

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

EFEITO DA INTRODUÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO
SOBRE A DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS:
Estudo de caso numa área urbana em Juiz de Fora, MG

LEONARDO LEON LEITE MOREIRA

São Carlos

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

EFEITO DA INTRODUÇÃO DE BACIAS DE DETENÇÃO
SOBRE A DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS:
Estudo de caso numa área urbana em Juiz de Fora, MG

LEONARDO LEON LEITE MOREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr Daniel Jadyr Leite Costa

São Carlos

2024

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Daniel Jadyr Leite Costa, meu orientador, pelo aconselhamento assertivo, orientações pertinentes, apoio permanente e disponibilidade na realização de todo o meu trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana da UFSCar pelos ensinamentos, auxílios e suporte, tanto nas aulas, como na construção do meu projeto. Em especial, faço menção a dois professores que foram essenciais para o desenvolvimento do meu projeto, à Professora Doutora Anaí Vasconcelos e ao Professor Doutor Ademir Barbassa (in memoriam).

Aos professores que fizeram parte da minha banca examinadora, Professor Doutor Celso Bandeira e Professor Doutor Bernardo Nascimento que foram fundamentais no início da construção da minha pesquisa e, especialmente, na sua revisão final. Agradeço também a Professora Doutora Maria Fernanda Nóbrega que teve importante participação neste trabalho, auxiliando na revisão do projeto e do trabalho escrito.

À Prefeitura de Juiz de Fora que me possibilitou participar deste programa de pós-graduação e permitiu acesso aos dados relevantes para dar prosseguimento ao trabalho realizado. Em especial, aos meus colegas de trabalho pelo incentivo e apoio nesta etapa.

Agradeço a DEUS pelas oportunidades concedidas a mim, pela tranquilidade nos momentos de fraqueza e pela força para vencer os desafios.

Ao meu Pai, minha Mãe e meu Irmão, pelo amor, carinho, exemplo e incentivo que sempre me deram. Amo vocês.

À minha futura esposa Lara Faria, pelo amor, pela presença constante e paciência, sendo o meu porto seguro nos momentos mais importantes nesta caminhada.

E a todos os amigos que participaram, de alguma forma, desta jornada, me dando forças e encorajamento.

RESUMO

O modo como ocorre o desenvolvimento urbano das cidades geralmente acarreta grandes alterações do meio físico, como o aumento das demandas de recursos naturais, a degradação do meio ambiente e a alteração da superfície natural. Com o processo de urbanização, as superfícies dos centros urbanos tendem a se tornarem impermeáveis, o que altera o ciclo hidrológico natural da água. Com o aumento dos índices de escoamento superficial gerado por esta impermeabilização, há a necessidade de implantação de sistemas de manejo de águas pluviais mais robustos e complexos. Devido aos cenários recorrentes de inundações observadas ao longo dos últimos anos, as discussões sobre drenagem urbana têm se tornado frequentes, principalmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. Nestas discussões, conceitos sustentáveis de drenagem urbana têm ganhado destaque, onde tem sido realizadas inúmeras pesquisas sobre a sua aplicação. Porém, ainda se percebe que existem desafios a serem superados para compreendermos melhor o uso de técnicas mais sustentáveis que buscam restituir, de certa maneira, o ciclo natural das águas. Diante deste cenário, este trabalho visa aplicar a modelagem hidrológica em uma área de reconhecida vulnerabilidade social no município de Juiz de Fora-MG, suscetível a inundações recorrentes. Mesmo tendo uma ocupação urbanizada, esta área, distante do centro urbano do município, tem sofrido poucas ações por parte do poder público, similar ao que ocorre em muitas áreas vulneráveis no Brasil. Através da utilização de um modelo pré-definido, espera-se simular a aplicação de bacias de retenção na área em questão, como também a aplicação de técnicas mais convencionais, a fim de avaliar o impacto gerado no sistema de macrodrenagem local. Após a realização das simulações propostas, espera-se obter, a título de comparação, uma relação entre os custos de implantação, manutenção e operação destas abordagens.

