular .txt	diário	2001 - 2022	EPAGRI/CETRE
MDE	Raster	5 m	-	EMBRAPA
Pedologia	Shapefile	1:250.000	2023	IBGE

<b>Variável</b>	<b>Tipo de dado</b>	<b>Resolução/ Frequência</b>	<b>Período</b>	<b>Fonte</b>
Uso e ocupação do solo	Raster	1:50.000	2010-2012	SDS/SC
Poços de infiltração	Shapefile	-	2021	PMF

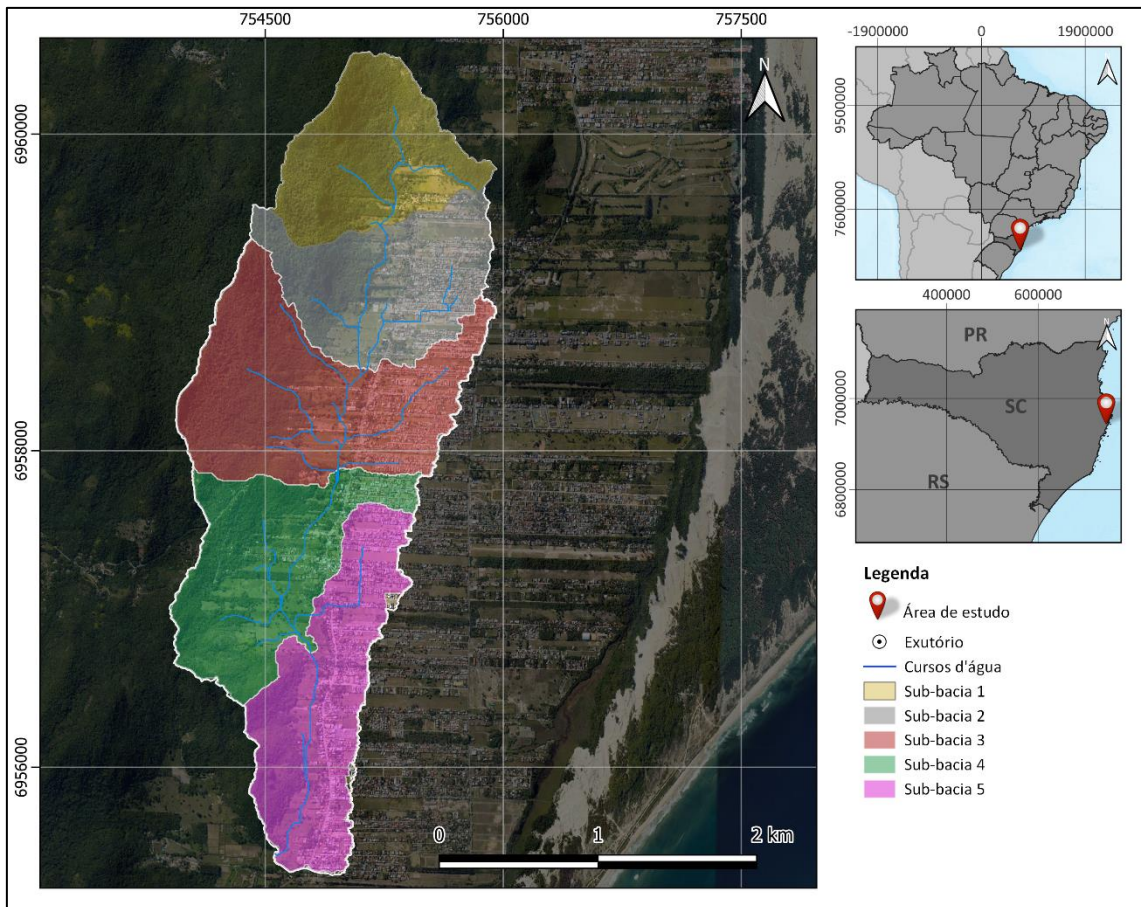
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Legenda: MDE: Modelo Digital de Elevação; EPAGRI: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina; IBGE: Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística; SDS/SC: Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável de Santa Catarina; CETRE: Centro de Treinamento da EPAGRI; PMF: Prefeitura Municipal de Florianópolis.

Os materiais apresentados na tabela foram fundamentais para as simulações realizadas neste trabalho. Cada um desses dados foi selecionado com base na sua precisão e relevância para a modelagem do escoamento superficial na bacia do rio João Gualberto. O MDE forneceu a base topográfica necessária, enquanto o ortofotomosaico permitiu uma análise detalhada do uso e ocupação do solo. Dados meteorológicos e hidrológicos foram essenciais para validação do modelo SWMM, garantindo que as simulações refletissem as condições reais da bacia. A qualidade e a confiabilidade desses dados foram cruciais para assegurar a representatividade dos resultados obtidos, proporcionando uma análise precisa e detalhada dos diferentes cenários estudados.

Além disso, para uma análise mais realista da área de estudo, a sub-bacia do rio João Gualberto foi subdividida em sub-áreas. A Figura 11 mostra a discretização da sub-bacia em cinco sub-áreas, evidenciando que a sub-área 01 (um) é composta principalmente por áreas não urbanizadas e com presença de vegetação.

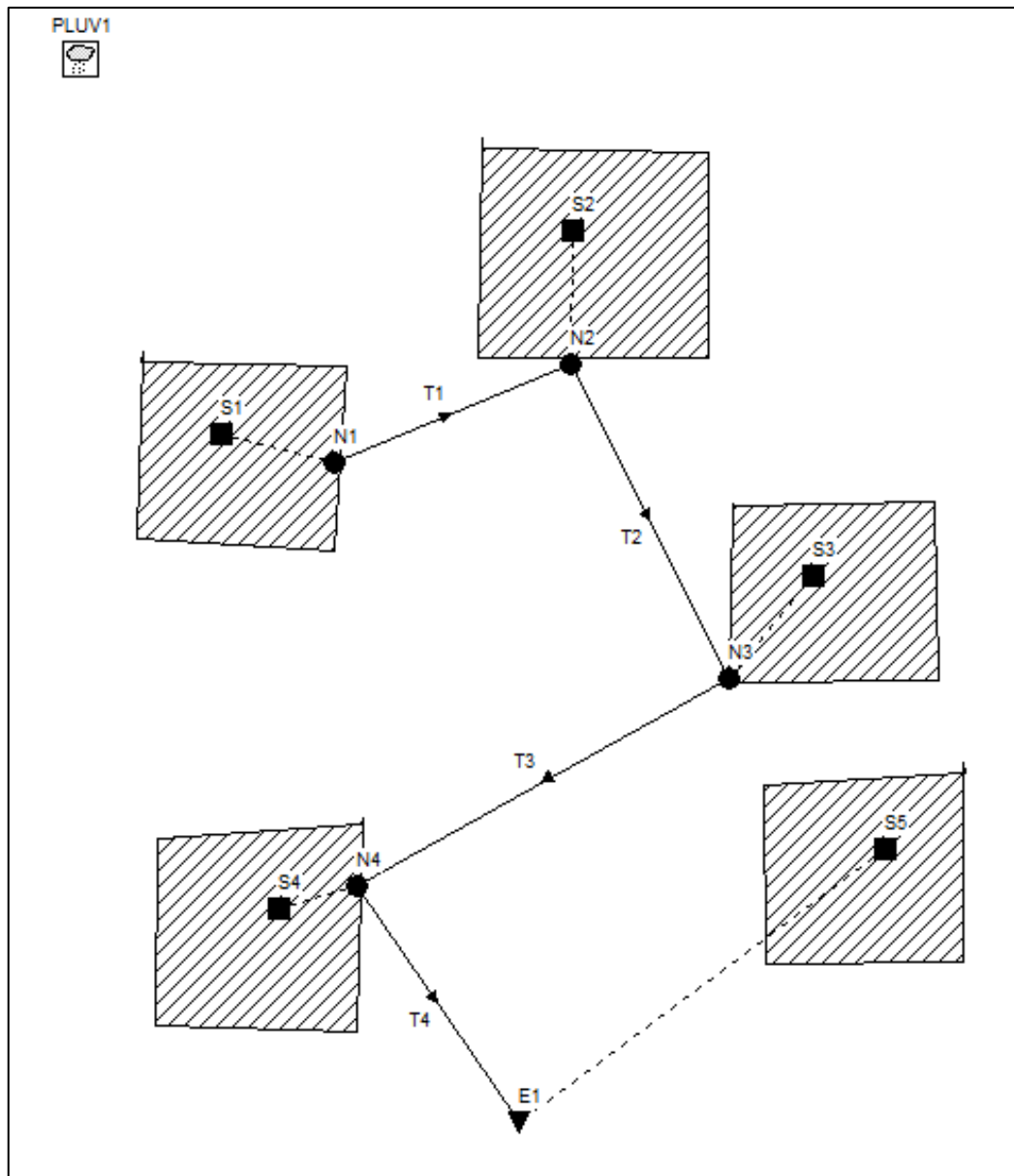
**Figura 11. Discretização da área de estudo.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As sub-áreas discretizadas foram inseridas no SWMM como sub-bacias, conforme ilustrado na Figura 12. Para cada sub-bacia, o trecho do comprimento do rio principal contido nela foi considerado como o comprimento do trecho, definido no modelo como uma seção trapezoidal em canal aberto.

Figura 12. Representação das sub-bacias no SWMM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os parâmetros necessários para as simulações hidrológicas são determinados a partir da caracterização física das sub-bacias e de variáveis como precipitação e infiltração. Nos diferentes cenários simulados, os dados físicos, como área da sub-bacia, declividade, permanecem inalterados. A Tabela 4 apresenta todos os dados da área de estudo em sua totalidade, juntamente com os dados de cada sub-área, os quais foram inseridos no *software* e mantidos inalterados.

**Tabela 4. Dados de entrada para a sub-bacia João Gualberto e para as sub-áreas**

<b>Nome</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Declividade (%)</b>
Sub-bacia do Rio João Gualberto	614	1114	1,40%
Sub-bacia 01	99	1126	6,60%
Sub-bacia 02	106	1017	0,70%
Sub-bacia 03	161	2178	0,56%
Sub-bacia 04	121	864	0,47%
Sub-bacia 05	122	832	0,06%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os dados de área, e declividade foram obtidos a partir do *software* Qgis, já a largura foi calculada considerando a área da bacia dividida pelo comprimento do rio principal.

O método utilizado para as sub-bacias foi o SCS (*Soil Conservation Service*). Os valores do CN (Número da Curva) foram obtidos a partir da pedologia e do uso e ocupação do solo. Além disso, foram considerados para o cálculo apenas os valores de CN das áreas permeáveis, conforme indicado no manual do SWMM. Os dados apresentados na Tabela 5 foram inseridos no *software*. Vale destacar que os valores de Manning, assim como os de armazenamento em depressões para áreas permeáveis e impermeáveis, foram retirados do manual do SWMM.

**Tabela 5. CN, manning e armazenamento para a sub-bacia João Gualberto e para as sub-áreas**

Nome	CN médio	% Área Impermeável	Manning		Armazenamento em depressões	
			Áreas Permeáveis	Áreas Impermeáveis	Áreas Permeáveis	Áreas Impermeáveis
Sub-bacia do Rio João Gualberto	58,9	21%	0,25	0,002	0,033	0,004
Sub-bacia 01	69,2	1,95%	0,35	0,0002	0,042	0,00041
Sub-bacia 02	46,18	34,69%	0,18	0,004	0,028	0,00734
Sub-bacia 03	52,38	26,35%	0,24	0,003	0,031	0,00558
Sub-bacia 04	63,91	13,87%	0,24	0,002	0,036	0,00294
Sub-bacia 05	42,01	38,67%	0,14	0,0043	0,026	0,00818

Fonte: Elaborado pelo autor (2024) a partir de informações do SWMM (EPA,2007).

Nos três primeiros cenários de simulação, considerou-se um evento de chuva com tempo de retorno de 50 anos:

1. Cenário 1: Modelagem do escoamento superficial considerando as condições atuais da bacia, sem a implementação de técnicas de drenagem sustentável.
2. Cenário 2: Inclusão de técnicas compensatórias já existentes na bacia, como jardins de chuva, poços de infiltração, trincheira e vala de infiltração.
3. Cenário 3: Inserção de um reservatório de retenção de cheia a fim de avaliar seu impacto na mitigação de picos de vazão durante eventos de precipitação intensa. Este reservatório foi dimensionado para analisar sua capacidade de armazenamento de liberação controlada de água, visando a minimização dos riscos de inundação.

Nos três cenários subsequentes, considerou-se um evento de chuva com tempo de retorno de 100 anos:

4. Cenário 4: Modelagem do escoamento superficial considerando as condições atuais da bacia, novamente sem a implementação de técnicas de manejo sustentável, mas com uma chuva mais intensa.
5. Cenário 5: Reaplicação das técnicas de drenagem urbana sustentável existentes na bacia, como jardins de chuva, poços de infiltração, trincheira e vala de infiltração, para avaliar a eficácia dessas técnicas sob uma chuva mais intensa.
6. Cenário 6: Inserção do mesmo reservatório de amortecimento de cheia, dimensionado para analisar sua eficácia na mitigação de picos de vazão durante eventos de precipitação intensa com tempo de retorno de 100 anos.

## 5.1 ESTUDO HIDROLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

### 5.1.1 Escolha do período de retorno

Diante dessas considerações, para o pré-projeto bem como com o intuito de simular diversas condições para a bacia, adotou-se um período de retorno igual a 50 anos e 100 anos.

### 5.1.2 Tempo de concentração

Para obter o tempo de concentração ( $t_c$ ), sabendo que o comprimento (L) do rio é de 5.510,0 m, e a diferença de altura do rio principal (H) é de 76,39 m, foi escolhida a equação de Kirpich, aplicada na equação (14).

$$t_c = 57 \times \left( \frac{5,51^3}{79,39} \right) \times 0,385 = 77,08 \text{ minutos} \quad (14)$$

### 5.1.3 Hidrograma unitário

A partir dos valores obtidos aplicando as equações acima apresentadas, contrói-se uma tabela que relaciona com os dados do hidrograma unitário sintético do método SCS e em



seguida, os valores encontrados nas primeiras iterações são ajustados levando em conta o volume da bacia.