Palavras-chaves: Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável. Bacias de Detenção. Modelagem Hidrológica. Modelo de Gerenciamento de Águas Pluviais.

ABSTRACT

The way urban development occurs in cities generally leads to major changes in the physical environment, such as increased demands on natural resources, environmental degradation, and alteration of the natural surface. With the process of urbanization, the surfaces of urban centers tend to become impervious, which alters the natural hydrological cycle of water. With the increase in surface runoff rates generated by this sealing, there is a need to implement more robust and complex stormwater management systems. Due to the recurrent flooding scenarios observed in recent years, discussions on urban drainage have become frequent, especially in developing countries such as Brazil. In these discussions, sustainable approaches to urban drainage have gained prominence, and much research has been conducted on their application. However, it is still clear that there are challenges to be overcome to better understand the use of more sustainable techniques that seek to restore, in some way, the natural water cycle. Given this scenario, this work aims to apply hydrological modeling in an area of recognized social vulnerability in the municipality of Juiz de Fora-MG, susceptible to recurrent flooding. Despite having an urbanized occupation, this area, far from the urban center of the municipality, has suffered few actions by public authorities, as happens in many vulnerable areas in Brazil. Using a predefined model, it is expected to simulate the application of detention basins in the area in question, as well as the application of more conventional techniques, to evaluate the impact generated on the local macrodrainage system. After carrying out the proposed simulations, it is expected to obtain, by way of comparison, a relationship between the implementation, maintenance, and operating costs of these approaches.

Keywords: Sustainable Urban Drainage Systems. Detention Basins. Hydrological Modeling. Storm Water Management Model.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Justificativa.....	15
1.2.	Objetivos da Pesquisa.....	15
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.	Gestão do Manejo das Águas Pluviais.....	16
2.2.	Drenagem Convencional.....	17
2.3.	Drenagem Sustentável.....	19
2.4.	SUDS - Sistema Urbano de Drenagem Sustentável	21
2.4.1.	Pavimentos Permeáveis.....	21
2.4.2.	Sistemas de Biorretenção	22
2.4.3.	Trincheiras de Infiltração	23
2.4.4.	Sistemas de captação e reservação de água de chuva	24
2.4.5.	Poços de infiltração	25
2.4.6.	Bacias de detenção e retenção	26
2.5.	Modelagem Hidrológica.....	27
2.5.1.1.	<i>Storm Water Management Model – SMWW</i>	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1.	Seleção e Buscas de Dados Relevantes para a Pesquisa.....	31
3.2.	Modelagem Hidráulico-Hidrológica.....	32
3.2.1.	<i>Aplicação da ferramenta Storm Water Management Model – SMWW</i>	32
3.2.2.	<i>Parâmetros hidrológicos e hidráulicos adotados para a construção dos modelos</i>	33
3.2.3.	<i>Construção dos modelos hidráulico-hidrológico</i>	34
3.3.	Análise Comparativa dos Modelos	36
4.	OBJETO DE ESTUDO	37
4.1.	Caracterização da Área de Estudo.....	37

4.2.	Criação do Modelo Hidrológico Inicial	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1.	Resultados Obtidos nas Simulações dos Modelos Hidrológicos	49
5.1.1.	Modelo Hidrológico Inicial – Cenário 1	50
5.1.2.	Modelo para sistema de drenagem convencional – Cenário 2.....	52
5.1.3.	Modelo para Bacias de Detenção – Cenário 3.....	57
5.2.	Estimativa dos Custos para a Implementação dos Modelos	62
5.2.1.	Proposta de composição de serviços para os canais com revestimento em concreto armado	64
5.2.2.	Proposta de composição de serviços para canais com revestimento em gabião tipo caixa.....	65
5.2.3.	Proposta de composição de serviços para a implantação dos muros de contenção de cheias em concreto armado.	66
5.2.4.	Proposta de composição de serviços para a implantação de bacias de detenção abertas e gramadas.	67
5.2.5.	Obtenção dos custos totais de implantação, manutenção e operação dos cenários	68
5.2.6.	Síntese dos resultados encontrados	71
5.2.6.1.	Desempenho técnico dos cenários.....	71
5.2.6.2.	Desempenho econômico dos cenários.....	73
6.	CONCLUSÕES	74
7.	RECOMENDDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS	76
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
9.	ANEXOS	81

Lista de Figuras

Figura 1. Ciclo Hidrológico Natural da Água.....	17
Figura 2. Esquema padrão de sistema convencional de drenagem urbana.	18
Figura 3. Boca de Lobo combinada com grelha implantada no bairro Amazônia (à esquerda) e caixa de passagem em concreto armado implantada no bairro Salvaterra (à direita).....	18
Figura 4. Ala de lançamento de rede de drenagem implantada no bairro Salvaterra (à esquerda) e canalização aberta revestida em concreto no bairro Ipiranga (à direita).19	
Figura 5. Implantação de rede pluvial em PEAD no bairro Amazônia (a esquerda) e em manilhas de concreto no bairro Salvaterra (a direita).	19
Figura 6. Pavimento permeável com cobertura de gramínea.	22
Figura 7. Jardim de Chuva implantado nos EUA.	23
Figura 8. Trincheira de infiltração, associada a uma vala de infiltração, implantada no campus da UFSCar em São Carlos-SP.....	24
Figura 9 - Sistema domiciliar de captação de água de chuva de pequeno porte.....	25
Figura 10 – Sistema de captação de água de chuva de médio porte instalado em uma residência.	25
Figura 11. Poço de infiltração campus UFScar - São Carlos-SP.....	26
Figura 12. Bacia de retenção na Universidade de Lisboa – Portugal.	27
Figura 133. Fluxograma do projeto de pesquisa	31
Figura 144. Mapa de Uso e Ocupação do solo na bacia do córrego Igrejinha	34
Figura 155. Mapa de localização do município de Juiz de Fora	37
Figura 166. Imagem aérea do Bairro Igrejinha – Juiz de Fora / MG	38
Figura 177. Indicação da área de estudo e definição das sub-bacias - Bairro de Igrejinha - Juiz de Fora/MG	39
Figura 18. Objetos definidos na criação do modelo inicial no SWMM	41
Figura 19. Localização das seções definidas como referências para cada trecho ...	41
Figura 20. Imagem do ponto indicado como nó J1 (montante do trecho C1 e da área de estudo).....	43
Figura 21. Imagens ponto indicado como nó J2 (jusante do trecho C1).....	43
Figura 22. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C1 do canal natural	44
Figura 23. Imagens do trecho C2 do canal (jusante do ponto indicado como nó J2)	44

Figura 24. Imagens do trecho C2 do canal (montante do ponto indicado como nó J3)	45
Figura 25. Imagem aérea de parte do trecho C2 do canal natural	45
Figura 26. Imagens do trecho C3 do canal a jusante do nó J3 (esquerda) e a montante do nó J4 (direita)	46
Figura 27. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C3 do canal natural (trecho onde ocorre a mudança brusca de direção do córrego)	46
Figura 28. Imagens do trecho C4 do canal (presença de construções ribeirinhas)	47
Figura 29. Imagem aérea de parte do trecho C4 do canal natural com as duas margens ocupadas com construções ribeirinhas	47
Figura 30. Imagens do trecho C5 do canal (próximo ao ponto O1, exutório da área de estudo)	48
Figura 31. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C5 do canal natural	48
Figura 32. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do modelo digital construído representando o estado atual do canal	50
Figura 33. Nova seção proposta para o trecho C1	53
Figura 34. Nova seção proposta para o trecho C3 mantendo o traçado original do canal natural	53
Figura 35. Nova seção proposta para o trecho C3 com a retificação do canal	54
Figura 36. Nova seção proposta para o trecho C4	55
Figura 37. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do modelo convencional construído (mantendo o traçado original no trecho C3)	55
Figura 38. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do modelo convencional construído (com a retificação do córrego na sub-bacia S5)	56
Figura 39. Localização das opções de áreas para a implantação de bacias de detenção	58
Figura 40. Croqui da bacia de detenção projetada no ponto 2	59
Figura 41. Croqui da bacia de detenção projetada no ponto 3	59
Figura 42. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação cenário 03	60
Figura 43. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do cenário 03	61
Figura 44. Padrão tipo do SUDECAP para canais com revestimento em gabião tipo caixa	63
Figura 45. Padrão tipo do SUDECAP para canais com revestimento em concreto armado	63