O hidrograma unitário, foi calculado tomando como base os parâmetros das Equações (15), (16) e (17).

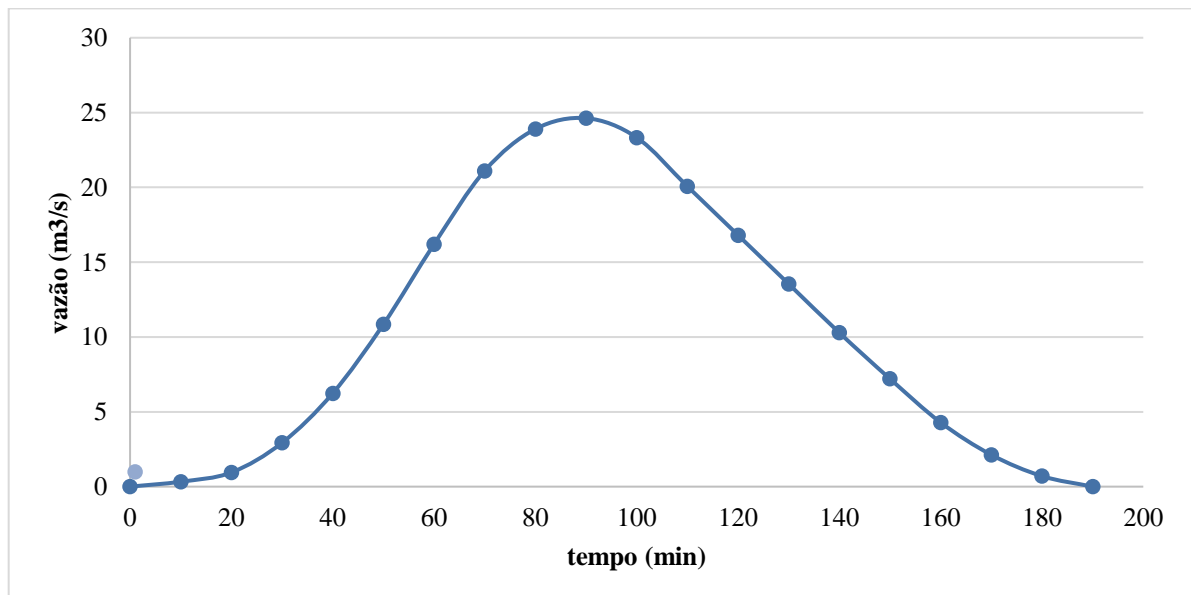
$$t_{du} = 0,133 \times 77,08 = 10,25 \text{ minutos} \quad (15)$$

$$t_a = 4 \times 10,25 = 41,01 \text{ minutos} \quad (16)$$

$$Q_p = 2,78 \times 0,75 \times 1 \times \left( \frac{6,14}{\frac{41,01}{60}} \right) = 18,73 \text{ m}^3/\text{s} \quad (17)$$

O resultado apresentado pela Figura 13 demonstra o hidrograma de projeto para o TR de 50 anos, do qual obteve-se vazão máxima de 24,62 m<sup>3</sup>/s no tempo de 90 minutos.

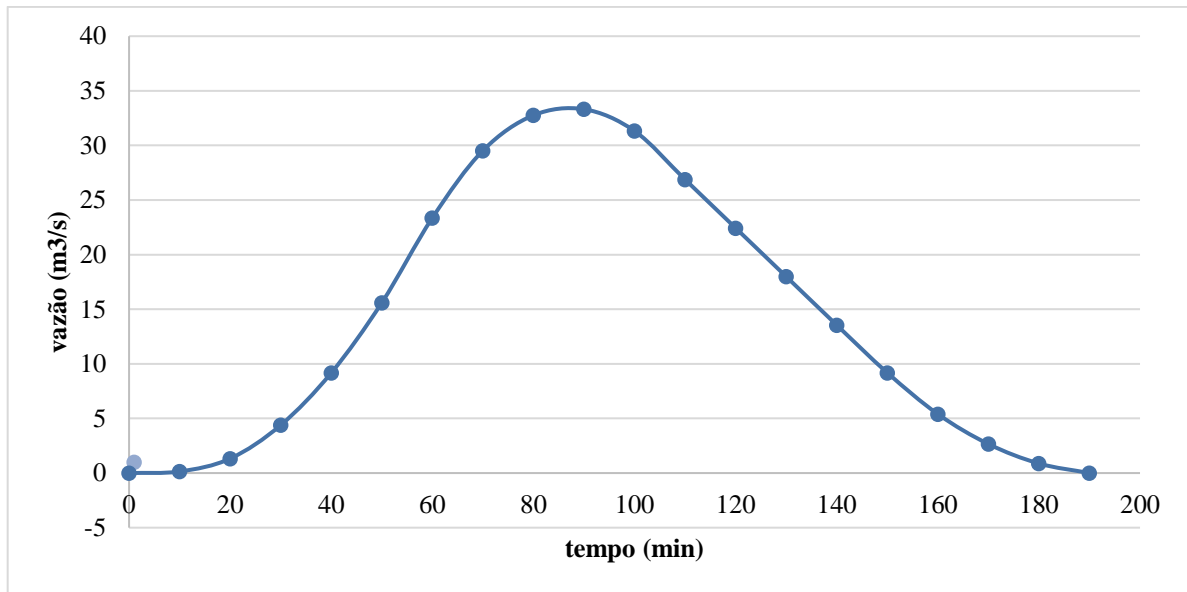
**Figura 13 . Hidrograma de projeto da área de estudo – TR 50 anos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Já o resultado apresentado na Figura 14 demonstra o hidrograma de projeto para o TR de 100 anos, onde obteve-se vazão máxima de 33,31 m<sup>3</sup>/s no tempo de 90 minutos.

**Figura 14 Hidrograma de projeto da área de estudo – TR 100 anos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

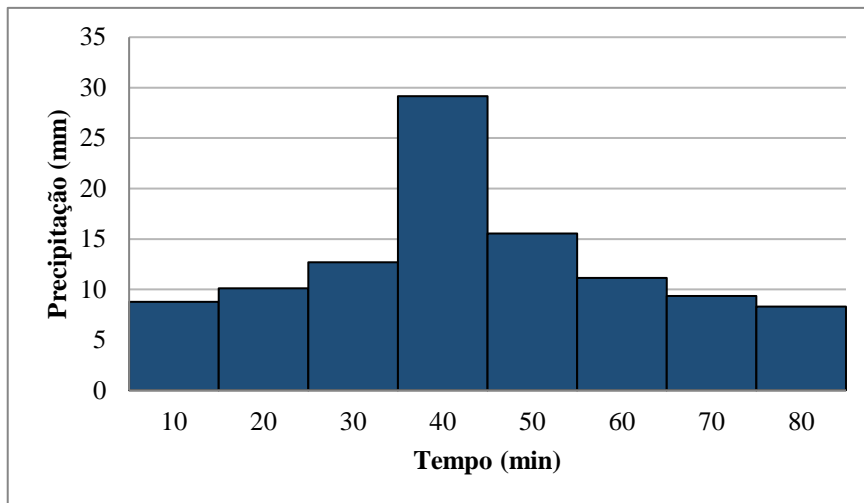
#### 5.1.4 Chuva de projeto

A partir da adoção do tempo de duração do hidrograma unitário (tdu) igual a 10 minutos e considerando para o tempo de duração da precipitação (td) a influência do tempo de concentração (tc) da sub-bacia, sendo adotado o primeiro múltiplo superior do tdu em relação ao tc, obteve-se o número de blocos (N) apresentado na Equação (18).

$$N = \frac{80}{10} = 8 \text{ blocos} \quad (18)$$

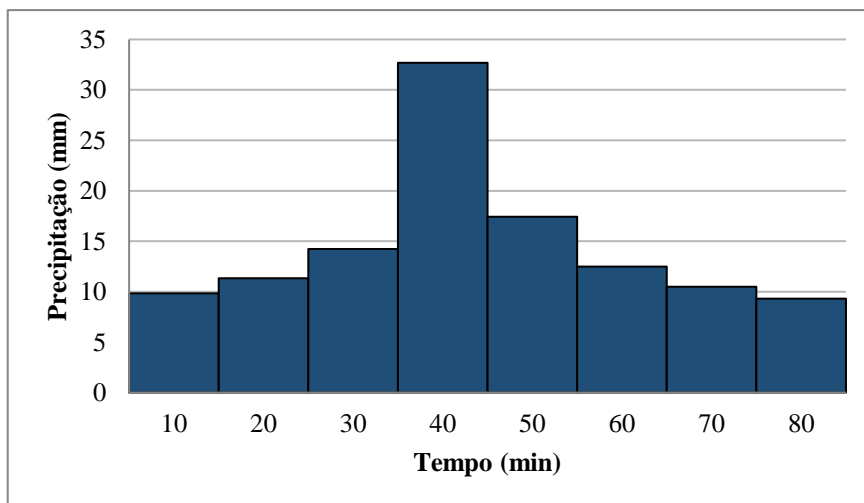
A intensidade média das chuvas foi calculada conforme equações apresentadas no capítulo 4.1.4, obtendo-se a chuva de projeto ilustrada pela Figura 15 para um tempo de retorno (TR) de 50 anos e na Figura 16 para um TR de 100 anos.

**Figura 15. Chuva de projeto da área de estudo – TR 50 anos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

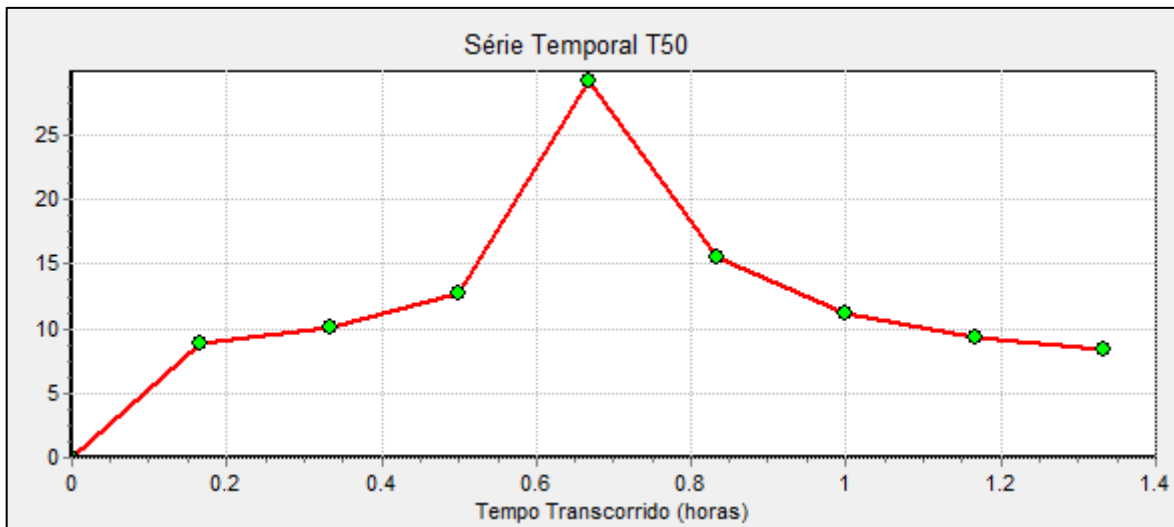
**Figura 16. Chuva de projeto da área de estudo – TR 100 anos**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

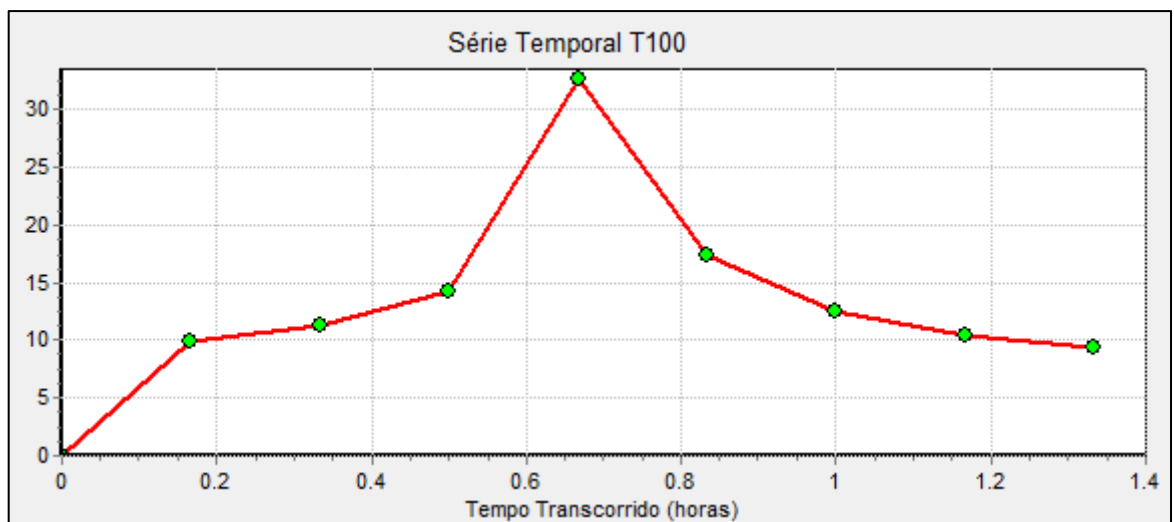
Os dados de chuva de projeto foram inseridos no SWMM, obtendo-se a representação da Figura 17 para o tempo de retorno de 50 anos, utilizado nos cenários 1, 2 e 3 e a representação da Figura 18, para o tempo de retorno de 100 anos, utilizado nos cenários 4, 5 e 6.

Figura 17. Chuva de projeto TR de 50 anos inserida no SWMM para os cenários 1, 2 e 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 18. Chuva de projeto TR de 100 anos inserida no SWMM para os cenários 4, 5 e 6.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a simulação dos cenários 2, 3, 5 e 6, foram inseridos os poços de infiltração existentes na área de estudo, conforme apresentado no capítulo 3.3.8. Além disso, os poços foram incorporados de acordo com as sub-bacias em que estão localizados, conforme detalhado na Tabela 6.