Figura 46. Padrão tipo do SUDECAP para bacias de detenção abertas e gramadas	63
Figura 47. Hidrograma do Cenário 1	72
Figura 48. Hidrograma do Cenário 2	72
Figura 49. Hidrograma do Cenário 3	72

Lista de Tabelas

Tabela 1. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 01.....	51
Tabela 2. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 02.....	56
Tabela 3. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 02 com a criação do trecho C2.2 (retificação do córrego na sub-bacia S5). 57	
Tabela 4. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 03.....	61
Tabela 5. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de maior vazão do cenário 03 mantendo o limitante de 91% para o trecho C1.....	62
Tabela 6. Síntese dos custos totais de implantação dos dispositivos definidos em cada cenário.....	69
Tabela 7. Síntese dos custos anuais de manutenção e operação dos dispositivos definidos em cada cenários.....	69
Tabela 8. Capacidades máximas atingidas em cada trecho para cada cenário criado.....	71
Tabela 9. Vazões máximas no ponto de exutório para cada cenário.....	71
Tabela 10. Custos totais considerando vida útil de 30 anos.....	73

Lista de Quadros

Quadro 1. Tipos de modelos hidrológicos.....	28
Quadro 2. Descrição da composição de serviços para a implantação de canal com revestimento em concreto armado	64
Quadro 3. Descrição da composição de custo para a manutenção de canal com revestimento em concreto armado	65
Quadro 4. Descrição da composição de serviços para a implantação de canal com revestimento em gabião tipo caixa	66
Quadro 5. Descrição da composição de serviços para a manutenção de canal com revestimento em concreto armado	66
Quadro 6. Descrição da composição de serviços para a implantação de muro de contenção em concreto armado	67
Quadro 7. Descrição da composição de custo para a manutenção do muro de contenção de cheias (dique).....	67
Quadro 8. Descrição da composição de serviços para a implantação de bacia de retenção aberta e gramada.....	67
Quadro 9. Descrição da composição de serviços para a manutenção das bacias de retenção abertas e gramadas	68
Quadro 10. Descrição da composição de serviços voltados ao desassoreamento das bacias de retenção abertas e gramadas	71

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios do surgimento das cidades, o seu desenvolvimento se pautou na alteração do meio físico, foram considerados os aspectos naturais existentes, como o relevo, as vegetações e o caminho natural da água, prejudicando a qualidade de vida do próprio ser humano. Este tipo de ocupação ainda ocorre atualmente (TAVANTI E BARBASSA, 2012; SILVA, 2020).

De acordo com Tucci (2007), com o aumento das superfícies impermeáveis nas cidades, devido ao intenso processo de urbanização, o ciclo hidrológico natural é bastante alterado, reduzindo a capacidade de infiltração, retenção e evapotranspiração das bacias hidrográficas, e, conseqüentemente, aumentando a velocidade do escoamento superficial nestas bacias urbanas. Isso tem comprometido a qualidade de vida da população e prejudicado os sistemas de manejo de águas pluviais já implantados.

A Lei Federal nº 11.445/2007, atualizada por meio da Lei Federal nº 14.026/2020, marca o avanço legislativo do saneamento no Brasil, onde é descrito quais são os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas:

[...] constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (BRASIL, 2020).

Ainda de acordo com a referida lei federal, os serviços de manejo de águas pluviais compreendem a drenagem urbana, o transporte, a detenção ou retenção, o tratamento e disposição final das águas pluviais urbanas. Além disso, é um dos princípios fundamentais dos serviços públicos de saneamento básico a disponibilidade deste serviço, incluindo a limpeza e fiscalização dos dispositivos que o constituem.

A regra adotada no passado era afastar, o mais rápido possível, as águas precipitadas nas cidades para os canais e cursos d'água, transferindo o impacto gerado para áreas mais a jusante, seguindo o princípio da drenagem convencional. Esta concepção começou a ser alterada no início da década de 80, inicialmente, nos países mais desenvolvidos, onde começou a se criar normativas legais para controlar os impactos gerados pela impermeabilização através de dispositivos de amortecimento do pico dos hidrogramas. Na década de 90 estes mesmos países começaram a implantar mecanismos que promoviam a restituição parcial do ciclo hidrológico natural, marcando o início da aplicação da drenagem sustentável em uma escala considerável (SILVEIRA, 1998; TUCCI, 2007; BRASIL 2020).

A partir da década de 90 as técnicas alternativas de drenagem urbana começaram a ser aplicadas no Brasil, onde técnicas de armazenamento por meio de bacias ou reservatórios de detenção ganharam mais destaque. Esta nova concepção busca aplicar uma drenagem baseada na infiltração, na preservação do caminho natural do escoamento

superficial e minimizar a necessidade de intervenções estruturais complexas (TUCCI, 2007; BAPTISTA *et al.*, 2015).

Corroborando isso, nos relatórios sobre águas pluviais do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS-AP), os dados apresentados indicam que atualmente soluções voltadas à drenagem sustentável têm sido priorizadas no país, com o uso de dispositivos de amortecimento de vazões e estruturas mais verdes que permitam a infiltração (BRASIL, 2020).

Neste sentido, surgiram alguns conceitos alinhados à drenagem mais sustentável e natural, que consideram tanto a quantidade de água escoada, como a qualidade deste escoamento superficial. Dentre estes, Fletcher *et al.* (2015) e Tavanti e Barbassa (2012) citam os conceitos mais utilizados nos países europeus e nos Estados Unidos, os *SUDS* (*Sustainable Urban Drainage Systems*), *WSUD* (*Water-sensitive urban design*) e o *LID* (*Low Impact Development*). Estes sistemas buscam melhorar a gestão das águas pluviais e o controle do escoamento superficial, proporcionando benefícios nos campos sociais e ambientais.

De acordo com Alves *et al.* (2022) é observada uma certa tendência na implantação de dispositivos voltados a drenagem mais sustentável em áreas com infraestrutura urbana já instalada e parcialmente adequadas, como também em áreas não consolidadas, facilitando o acesso a disponibilidade de espaço e a integração com o planejamento urbano na concepção da região.

Pesquisas voltadas à identificação de potenciais áreas para a implantação de técnicas sustentáveis em bacias urbanas consolidadas têm sido realizadas, observando parâmetros físicos, ambientais, urbanos e socioeconômicos (ARIZA *et. al.*, 2019 apud ALVES *et. al.*, 2022). Entretanto, pouco se tem estudado sobre a implantação deste sistema em assentamentos urbanos precários, devido a sua heterogeneidade e dificuldade de modelagem dos impactos de eventos extremos (GARCIA-CUERVA *et. al.*, 2018 apud ALVES *et. al.*, 2022).

A Política Nacional de Habitação (PNH) adotou no Brasil a nomenclatura “assentamentos precários” como forma de abranger o conjunto de expressões utilizadas para representar assentamentos urbanos inadequados ocupados, em geral, por cidadãos de baixa renda. Englobam nesta definição as favelas, cortiços e loteamentos irregulares. Estas porções no território possuem algumas particularidades, como dimensões e tipologias variadas, contudo, têm como características comuns o caráter predominantemente residencial, a precariedade de infraestrutura de saneamento básico implantada, acesso falho ao sistema de transporte público e a equipamentos sociais, presença de zonas de riscos e origens históricas (BRASIL, 2010).