Tabela 6. Poços de infiltração por sub-bacia

Nome	Quantidade de poços
Sub-bacia 01	08
Sub-bacia 02	219

Nome	Quantidade de poços
Sub-bacia 03	186
Sub-bacia 04	68
Sub-bacia 05	247
Total	728

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para os cenários 3 e 6 além de contarem com os LIDs existentes na bacia também foi considerada uma bacia de detenção como técnica compensatória.

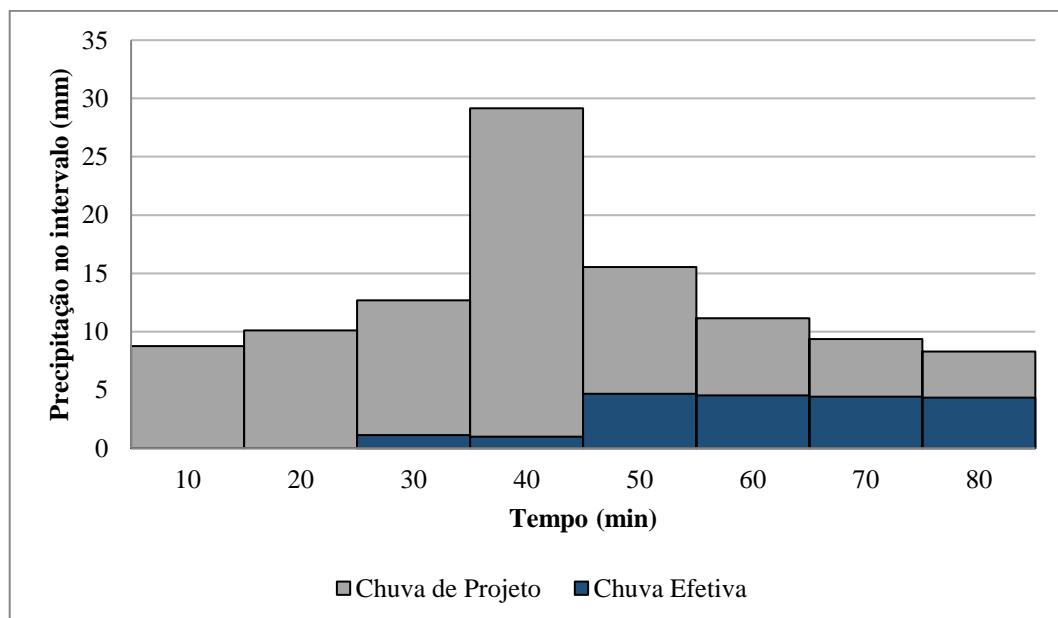
### 5.1.5 Chuva efetiva

Para estimar a chuva efetiva foi considerado para o coeficiente de deflúvio (CN), o valor de 70,22 do qual foi obtido por meio das características pedológicas juntamente com o uso de ocupação do solo. Em seguida, o valor de CN foi aplicado na Equação (19), determinando assim a infiltração potencial máxima (S).

$$S = \left( \frac{25400}{70,22} \right) - 254 = 107,70 \quad (19)$$

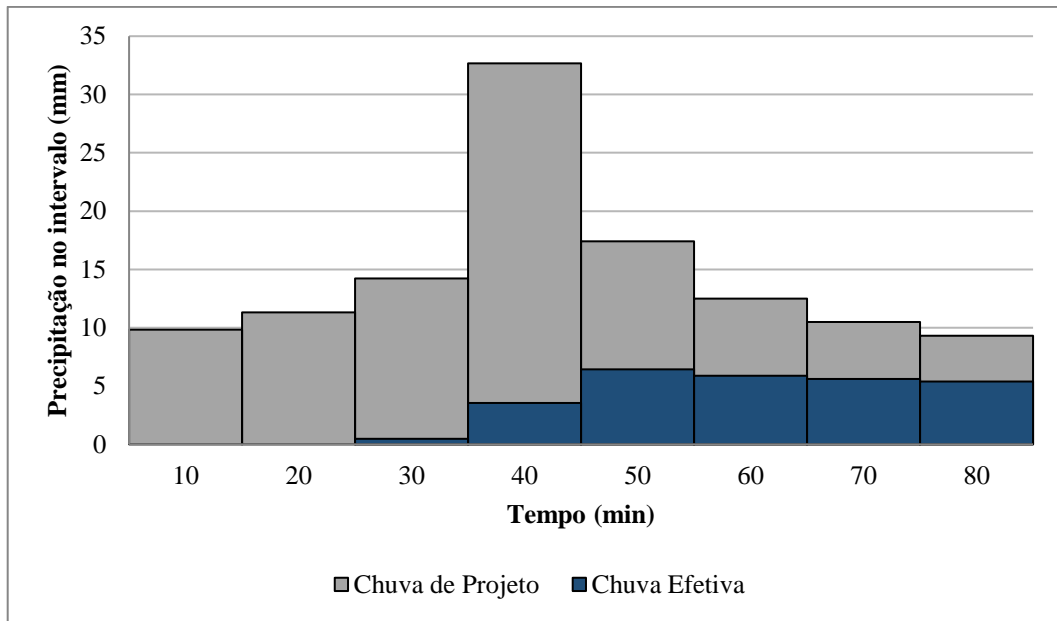
Na Figura 19 e Figura 20 é possível observar o resultado obtido para o escoamento superficial, ou seja, chuva efetiva, para TR de 50 anos e 100 anos, respectivamente.

Figura 19 . Chuva efetiva da área de estudo – TR 50 anos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 20 . Chuva efetiva da área de estudo – TR 100 anos



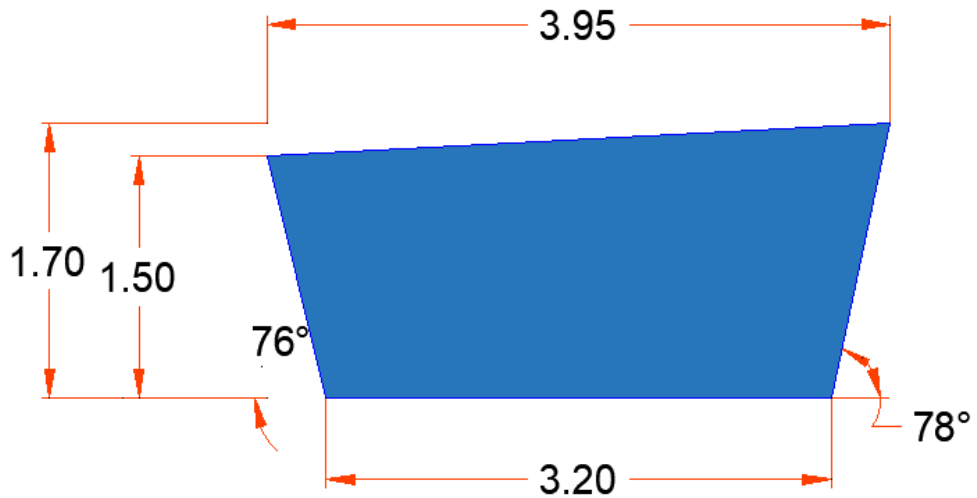
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.1.6 Vazão admissível

Para obtenção da vazão admissível do rio João Gualberto, adotou-se o coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ) com o valor de 0,045, considerando o valor determinado para rios e arroios limpos, retilíneos, uniformes, de águas baixas e declividade fraca, conforme Porto (2006). Sendo possível realizar essa adoção devido a declividade presente no rio João Gualberto, de 0,014 m/m. Ademais, considerando com base nos dados fornecidos pelo LaHimar, considerou-se a seção do rio no exutório como uma seção trapezoidal com largura de fundo em 3,2 m, largura de superfície 4 m, e profundidade de 1,7 m.

Em seguida, verificou-se no modelo digital de elevação que as cotas da margem direita são, em média, maiores que as cotas da margem esquerda. Diante disso, o desenho da seção foi reajustado, fazendo com que a margem esquerda apresente uma altura menor que a altura da margem direita, conforme ilustra a Figura 21.

Figura 21. Seção do rio no exutório da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Obteve-se então a área ( $A_y$ ) do canal de  $5,72 \text{ m}^2$ , e considerando a geometria da seção trapezoidal com perímetro igual a  $10,44 \text{ m}$ , obteve-se o resultado de  $0,547 \text{ m}$  para o raio hidráulico ( $R_h$ ). Aplicando os valores mencionados na equação (20), foi possível obter a vazão admissível do rio João Gualberto.

$$Q_{adm} = 5,72 \times 0,547^{\frac{2}{3}} \times \frac{0,0142^{\frac{1}{2}}}{0,045} = 10,06 \text{ m}^3/\text{s} \quad (20)$$

Observa-se que a vazão máxima de projeto ultrapassa a vazão admissível, o que explica os problemas de inundações frequentes na região da bacia. Portanto, é necessário prever dispositivos de controle, como uma bacia de detenção, que será dimensionada com base nas vazões do hidrograma de projeto que excedem a vazão admissível.

### 5.1.7 Volume de detenção

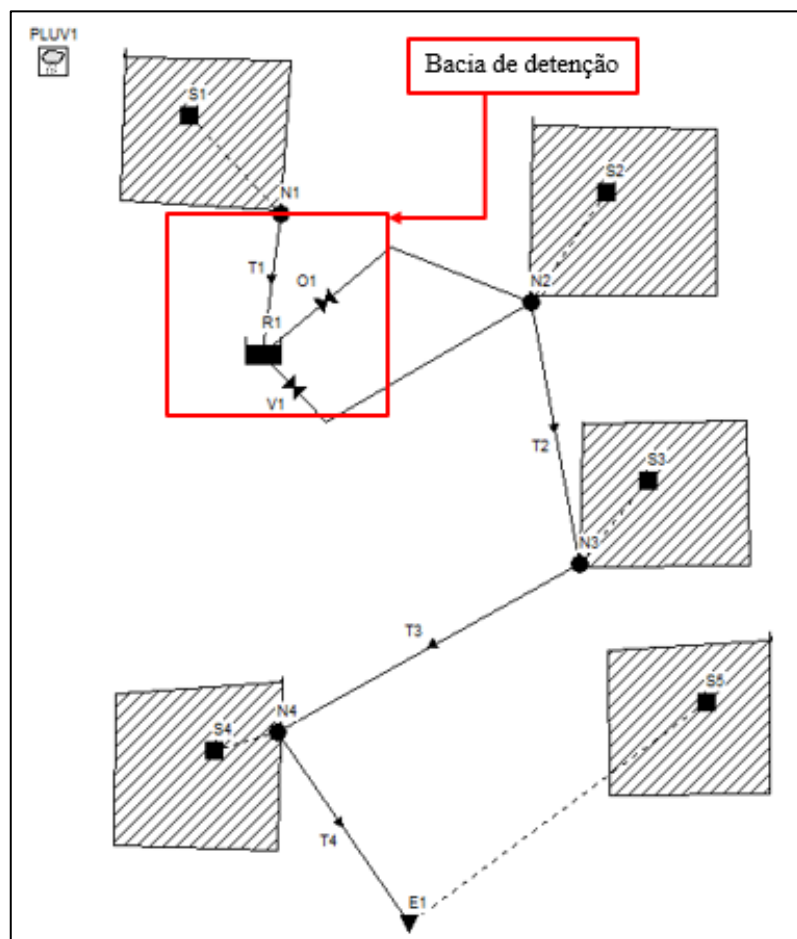
Com a vazão admissível no canal sendo de  $10,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , o hidrograma de projeto é utilizado para identificar as vazões que ultrapassam esse valor. Essas vazões excedentes podem ser convertidas em volumes, multiplicando-as por 60 segundos e depois por 10, considerando que o intervalo de tempo usado no hidrograma de projeto é de 10 minutos. Assim, o volume necessário para a bacia de detenção para uma chuva com TR de 50 anos é de  $48.075,38 \text{ m}^3$  e para uma chuva com TR de 100 anos é de  $87.674,12$ , esses valores correspondem à soma de todos os volumes excedentes observados na bacia.

### 5.1.8 Reservatório de detenção

Considerando o tipo de vegetação, as declividades da bacia e as áreas já urbanizadas, a máxima área disponível para a instalação da bacia de detenção é de 40.515 m<sup>2</sup>. Com um talude de 1:1 m, obtém-se um volume de 59.692,2 m<sup>3</sup>. A construção desta bacia de detenção resultará em uma redução total no volume de escoamento superficial na sub-bacia hidrográfica do rio João Gualberto para uma chuva com TR de 50 anos. Já para uma chuva de 100 anos a construção da bacia realizaria a reservação de cerca de 68,08% do volume.

Para a modelagem no *software* SWMM, o dispositivo de saída transferirá a água da bacia de detenção para o *Wetland* construído, utilizando um conduto. Além disso, um extravasor será instalado na parte superior para permitir que as vazões durante períodos de retorno maiores que 50 e 100 anos sejam extravasadas sem causar danos à estrutura do reservatório de detenção, conforme apresentado na Figura 22 e na Figura 23.

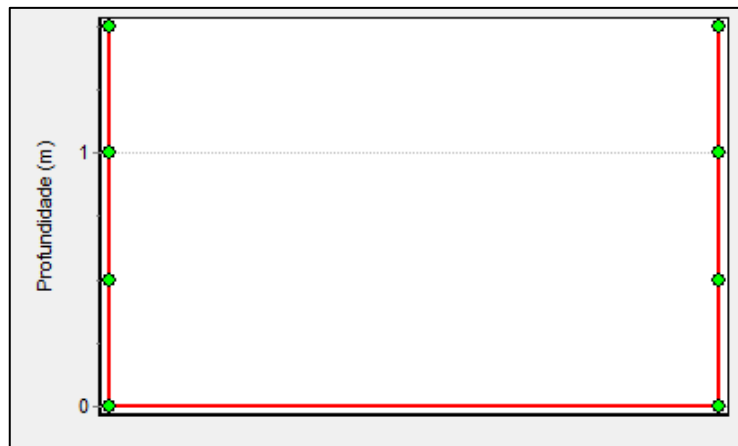
Figura 22. Bacia de detenção inserida na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



**Figura 23. Seção da bacia de detenção.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

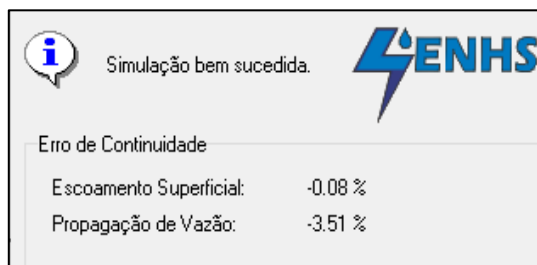
Cabe mencionar que a escolha da bacia de detenção antes do trecho 02 foi realizada observando os resultados de vazão por trecho obtidos no cenário anterior.