Os assentamentos precários e informais podem ser resultantes da urbanização desigual e sem planejamento, principalmente nos países em desenvolvimento. Os problemas de inundações nessas áreas são ainda mais significativos devido a vulnerabilidade socioeconômica, ocupações com padrões mais densos e falta de infraestrutura básica e serviços, além da ocupação em áreas vulneráveis, como várzeas e próximo a margens de córregos. Estes territórios muitas vezes são negligenciados pela

gestão pública, não permitindo a sua integração com as cidades, prejudicando o acesso aos moradores a serviços e infraestruturas de qualidade (UN-HABITAT, 2003 apud ALVES et al., 2022)

1.1. Justificativa

A drenagem urbana tem sido um dos grandes desafios da atualidade na gestão dos desastres que tem se intensificado com o crescimento das cidades e com as mudanças climáticas. Tucci (2007) afirma que, em geral, o poder público tem atuado de maneira ineficiente na prevenção e gestão da drenagem urbana, utilizando análises mais locais para os problemas hidrológicos, sem levar em consideração os impactos gerados nas bacias hidrográficas. Corroborando isso, Moraes e Silva (2019) abordam que a falta de capacitação técnica dos servidores públicos pode ser considerada um dos problemas mais significativos na gestão da drenagem urbana nos municípios.

Outro ponto relevante para a definição do tema de estudo refere-se as mudanças climáticas. Segundo dados do Norwegian Meteorological Institute (2013), atualmente existe uma tendência no aumento crescente dos eventos hidrológicos críticos ao redor do mundo devido a estas mudanças. Isso tem impacto direto nas intensidades pluviométricas, que tendem a aumentar, causando maiores ocorrências de inundações, alagamentos, enxurradas e movimentações, o que tem sido observado também nos países desenvolvidos.

Em paralelo a isso, com as ocupações geralmente sem planejamento adequado dos grandes centros, o espaço urbano tem se tornado mais impermeabilizado e adensado, o que prejudica a aplicação de sistemas de drenagem mais convencionais, como a implantação de redes tubulares, ampliação de canais e leitos, entre outros. Diante deste cenário, o uso da aplicação de técnicas sustentáveis em drenagem urbana, tem se mostrado mais adequado e adaptável, principalmente em áreas já urbanizadas (ALVES et al., 2022).

Diante do exposto, percebe-se uma necessidade de dotar os agentes públicos de informações e técnicas para melhoria dos procedimentos de gestão deste eixo do saneamento. O uso de softwares de modelagem e parâmetros comparativos entre técnicas distintas podem ser de grande valia para a tomada de decisões destes gestores.

Além disso, com o crescente impacto das mudanças climáticas em que estamos vivendo, o uso de técnicas mais sustentáveis tende a se tornar essenciais nos novos projetos urbanos, em especial, no manejo das águas pluviais urbanas.

1.2. Objetivos da Pesquisa

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é comparar o uso da aplicação de bacias de retenção em uma área urbanizada, em relação a aplicação de dispositivos de drenagem convencional, avaliando aspectos técnicos e econômico.

Objetivos Específicos

- ✓ Identificar os principais problemas hidrológicos a qual a área de estudo está sujeita;
- ✓ Avaliar a aplicação do software de modelagem hidrológica *Storm Water Management Model (SWMM)* para o sistema de macrodrenagem de uma bacia urbanizada com histórico de inundações;
- ✓ Avaliar o desempenho de diferentes dispositivos por meio de modelagem hidrológica aplicada pelo software *Storm Water Management Model (SWMM)* para sistemas de drenagem convencional e sistemas urbanos de drenagem mais sustentáveis;
- ✓ Propor áreas para a implantação de bacias de retenção dentro da área de estudo, seguindo critérios técnicos e análise das particularidades do local;
- ✓ Analisar o impacto gerado à jusante da área de estudo com a aplicação de bacias de retenção, considerando as alterações na vazão de chegada no ponto de exutório;
- ✓ Fazer uma avaliação econômica comparativa entre os sistemas de drenagem convencional e sustentável através de planilhas orçamentárias de implantação, manutenção e operação das soluções encontradas.