## 5.2 RESULTADOS PARA CADA CENÁRIO

### 5.2.1 Cenário 1 – TR50 (condições atuais sem LIDs):

A partir dos dados inseridos no *software* SWMM obteve-se o resultado dos erros de continuidade para o Cenário 1 apresentado na Figura 24.

**Figura 24. Relatório do estado da simulação no Cenário 1.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A qualidade da simulação foi suficientemente boa, com erros desprezíveis na equação do balanço de massa (continuidade) para o escoamento e para a propagação do fluxo (-0,05% e -0,064%, respectivamente), de acordo com o manual do SWMM, considerando que os dados de entrada foram informados corretamente (EPA,2007). Diante disso, os valores foram obtidos são acima da recomendação estabelecida no manual.

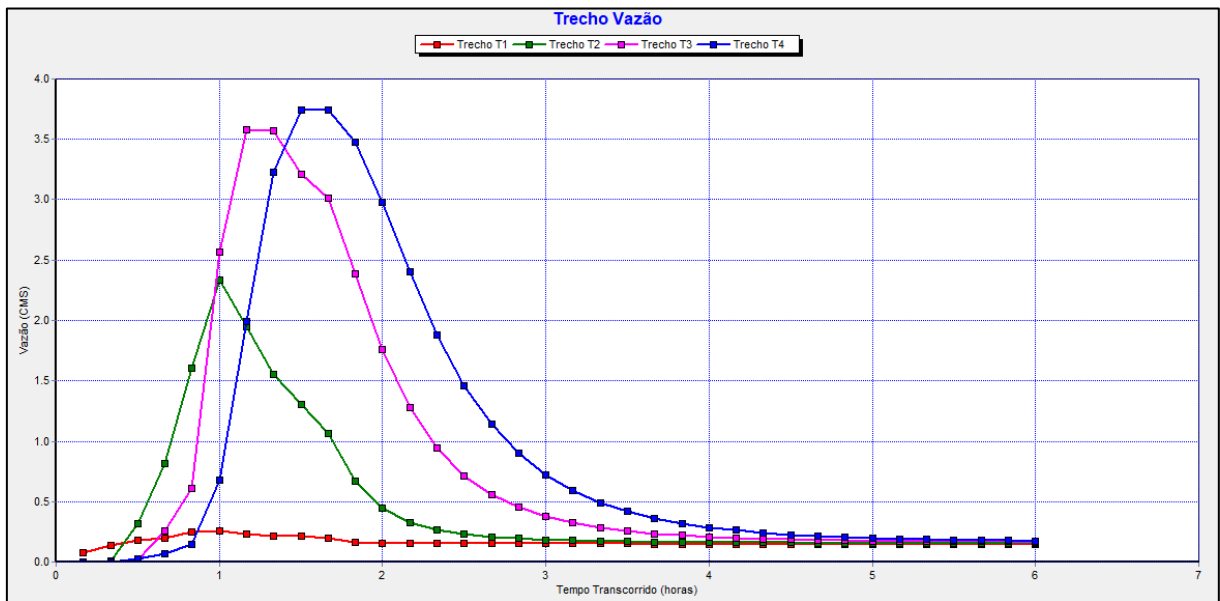
Após a configuração dos dados apresentados na metodologia, foi gerado um gráfico de vazão por trecho, em m<sup>3</sup>/s. As vazões máximas por trecho estão listadas na Tabela 7 e os resultados podem ser visualizados na Figura 25.

**Tabela 7. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 1.**

Trecho	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)
01	0,256
02	2,235
03	3,578
04	3,74

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 25. Vazão por trecho no Cenário 1 em (m<sup>3</sup>/s).**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

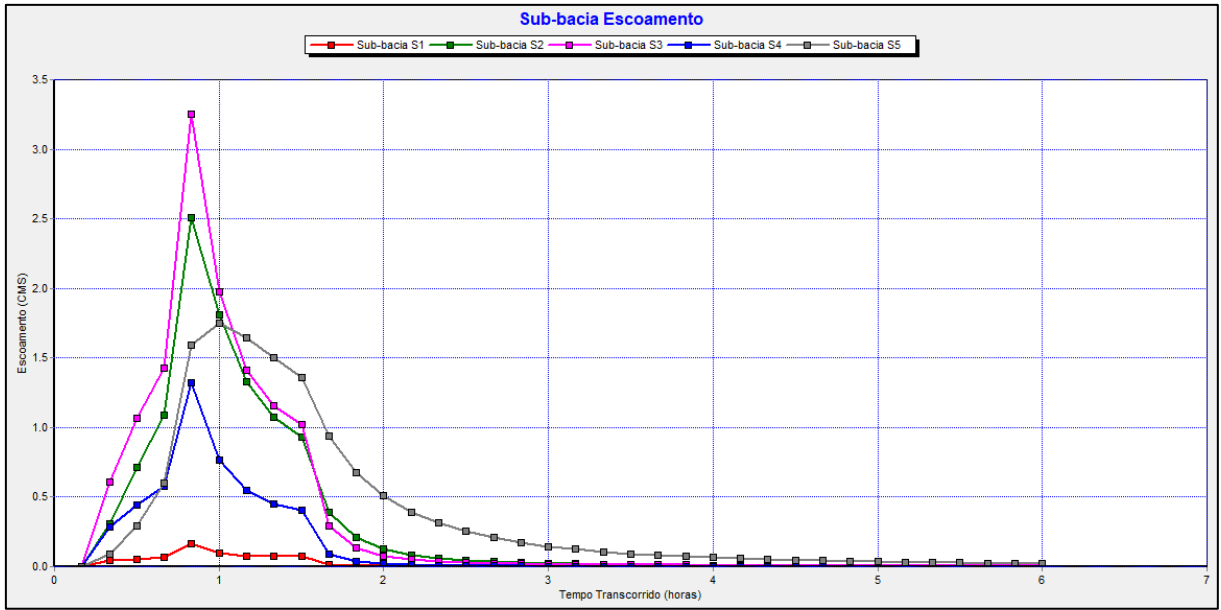
Em seguida, foram observados os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia, em m<sup>3</sup>/s, listadas na Tabela 8 e os resultados podem ser visualizados na Figura 26.

**Tabela 8. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 1.**

Sub-bacia	Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
01	0,162
02	2,508
03	3,254
04	1,32
05	1,748

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

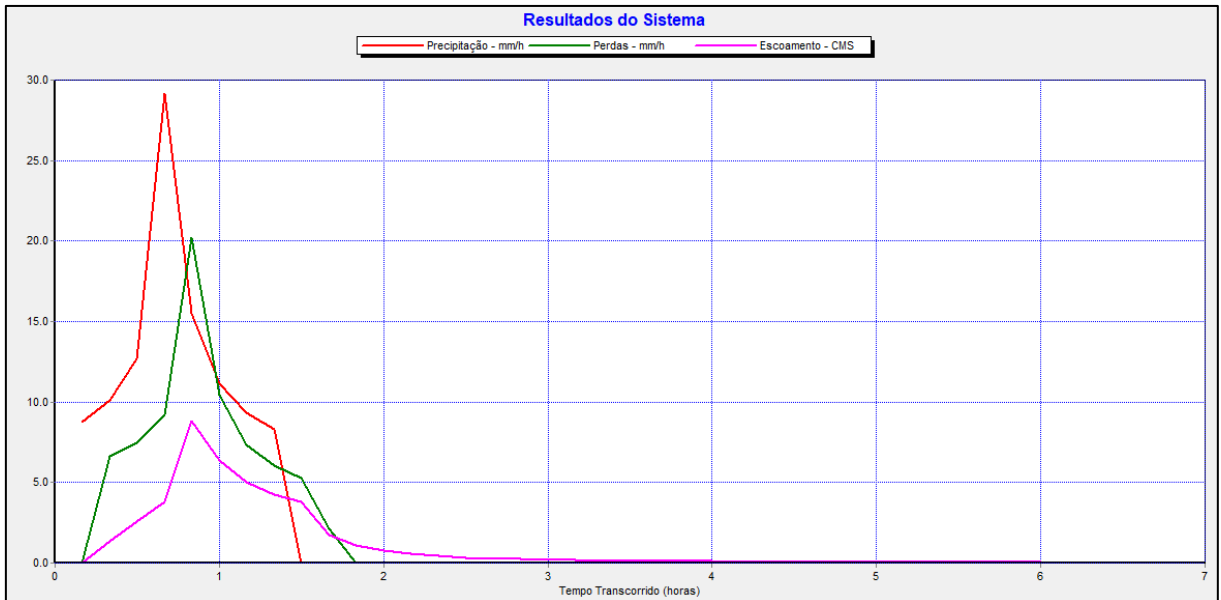
Figura 26. Escoamento por sub-bacia no Cenário 1 em (m<sup>3</sup>/s).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 27 apresenta o resultado obtido para precipitação perdas e escoamento no Cenário 1, considerando todo o sistema. Cabe mencionar que os valores de precipitação e perdas se mantiveram os mesmos em todos os cenários. Em relação ao escoamento, o Cenário 1 resultou em um escoamento de 8,83 m<sup>3</sup>/s.

Figura 27. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o Cenário 1.

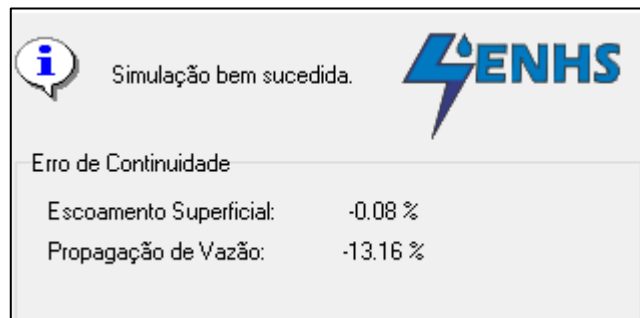


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.2 Cenário 2 – TR50 (condições atuais com LIDs existentes):

A partir dos dados inseridos no *software* SWMM obteve-se o resultado dos erros de continuidade para o Cenário 2 apresentados na Figura 28.

Figura 28. Relatório de estado da simulação no Cenário 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim como no Cenário 1, os valores obtidos encontram-se acima da recomendação estabelecida no manual.

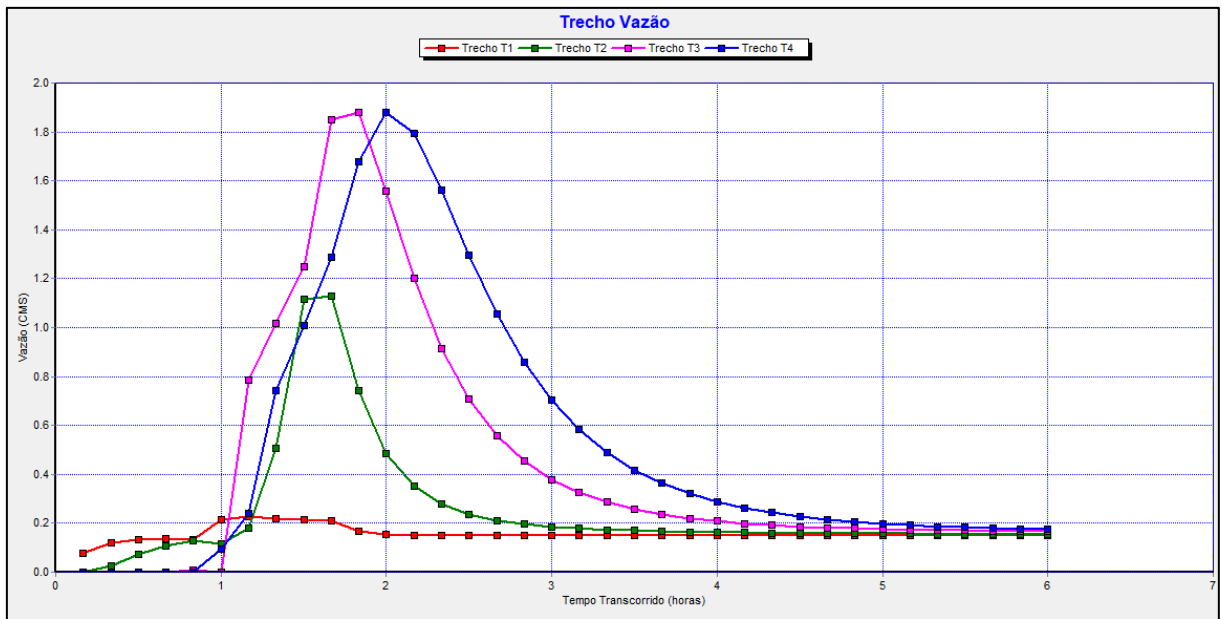
Após a configuração dos dados apresentados na metodologia, foi gerado um gráfico de vazão por trecho, em m<sup>3</sup>/s. As vazões máximas por trecho estão listadas na Tabela 9, juntamente com a porcentagem de redução em comparação com a área de estudo sem os LIDs, conforme apresentado no Cenário 1. Os resultados podem ser visualizados na Figura 29.

Tabela 9. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 2.

Trecho	Vazão máxima com LIDs (m <sup>3</sup> /s)	Redução da vazão com os LIDs existentes (%)
01	0,22	14,06
02	1,127	49,57
03	1,87	47,74
04	1,87	50,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 29. Vazão por trecho no Cenário 2 em (m<sup>3</sup>/s).**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

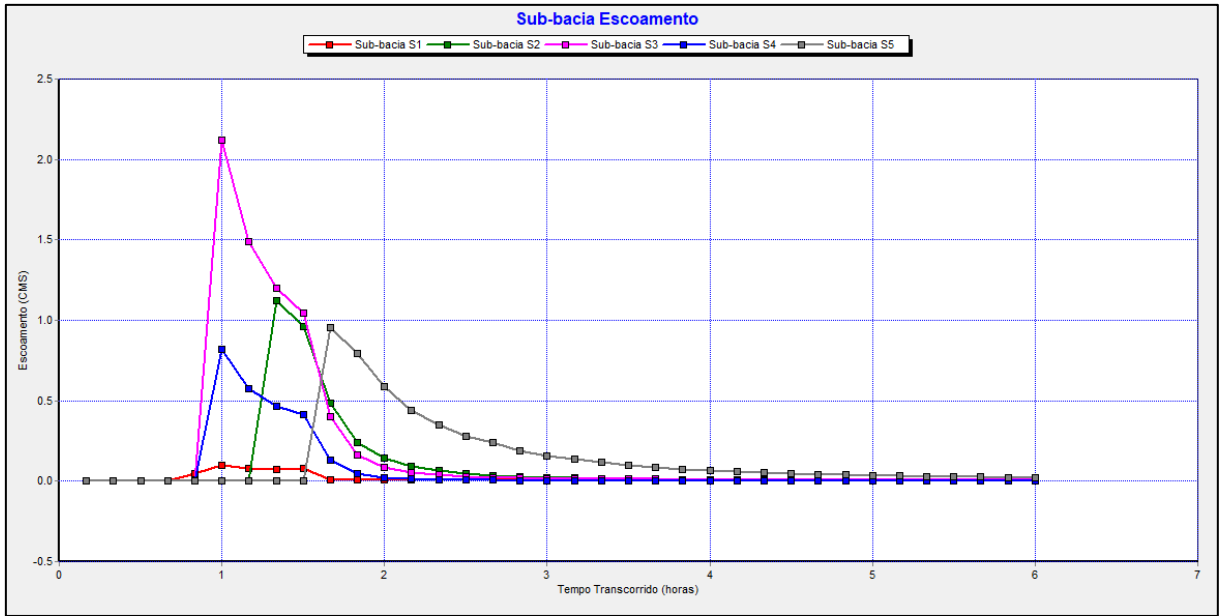
Assim como no Cenário 1, na sequência foram observados os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia no Cenário 2, em m<sup>3</sup>/s. Os escoamentos por sub-bacia estão listados na Tabela 10 e os resultados podem ser visualizados na Figura 30.

**Tabela 10. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 2.**

Sub-bacia	Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
01	0,096
02	1,125
03	2,122
04	0,817
05	0,957

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

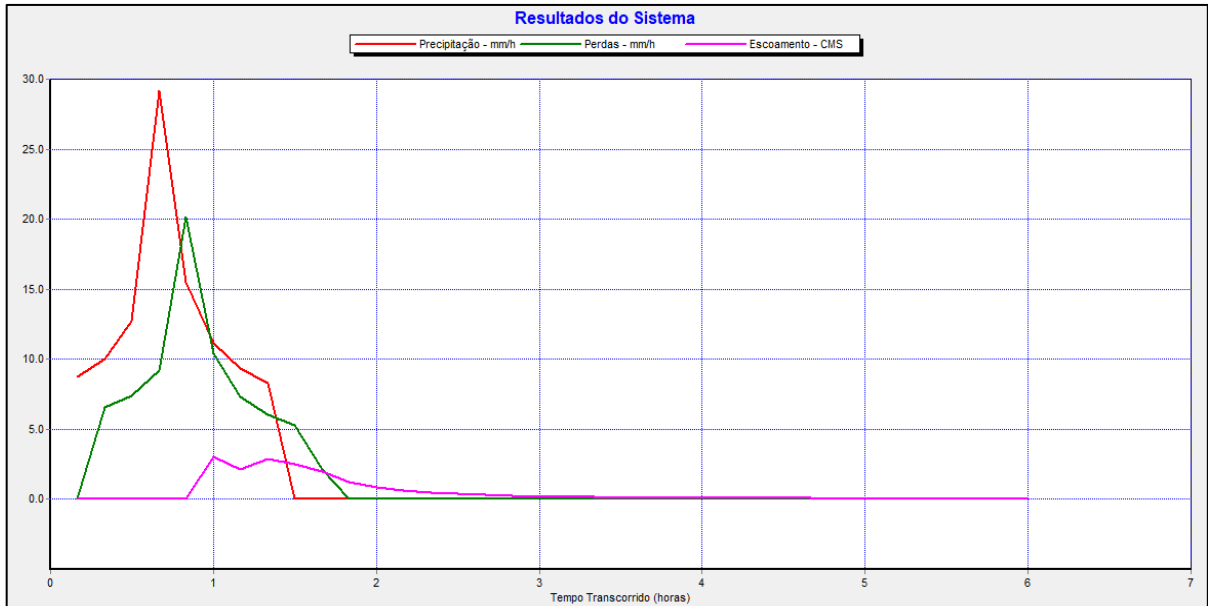
Figura 30. Escoamento por sub-bacia no Cenário 2 em (m<sup>3</sup>/s).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 31 apresenta o resultado obtido para precipitação perdas e escoamento no Cenário 2, considerando todo o sistema. Conforme já mencionado, os valores de precipitação e perdas se mantiveram os mesmos em todos os cenários. Em relação ao escoamento, o Cenário 2 resultou em um escoamento de 3,037 m<sup>3</sup>/s.

Figura 31. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o Cenário 2.

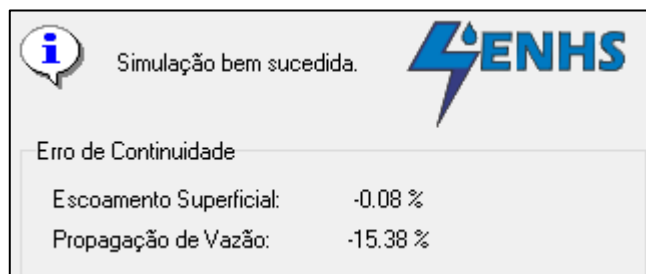


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.3 Cenário 3 – TR50 (condições atuais com LIDs existentes e bacia de retenção):

A partir dos dados inseridos no *software* SWMM obteve-se o resultado dos erros de continuidade para o Cenário 3, conforme Figura 32.

Figura 32. Relatório de estado da simulação no Cenário 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim como nos cenários anteriores, os valores obtidos encontram-se acima da recomendação estabelecida no manual.

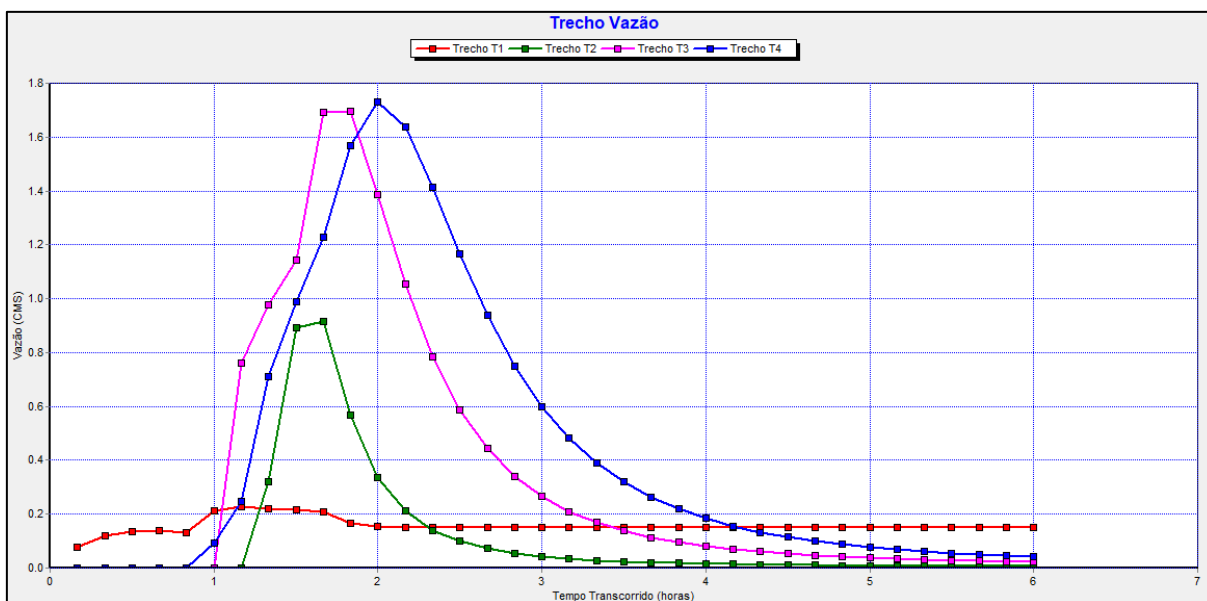
Após a configuração dos dados apresentados na metodologia para o Cenário 3, foi gerado um gráfico de vazão por trecho, em m<sup>3</sup>/s. As vazões máximas por trecho estão listadas na Tabela 11, juntamente com a porcentagem de redução em comparação com a área de estudo sem técnicas compensatórias, conforme apresentado no Cenário 1. Os resultados podem ser visualizados na Figura 33. Observa-se que a redução ocorre após o trecho 01, devido à localização da bacia de retenção, que foi instalada logo após esse trecho.

Tabela 11. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 3.

Trecho	Vazão máxima com LIDs+ Bacia de retenção (m <sup>3</sup> /s)	Redução da vazão com os LIDs existentes + Bacia de retenção (%)
01	0,245	14,06
02	0,915	59,06
03	1,698	52,54
04	1,729	53,77

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 33. Vazão por trecho no Cenário 3 em (m³/s).**



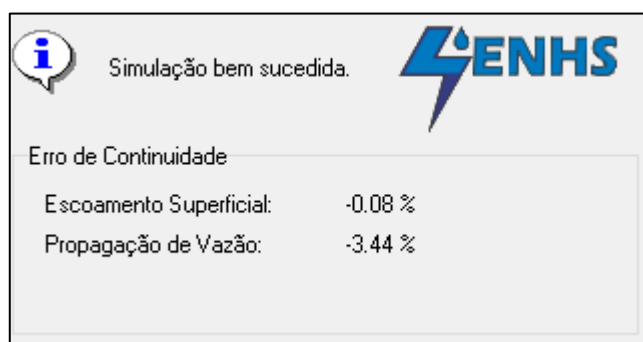
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim como nos cenários anteriores, foram observados os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia no Cenário 3, em m³/s. No entanto, esses valores permaneceram iguais aos do Cenário 2, sem alterações após a instalação da bacia de retenção. Conseqüentemente, o escoamento do sistema como um todo também se manteve inalterado.

#### 5.2.4 Cenário 4 – TR100 (condições atuais sem LIDs):

A Figura 34, apresenta os erros de continuidade obtidos para o Cenário 4, os valores encontram-se acima da recomendação estabelecida no manual.

**Figura 34. Relatório de estado da simulação no Cenário 4.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

As vazões máximas por trecho para o TR 100 anos estão listadas na Tabela 12, enquanto os resultados podem ser visualizados na Figura 35.

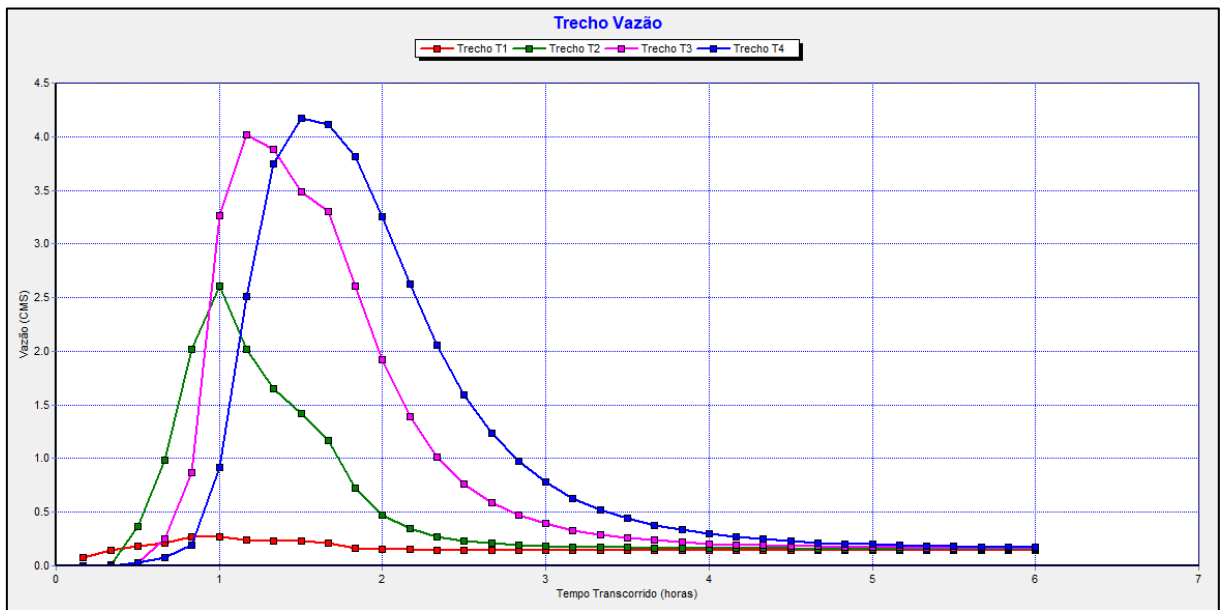


**Tabela 12. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 4.**

Trecho	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)
01	0,26
02	2,612
03	4,014
04	4,176

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 35. Vazão por trecho no Cenário 4 em (m<sup>3</sup>/s).**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