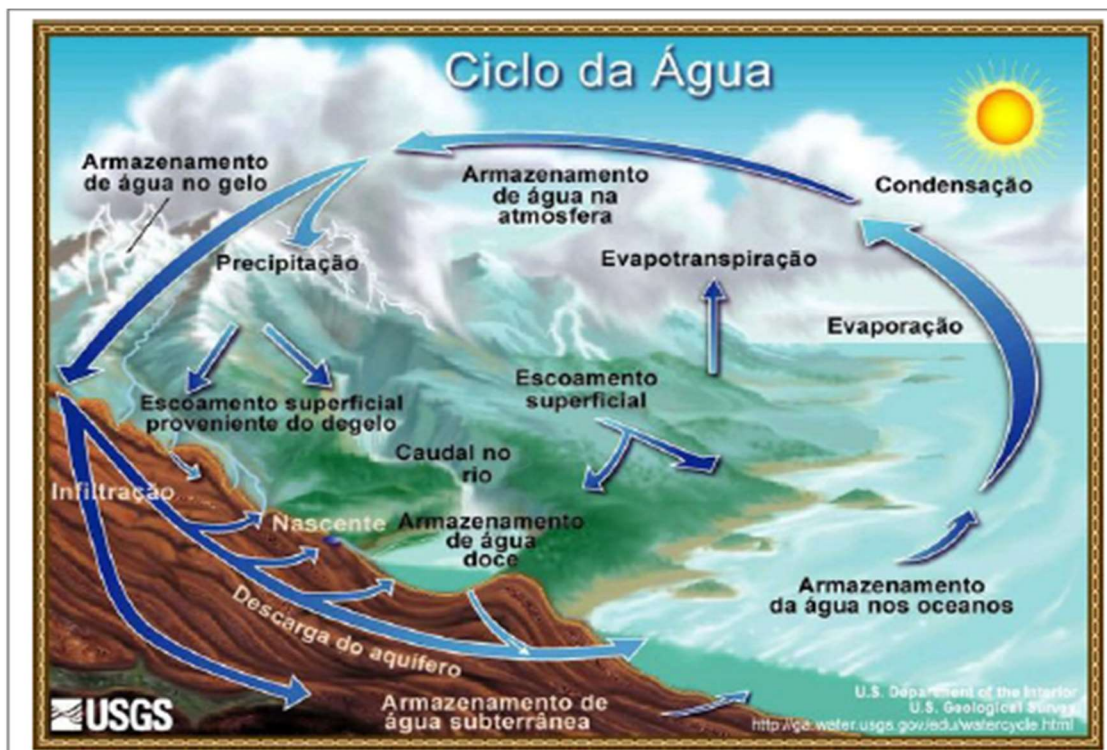
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Gestão do Manejo das Águas Pluviais

O ciclo hidrológico é um processo natural onde ocorre os fenômenos de precipitação, retenção, escoamento superficial e fluvial, infiltração, percolação de água no solo, evaporação e retenção (RIGHETTO, 1998 apud ANA, 2022). Ou seja, o “caminho” em que a água interage com a Terra e seus impactos gerados. Na Figura 1 é apresentado esquematicamente o ciclo hidrológico natural da água.

Segundo o Brasil (2020), o planejamento e a gestão dos serviços drenagem e manejo de águas pluviais urbanas devem estar orientados pelo Plano Municipal de Saneamento Básico, que deve contemplar os quatro eixos do saneamento básico, e, mais especificamente, pelos Planos Diretores de Drenagem Urbana, que tem como objetivo reduzir os riscos associados aos eventos hidrológicos extremos. Além deles, o cadastro técnico das obras lineares (galerias, redes pluviais, reservatórios, dentre outros) também é um instrumento referencial para a gestão deste eixo, ou seja, o conhecimento das características das unidades que compõem o sistema de drenagem é de fundamental importância para a redução dos riscos hidrológicos.

Figura 1. Ciclo Hidrológico Natural da Água.



Fonte: USGS - United States Geological Survey, 2015.

No cenário brasileiro, ainda de acordo com Brasil (2020), em 2019, 17,4% dos municípios que participaram da pesquisa continham os seus Planos Diretores de Drenagem e 34,8% o cadastro técnico de obras lineares. Com base nestas informações, pode-se verificar o quanto o planejamento e a gestão deste serviço ainda são incipientes no país.