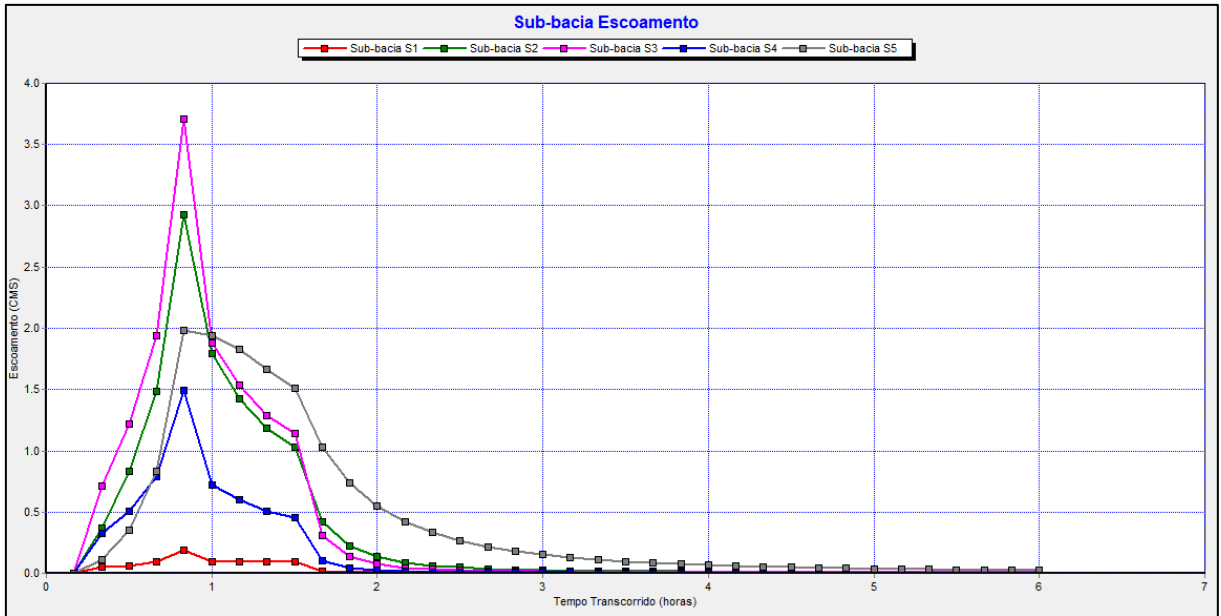
Na sequência, observou-se os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia, em m<sup>3</sup>/s, listadas na Tabela 13 e os resultados podem ser visualizados na Figura 36.

**Tabela 13. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 4.**

Sub-bacia	Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
01	0,185
02	2,928
03	3,709
04	1,495
05	1,983

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

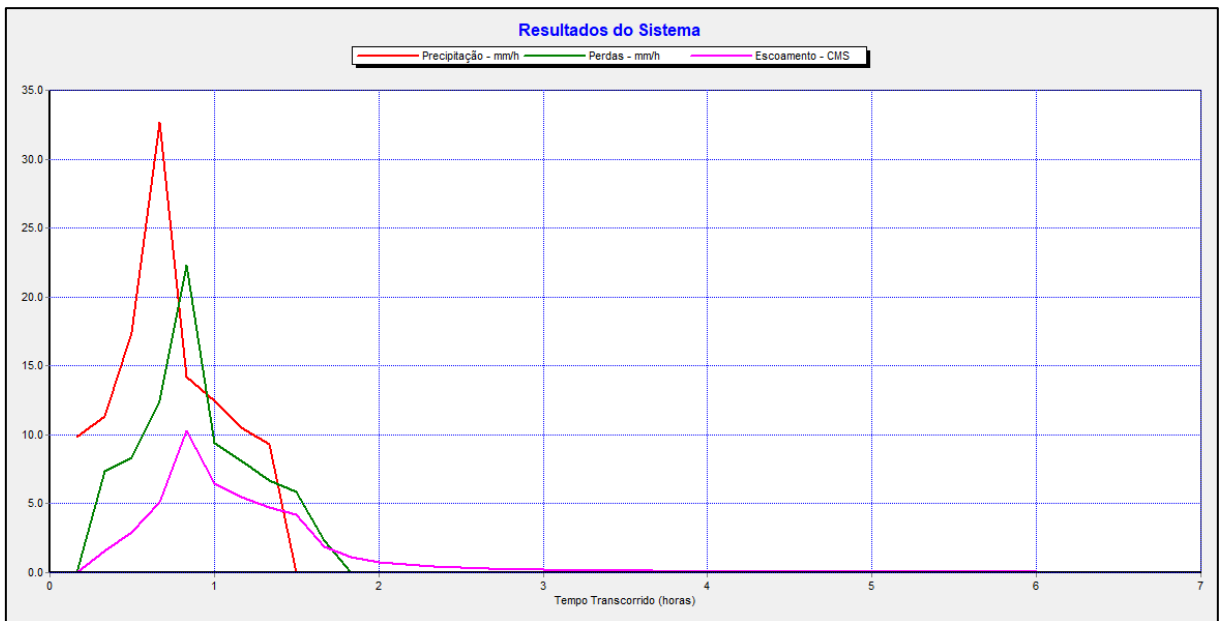
Figura 36. Escoamento por sub-bacia no Cenário 4 em (m<sup>3</sup>/s).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 37 apresenta o resultado obtido para precipitação perdas e escoamento no Cenário 4, considerando todo o sistema. Cabe mencionar que os valores de precipitação e perdas se mantiveram os mesmos em todos os cenários. Em relação ao escoamento, o Cenário 1 resultou em um escoamento de 10,3 m<sup>3</sup>/s.

Figura 37. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o Cenário 4.

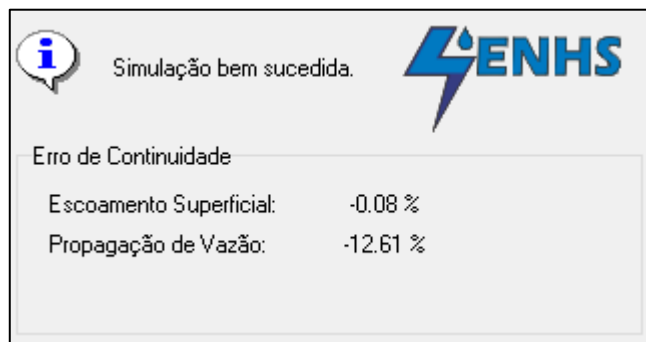


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.5 Cenário 5 – TR100 (condições atuais com LIDs existentes):

A Figura 38 apresenta o resultado dos erros de continuidade para o Cenário 5, os valores obtidos encontram-se acima da recomendação estabelecida no manual.

**Figura 38. Relatório de estado da simulação no Cenário 5.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

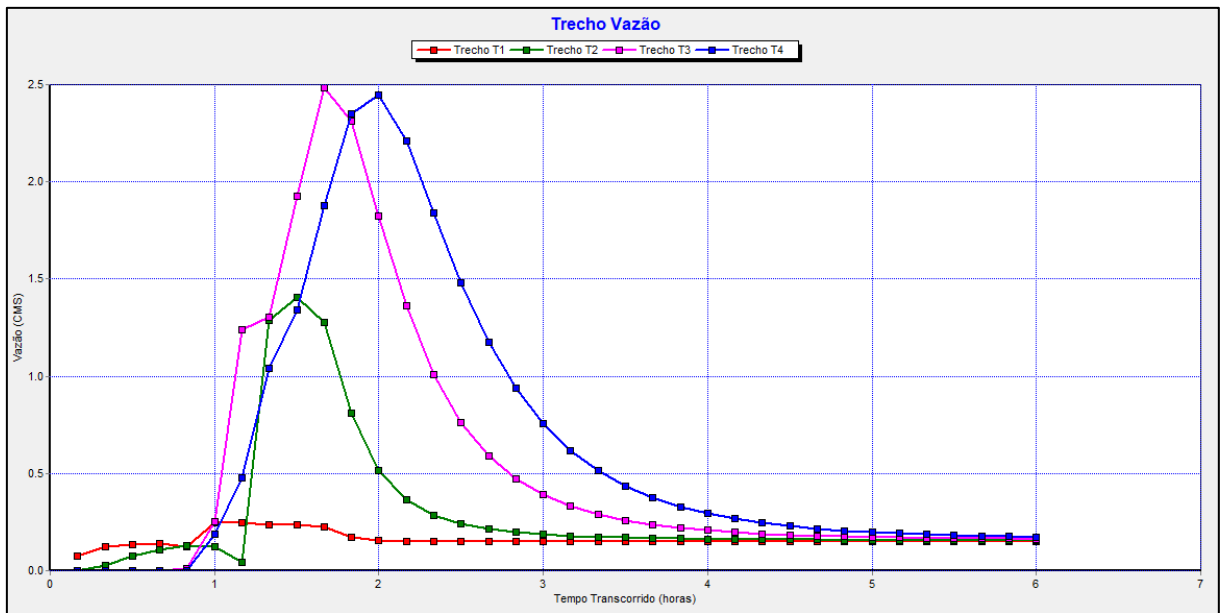
As vazões máximas por trecho estão listadas na Tabela 14, juntamente com a porcentagem de redução em comparação com a área de estudo sem os LIDs, conforme apresentado no Cenário 4. Os resultados podem ser visualizados na Figura 39 Figura 29.

**Tabela 14. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 5.**

Trecho	Vazão máxima com LIDs (m <sup>3</sup> /s)	Redução da vazão com os LIDs existentes (%)
01	0,24	7,69
02	1,407	46,13
03	2,484	38,12
04	2,447	41,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

**Figura 39. Vazão por trecho no Cenário 5 em (m<sup>3</sup>/s).**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

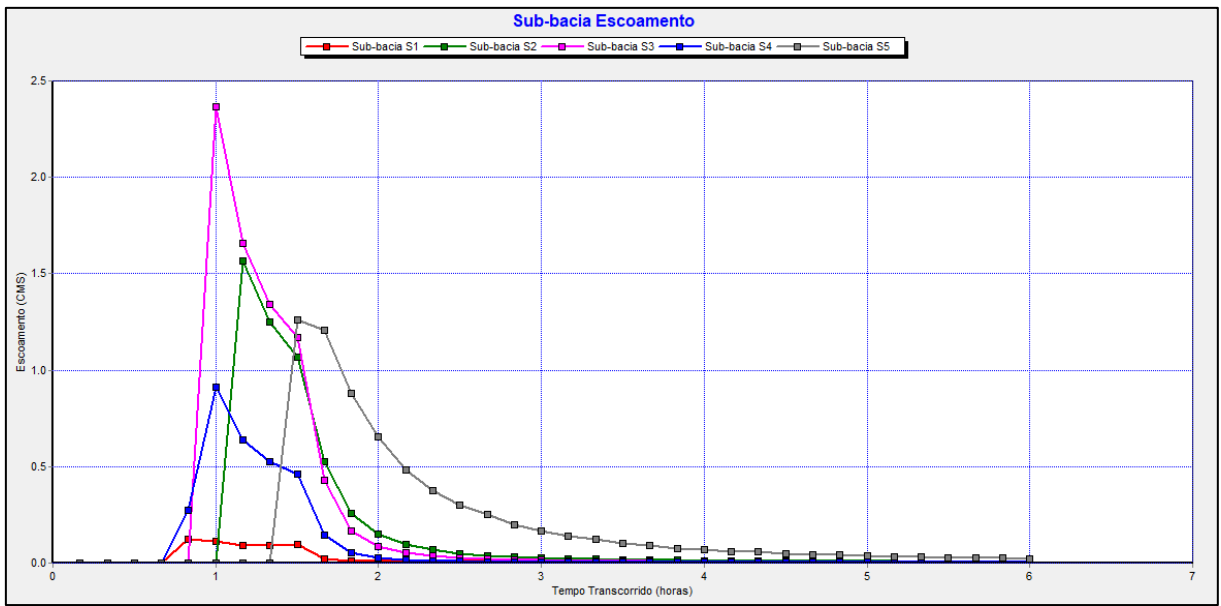
Assim como no Cenário 4, foram observados os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia no Cenário 5, em m<sup>3</sup>/s. Os escoamentos por sub-bacia estão listados na Tabela 10 e os resultados podem ser visualizados na Figura 40.

**Tabela 15. Escoamento nas sub-bacias para o Cenário 5.**

Sub-bacia	Escoamento (m <sup>3</sup> /s)
01	0,1
02	1,657
03	2,366
04	0,911
05	1,26

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

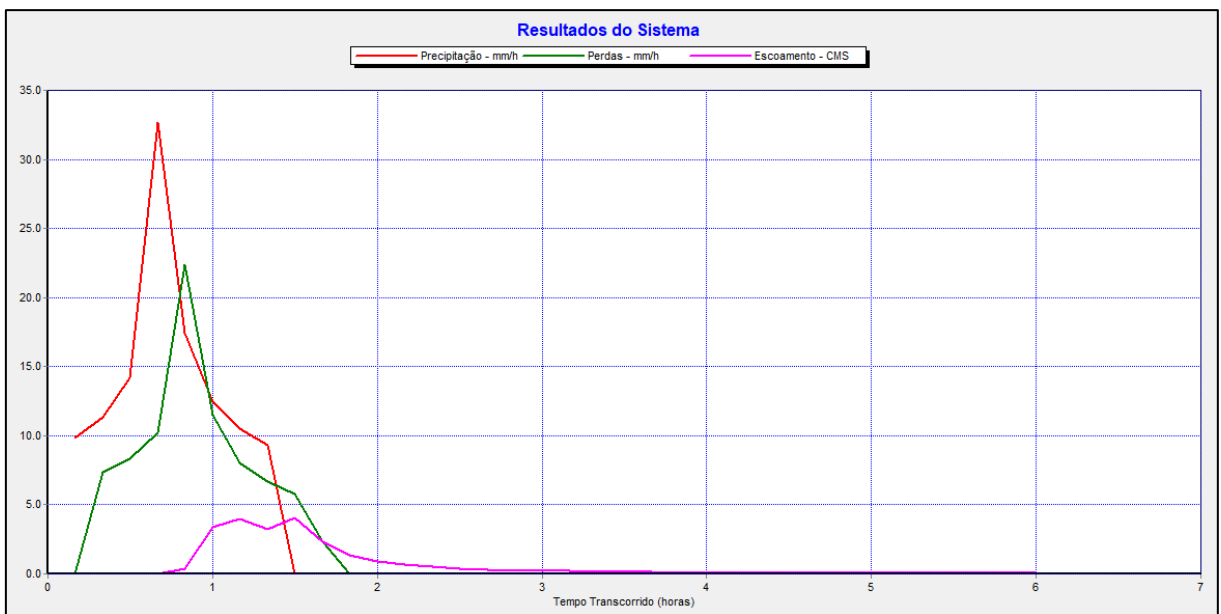
**Figura 40. Escoamento por sub-bacia no Cenário 5 em (m<sup>3</sup>/s).**



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A Figura 41 apresenta o resultado obtido para precipitação perdas e escoamento no Cenário 5, considerando todo o sistema. Conforme já mencionado, os valores de precipitação e perdas se mantiveram os mesmos em todos os cenários. Em relação ao escoamento, o Cenário 2 resultou em um escoamento de 4,059 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 41. Resultado de precipitação (mm/h), perdas (mm/h) e escoamento (m<sup>3</sup>/s) para o Cenário 5.**

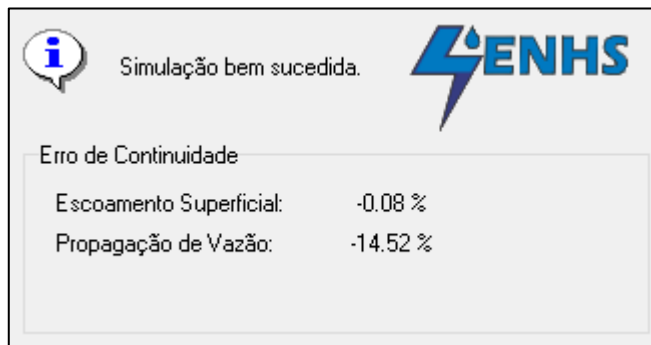


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 5.2.6 Cenário 6 – TR100 (condições atuais com LIDs existentes e bacia de detenção):

A Figura 42, apresenta o resultado obtido para o erro de continuidade no Cenário 6, do qual encontra-se acima da recomendação estabelecida no manual.

Figura 42. Relatório de estado da simulação no Cenário 6.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

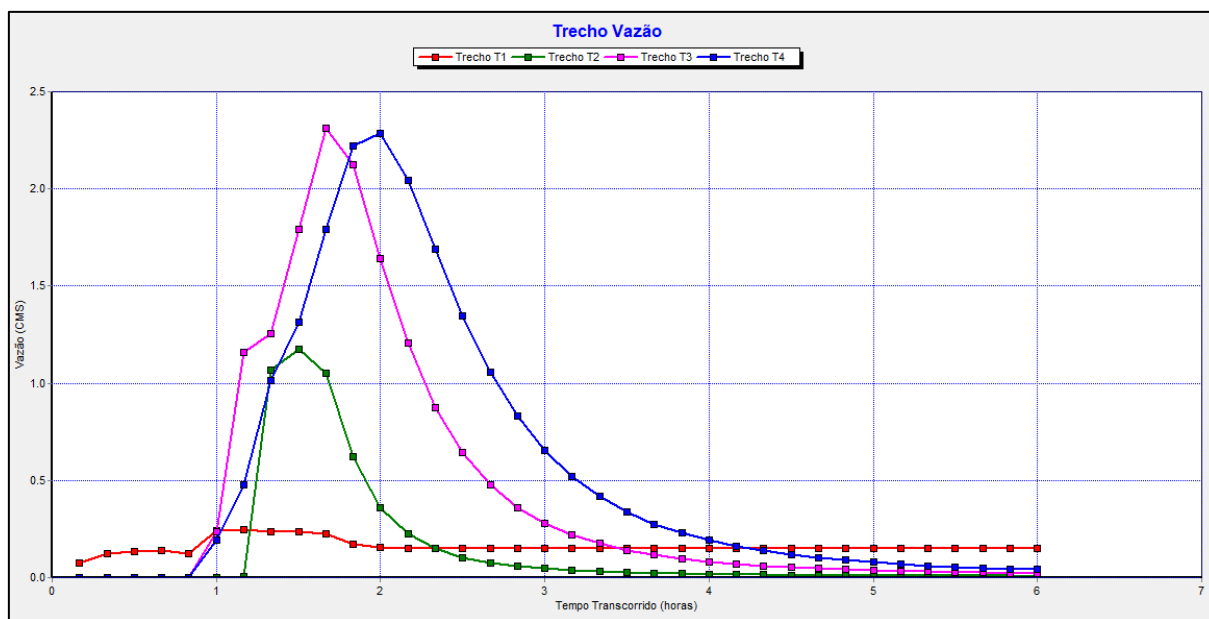
As vazões máximas por trecho estão listadas na Tabela 11, juntamente com a porcentagem de redução em comparação com a área de estudo sem técnicas compensatórias, conforme apresentado no Cenário 4. Os resultados podem ser visualizados na Figura 43. Observa-se que a redução ocorre após o trecho 01, devido à localização da bacia de detenção, que foi instalada logo após esse trecho.

Tabela 16. Vazões máximas nos trechos para o Cenário 6.

Trecho	Vazão máxima com LIDs+ Bacia de detenção (m <sup>3</sup> /s)	Redução da vazão com os LIDs existentes + Bacia de detenção (%)
01	0,24	7,69%
02	1,177	54,94%
03	2,312	42,40%
04	2,286	45,26%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 43. Vazão por trecho no Cenário 6 em (m<sup>3</sup>/s).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Assim como nos cenários anteriores, foram observados os valores de escoamento obtidos para cada sub-bacia no Cenário 6, em m<sup>3</sup>/s. No entanto, esses valores permaneceram iguais aos do Cenário 5, sem alterações após a instalação da bacia de detenção. Conseqüentemente, o escoamento do sistema como um todo também se manteve inalterado.

## 6 DISCUSSÃO

A análise dos cenários hidrológicos simulados utilizando o software SWMM permitiu uma compreensão detalhada dos padrões de escoamento e da eficácia das intervenções propostas na bacia hidrográfica do rio João Gualberto. Os resultados obtidos para os seis cenários apresentam um panorama claro dos desafios enfrentados e de potenciais soluções para mitigar os problemas de inundação frequentes na região.

Nos Cenários 1 e 4, que representam as condições atuais sem a aplicação de técnicas compensatórias, considerando chuvas com tempos de retorno de 50 e 100 anos, respectivamente, observou-se que a qualidade da simulação não foi satisfatória. Os erros de continuidade foram maiores que os valores máximos permitidos pelo manual do SWMM (-0,05% para o escoamento superficial e -0,064% para a propagação do fluxo), atingindo -0,08% e -3,51%, respectivamente, para o tempo de retorno de 50 anos e -0,08% e -3,44%, respectivamente, para o tempo de retorno de 100 anos. As vazões máximas por trecho variaram

significativamente, com valores que atingiram até 3,74 m<sup>3</sup>/s e 4,176 m<sup>3</sup>/s no trecho 03 dos cenários 1 e 4, respectivamente.

As sub-bacias apresentaram vazões máximas de até 3,254 m<sup>3</sup>/s e 3,709 m<sup>3</sup>/s, na sub-bacia dos cenários 1 e 4, respectivamente.

O escoamento total do sistema alcançou 8,83 m<sup>3</sup>/s no cenário 1 e 10,3 m<sup>3</sup>/s no cenário 4, evidenciando a necessidade de intervenções para controlar o fluxo e reduzir as inundações. Observou-se, ainda, que a vazão máxima simulada para o cenário 1 (8,99 m<sup>3</sup>/s) resultou num valor diferente da vazão máxima estimada para o dimensionamento do reservatório (24,62 m<sup>3</sup>/s), indicando uma possível necessidade de revisão nos parâmetros de modelagem utilizados.

No Cenário 2 e 5, foram incorporadas técnicas de Desenvolvimento de Impacto Limitado (LIDs), resultando em uma significativa redução nas vazões máximas. No entanto, a qualidade da simulação também não foi satisfatória, com erros de continuidade de -0,08% para o escoamento superficial e -13,54% para a propagação do fluxo, no cenário 2 e de -0,08% para o escoamento superficial e -12,61% para a propagação do fluxo, no cenário 5, superando os limites estabelecidos pelo manual do SWMM. As reduções de vazão variaram de 14,06% no trecho 01 a 50% no trecho 04, para o cenário 5 e de 7,69% no trecho 01 a 46,13% no trecho 02. As sub-bacias também mostraram reduções notáveis nas vazões máximas. O escoamento total do sistema diminuiu para 3,037 m<sup>3</sup>/s, no cenário 2 e de 4,059 m<sup>3</sup>/s, no cenário 5, demonstrando a eficácia dos LIDs em controlar o fluxo de água e mitigando os problemas de inundação.

No Cenário 3 e 6, além das LIDs, foi incluída uma bacia de retenção, localizada estrategicamente após o trecho 01. Esta combinação resultou em uma redução ainda maior nas vazões máximas. No entanto, a simulação continuou apresentando erros de continuidade elevados, com -0,08% para o escoamento superficial e -15,78% para a propagação do fluxo, para o cenário 3 e de -0,08% para o escoamento superficial e -14,52% para a propagação do fluxo, para o cenário 6.

As reduções de vazão variaram de 14,06% no trecho 01 e de 59,06% no trecho 02, para o cenário 3 e de 7,69% no trecho 01 a 54,94% no trecho 02, no cenário 6. No entanto, os valores de escoamento por sub-bacia permaneceram inalterados em relação aos Cenários 2 e 4, indicando que a bacia de retenção teve um impacto limitado na alteração do escoamento a montante. O escoamento total do sistema, portanto, também se manteve semelhante ao observado nos Cenários 2 e 4, respectivamente.



Os resultados dos seis cenários mostram que a implementação de LIDs, combinada com uma bacia de retenção, pode efetivamente reduzir as vazões máximas e o escoamento total, mitigando os riscos de inundação na bacia hidrográfica do rio João Gualberto. A localização estratégica da bacia de retenção é crucial para maximizar a redução das vazões, como evidenciado pela diferença significativa observada após o trecho 01 nos Cenário 3 e 6. No entanto, a persistência de erros de continuidade elevados sugere que as intervenções devem ser cuidadosamente planejadas e possivelmente combinadas com outras medidas de controle de fluxo para otimizar os resultados.

Os estudos e simulações conduzidos destacam a necessidade de uma abordagem integrada para a gestão de águas pluviais em bacias urbanas. Apesar dos LIDs terem demonstrado potencial para reduzir as vazões máximas e o escoamento total, a adição de dispositivos como bacias de retenção não conseguiu melhorar a correspondência entre os resultados simulados e a realidade observada. O erro de continuidade identificado em todos os cenários sugere que o modelo precisa de ajustes e calibrações para refletir mais precisamente as condições reais. Portanto, é crucial revisar e aprimorar as técnicas de modelagem utilizadas, levando em consideração as características específicas de cada trecho e sub-bacia. Esses ajustes fornecerão uma base mais sólida para futuras estratégias de planejamento e gestão hidrológica na bacia do rio João Gualberto, visando a mitigação mais eficaz dos problemas de inundação e o avanço em direção a um desenvolvimento urbano mais sustentável.

## 7 CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou a eficácia de técnicas de drenagem urbana sustentável, como as LIDs e bacias de retenção, na mitigação dos problemas de inundação na bacia do rio João Gualberto. A modelagem com o SWMM revelou que, apesar de algumas limitações na simulação, essas intervenções têm o potencial de reduzir significativamente as vazões máximas e o escoamento total, contribuindo para uma gestão mais eficaz das águas pluviais.

No entanto, a ocorrência de erros de continuidade destaca a necessidade de calibração do modelo e de coleta de dados mais detalhados para refinar as previsões e garantir que as soluções propostas sejam viáveis e eficazes na prática. Esses ajustes são fundamentais para que as intervenções tenham um impacto real e duradouro na mitigação das inundações.

A necessidade de calibração do modelo SWMM é um ponto recorrente em estudos. Um trabalho anterior indicou que a precisão das simulações pode ser aprimorada com dados mais detalhados e calibrações adicionais, o que é essencial para garantir a viabilidade das intervenções propostas (JÚNIOR, 2023). Outro estudo destacou que a modelagem hidrológica com o SWMM não apenas ajuda a prever eventos de inundação, mas também a evitar gastos desnecessários em obras, contribuindo para uma gestão mais eficiente das águas pluviais (JÚNIOR, 2023).

## 8 RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste estudo têm implicações diretas para a gestão urbana e o planejamento de infraestruturas na bacia do rio João Gualberto. Para gestores públicos e urbanistas, recomenda-se:

1. **Implementação Gradual e Monitoramento Contínuo:** Iniciar a aplicação das técnicas de LIDs e bacias de retenção de forma gradual, acompanhada de um sistema de monitoramento contínuo, para ajustar as intervenções conforme necessário e garantir que os objetivos de mitigação de inundações sejam alcançados.
2. **Integração com Políticas Públicas:** Incorporar essas soluções em planos diretores e políticas públicas voltadas ao desenvolvimento urbano sustentável, garantindo que as práticas de gestão de águas pluviais sejam parte integrante do planejamento urbano.
3. **Participação Comunitária:** Envolver a comunidade local no processo de planejamento e execução das intervenções, assegurando que as soluções atendam às necessidades e preocupações dos residentes, aumentando a aceitação e a eficácia das medidas.
4. **Exploração de Soluções Sustentáveis:** Considerar a implementação de soluções sustentáveis adicionais, como parques inundáveis, que não só complementam as técnicas analisadas, mas também oferecem benefícios ambientais e sociais, como a criação de áreas verdes e a melhoria da qualidade de vida.

Ao adotar essas recomendações, gestores públicos e urbanistas podem utilizar os insights deste estudo para desenvolver uma abordagem integrada e eficaz na gestão das águas pluviais, promovendo um desenvolvimento urbano mais resiliente e sustentável na bacia do rio João Gualberto.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Mariele de Souza Parra; POLETO, Cristiano. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 121-131, 13 dez. 2012. Lepidus Tecnologia. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/holos.v12i2.3054>. Acesso em: 07 abr. 2024.
- BACK, Á.J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J.L.R. **Duration-Frequency relationships of heavy rainfall in Santa Catarina**, Brazil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1015-1022, 2011.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2. Ed. Porto Alegre: Editora ABRH, 2011. 318 p.
- BATTEMARCO, Bruna Peres; YAMAMOTO, Lilian; VERÓL, Aline Pires; RÊGO, Andréa; VASCONCELLOS, Virgínia; MIGUEZ, Marcelo Gomes. Sistemas de espaços livres e drenagem urbana. **Paisagem e Ambiente**, [S.L.], n. 42, p. 55-74, 19 dez. 2018. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i42p55-74>. Acesso em: 25 abr. 2024.
- BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana**: estudo de caso da cidade de Tupã/SP. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/83532/86472>. Acesso em: 01 abr. 2024.
- BERTONI, J. C. **Simulação matemática de uma cheia urbana sob condições de registros escassos: Aplicação do modelo SWMM**. In: Drenagem Urbana - Gerenciamento, Simulação e Controle. Ed. Da Universidade UFGRS, ABRH, Porto Alegre, 1998.
- BEZERRA, Maria do Carmo de Lima et al. **Simulação de técnicas de infraestrutura verde de drenagem urbana para captação do escoamento superficial**. 2020. Disponível em: [http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/39627/1/ARTIGO\\_SimulacaoTecnicaInfraestrutura.pdf](http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/39627/1/ARTIGO_SimulacaoTecnicaInfraestrutura.pdf). Acesso em: 08 abr. 2024.
- BIER, F. B. **Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- CETESB. **Reuso de água**. 2005. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 08 abr. 2024.
- COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/publico/COLLODEL.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.
- Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH. Resolução CERH N°01/2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água de Santa Catarina e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado n°18.409, de julho de 2008. 2008**. Disponível em: [https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib\\_top/mvs/conselho/resolucao/Resolucao\\_CERH\\_n\\_2008\\_01\\_classifica\\_corpos\\_dagua.pdf](https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/mvs/conselho/resolucao/Resolucao_CERH_n_2008_01_classifica_corpos_dagua.pdf). Acesso em: 01 mai. 2024.

CRUZ, Marcus Aurelio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos**. Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. vol. 3, n. 4 (out./dez. 1998), p. 19-31, 1998. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/233482>. Acesso em: 03 abr. 2024.

CUNHA, S. F., SILVA, F. E. O., MOTA, T. U., Pinheiro, M. C. . Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 837-848, 2015. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/RBRHRevistabrasileiraderecursoshidricos/2015/vol20/no4/2.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2024.

DAEE/CETESB. **Drenagem urbana**: Manual de projeto. São Paulo, 1980. 468 p.

DE ARAÚJO, Elienê Pontes; TELES, Mércia Gabriely Linhares; LAGO, Willinielsen Jackieline Santos. **Delimitação das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE, 2009. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.07.25/doc/4631-4638.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2024.

DEPARTMENT OF WATER AND SWAN RIVER TRUST. **Stormwater Management Manual for Western Australia**: Structural controls. Department of Water and Swan River Trust, Perth, Western Australia, p. 194, 2007.

DREMAP. UFSC (LAUTEC)/PMF. Diagnóstico Participativo da Drenagem Urbana de Florianópolis. Florianópolis: LAUTEC, 2019

DREMAP. UFSC (LAUTEC)/PMF. Diagnóstico Participativo da Drenagem Urbana de Florianópolis. Florianópolis: LAUTEC, 2019.

EMBRAPA. **Argissolos Vermelho-Amarelos**. 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-vermelho-amarelos#:~:text=Os%20Argissolos%20Vermelho%2DAmarelos%20\(PVA,de%20ferro%20hematita%20e%20goethita](https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-vermelho-amarelos#:~:text=Os%20Argissolos%20Vermelho%2DAmarelos%20(PVA,de%20ferro%20hematita%20e%20goethita). Acesso em: 30 abr. 2024.

EMBRAPA. Bioma Cerrado - **AQ/NQ**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-cerrado/solo/tipos-de-solo/aq/-/nq>. Acesso em: 29 abr. 2024.

EMBRAPA. **Neossolos Quartzarênicos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-quartzarenicos#:~:text=Autores&text=Na%20Zona%20da%20Mata%20Sul,marinhos%20do%20per%20C3%ADodo%20do%20Holoceno>. Acesso em: 30 abr. 2024.

Environmental Protection Agency (EPA). **Storm Water Management Model (SWMM)**. Washington, D.C. Environmental Protection Agency. 2015. Disponível em: [https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-swmm/manual\\_swmm.pdf](https://ct.ufpb.br/lenhs/contents/documentos/programa-swmm/manual_swmm.pdf). Acesso em: 22 jun. 2024.

FUCHS L.; SCHEFFER, C., **Hystem-extran - Improvements to EOA-EXTRAN**. Water Science Technology, volume 29, n. 1-2 pag. 63-71, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0652>. Acesso em: 14 abr. 2024.

GARCIA, J.I.B., **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela**. Dissertação de Mestrado, UFSM, Santa Maria, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7668/JOAQUIN%20GARCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 abr. 2024.

GOLDENFUM, Joel Avruch. Reaproveitamento de águas pluviais. **Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura. Passo Fundo. Simpósio Nacional sobre o Uso da Água na Agricultura**, v. 1, p. 1-14, 2006. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/wp-content/uploads/2023/05/boletim-do-saneamento-reaproveitamento-de-aguas-pluviais.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.

HACKETT, D.; CRAWFORD, D.; SCHENK, J.; STINSON, M. K., **Verification of Urban Runoff Models. In.: Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Storm Drainage**. Global Solutions for urban Storm Drainage. CD-ROM. Portland, 2002. Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40644\(2002\)124](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40644(2002)124). Acesso em: 14 abr. 2024.

HESPANHOL, Ivanildo et al. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7\\_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/101/2371239d0aaf41e014681d6d437c79e7_f553b090dfd516bcc00c055844c42f21.pdf). Acesso em: 08 abr. 2024.

HSU, M.H, CHEN, S.H., CHANG, T.J., **Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system**, Journal of Hydrology, Volume 234, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00237-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00237-7). Acesso em: 14 abr. 2024.

IBGE. Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA) - **Mapeamento de Recurso Naturais (MRN)** - Escala 1:250 000 - Versão 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 29 abr. 2024.

KERN, P. **Estimativa de fluxos na interface sedimento-água em diferentes regiões de uma laguna subtropical**: Lagoa da Conceição – Florianópolis/SC. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211426/PGEA0652-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 08 abr. 2024.

JÚNIOR, James de Melo Sampaio et al. **Modelagem de Sistema de Drenagem com Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID)**. Paranoá, n. 34, p. 1-21, 2023.

LIMBERGER, Leila; SILVA, Maria Elisa Siqueira. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 20, n. 3, p. 657-675, 2016. Disponível em: <https://typeset.io/pdf/precipitacao-na-bacia-amazonica-e-sua-associacao-a-po919xdjpr.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2024.

LUCAS, Alessandro Hirata; SOBRINHA, Loide Angelina; MORUZZI, Rodrigo Braga; BARBASSA, Ademir Paceli. **Avaliação da construção e operação de técnicas compensatórias de drenagem urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil.** Eng Sanit Ambient. São Paulo, SP. V.20, n.1 (jan./mar. 2015), p17-28, 2015. Disponível em: DOI:10.1590/S1413-41522015020000079923. Acesso em: 25 abr. 2024.

LUIZ, E. L., SANTOS, L. A., ROSA, J. P. O. **Criação de áreas de risco: os problemas com alagamentos no distrito do Rio Vermelho, Florianópolis/SC.** Geosul, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 75-101, ago. 2019. Disponível em: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p75>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MARASLIS, G. T. **Influência do uso e ocupação do solo na geração de escoamento superficial de uma pequena bacia costeira utilizando o modelo SWAT.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Programa de PósGraduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia é suficiente?.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Jul./2012. pág. 1-11, 2012. Disponível em: [http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=gestao\\_da\\_drenagem\\_urbana.\\_so\\_tecnologia\\_sera\\_suficiente.pdf](http://wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=gestao_da_drenagem_urbana._so_tecnologia_sera_suficiente.pdf). Acesso em: 25 abr. 2024.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P.; TCHOBANOGLIOUS, Georg. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse.** New York: McGraw-Hill, 1991.

NETO, A. T. **Simulação de sistemas de drenagem urbana sustentável aplicada em um loteamento urbano utilizando o EPA SWMM.** 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2019.

PARK, H.; JOHSON, T. J., **Hydrodynamic Modeling in Solving Combined Sewer Problems: A Case Study.** Water Resources Vol. 32, nº 6 pp. 1948-1956, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00412-0](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00412-0). Acesso em: 14 abr. 2024.

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, 15-23, 2000. Disponível em: [https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a\\_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/46/c6be0bdb36e71f441b574b6a63d5a75a_2d24ccc39dcc0666232d4d538fcef31f.pdf). Acesso em: 25 abr. 2024.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** 4. ed. São Carlos: EESC/ USP, 2006.

PROENÇA, Mylena Teixeira; DE ALMEIDA, Átila Batista; BERTICELLI, Ritielli. **PAVIMENTO PERMEÁVEL: MINIMIZANDO ENCHENTES URBANAS.** Disponível em: <https://www.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2019/XXIV%20SEMINARIO%20INTERINSTITUCIONAL/Mostra%20de%20Iniciacao%20Cientifica/Ciencias%20Exatas,%20agrarias%20e%20engenharias/RESUMO%20EXPANDIDO/PAVIMENTO%20PERME%C3%81VEL%20-%20MINIMIZANDO%20ENCHENTES%20URBANAS%20-%2009151.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2024.

Projeto MapBiomias – **Coleção 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.** Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

PULLAR, David; SPRINGER, Darren. Towards integrating GIS and catchment models. **Environmental Modelling & Software**, v. 15, n. 5, p. 451-459, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(00\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00023-2). Acesso em: 14 abr. 2024.

REZENDE, O. M. **Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais aplicado à Baixada Fluminense**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, p. 840, 1998

RIGHETTO, Antônio Marozzi. **Manejo de águas pluviais urbanas**. 2009. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/5589>. Acesso em: 08 abr. 2024.

ROSSMAN, Lewis A. et al. **Storm water management model user's manual, version 5.0**. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 2010. Disponível em: [https://vistula.wis.pk.edu.pl/~rp/dydaktyka/epaswmm5\\_user\\_manual.pdf](https://vistula.wis.pk.edu.pl/~rp/dydaktyka/epaswmm5_user_manual.pdf). Acesso em: 12 abr. 2024.

SILVA, J.P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. 2007. Dissertação de (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054/4903> .Acesso em: 01/04/2024.

SILVA, K.A. **Análise da eficiência de métodos de controle de Enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM Storm Water management model 126f**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2007. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tesdeserver/api/core/bitstreams/eb989e23-fb29-412a-8225-9127add11948/content>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SOUZA, R. M.; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial—caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 5, n. 2, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/reec.v5i2.20176>. Acesso em: 12 abr. 2024.:

TASSI, R.; POLETO, C. **Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas**. In: POLETO, Cristiano. Introdução ao Gerenciamento Ambiental. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 314 p., 2009

TUCCI, C. E. M. **Urbanização e Recursos Hídricos**. In: BICUDO, C. E. M. (Org.); TUNDISI, J. G. (Org.); SCHEUENSTUHL, M. C. B. (Org.). Águas do Brasil: Análises Estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. cap. 7, p. 113-128.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario Thadeu Leme de. **Drenagem urbana**. 1995.

TUCCI, Carlos EM. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33435134/GestaoAguasPluviaisUrbanas-libre.pdf?1397116275=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGestao\\_de\\_Aguas\\_Pluviais\\_Urbanas.pdf&Expires=1712580309&Signature=hHbqw6nnwt3rCI6PeSkzKrGqvVAge5EqZqITjjA4CngqhzL5EHpeI9qxyFH8O4NhStA5i0R1TSu78~9HCFPSa5BbPzlyGFGct9F7Y0v3kjeVOIc7rIfnBqeOxAuP70FkbGNv2yb5VjMEziIDj](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33435134/GestaoAguasPluviaisUrbanas-libre.pdf?1397116275=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGestao_de_Aguas_Pluviais_Urbanas.pdf&Expires=1712580309&Signature=hHbqw6nnwt3rCI6PeSkzKrGqvVAge5EqZqITjjA4CngqhzL5EHpeI9qxyFH8O4NhStA5i0R1TSu78~9HCFPSa5BbPzlyGFGct9F7Y0v3kjeVOIc7rIfnBqeOxAuP70FkbGNv2yb5VjMEziIDj)



DoZUnqK2E54xketx7wzsbop8~nyMRRqe8pIgi5ohh0YrASsdPTuuK~HlQvfcXakkmt5IAdSonDYgy~bRBWTRPiAguIucBZNZHuO~WIV7cUI0B6GTE4I2uGo0~AQpl1Xcwt1R2O8ws5oHMDmGwr0Lcu~T8~iOQWo-yWjbAGaZfmPXvnK9-oEABbTiRTifw8mQHg\_\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 04 abr. 2024.

VILLARREAL, E.; BENGTTSSON, L.; NIEMCZYNOWICZ, J; ZHANG, L. **Extension of Storm Water System at Ostra Torn**, Lund. In.: Proceedings of the Ninth International Conference on Urban Storm Drainage. Glibal Solutions for urban Storm Drainage. CD-ROM. Portland, 2002.

WINKLER, Antoniony Severo et al. Estimativa do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica: comparação entre metodologias. In: **XCIII CIC–Congresso de Iniciação Científica, do XI ENPOS. I Mostra Científica**, Universidade Federal de Pelotas, Brasil. 2009. Disponível em: [https://www2.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/EN/EN\\_00388.pdf](https://www2.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/EN/EN_00388.pdf). Acesso em: 23 mai. 2024.

YAZAKI, L. F. O. L. et al. **Projeto Técnico: Pavimento Permeável**. 2013. Disponível em: [em:<https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj\\_tec\\_pav\\_permeavel.pdf>](https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj_tec_pav_permeavel.pdf) Acesso em: 01 de abril 2024.