Para a operação e gerenciamento deste sistema, existem duas abordagens a serem seguidas, os sistemas de drenagem convencional, historicamente bastante utilizado, e os sistemas de drenagem sustentável, que tem ganhado destaque na atualidade. Os principais conceitos voltados a estas abordagens serão apresentados nos próximos itens.

2.2. Drenagem Convencional

Segundo Tucci (2008), as práticas higienistas e corretivas para tratamento das águas urbanas têm sido aplicadas desde o início do século XX. Com estas práticas, buscava-se resolver os problemas sanitários nas áreas de projeto, transferindo os problemas para a jusante, com a preocupação somente sobre a quantidade de água escoada.

Ainda de acordo com Tucci (2008), o objetivo destas técnicas convencionais é encaminhar, o mais rápido possível, os volumes de águas pluviais que escoam pelo solo urbano para o sistema de macrodrenagem, rios, córregos e galerias. Por meio da impermeabilização do solo e a canalização dos cursos d'água, busca-se afastar a água de chuva da cidade.

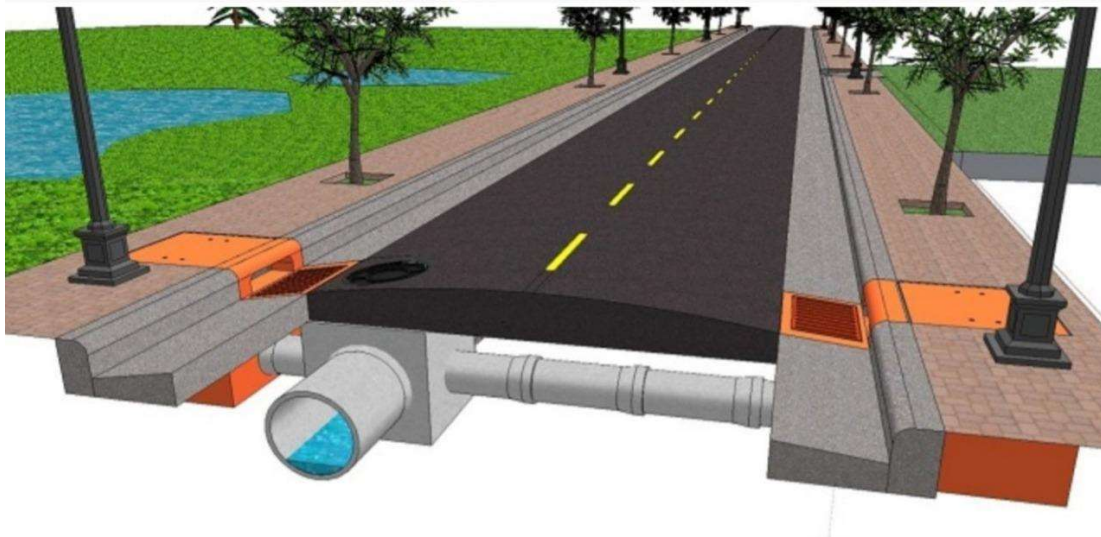
No início da expansão das cidades estas técnicas poderiam funcionar de maneira satisfatória. Porém, com o avanço da urbanização sem planejamento adequado os impactos gerados pelos eventos de chuva começaram a se tornar mais frequentes e graves.

O sistema de drenagem convencional é composto por elementos que permitam a captação e direcionamento do escoamento superficial, podendo ser representados pela

pavimentação das ruas e calçadas, guias, sarjetas, bocas de lobo/boca de leão, poços de visita, galerias e canais (BOTELHO, 2018).

Na Figura 2 é representado esquematicamente como é constituído, geralmente, este sistema.

Figura 2. Esquema padrão de sistema convencional de drenagem urbana.



Fonte: Moraes, 2015.

Para ilustrar os elementos de drenagem convencional, apresenta-se nas Figuras 3 a 5 imagens destes dispositivos implantados no município de Juiz de Fora – MG.

Figura 3. Boca de Lobo combinada com grelha implantada no bairro Amazônia (à esquerda) e caixa de passagem em concreto armado implantada no bairro Salvaterra (à direita).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 4. Ala de lançamento de rede de drenagem implantada no bairro Salvaterra (à esquerda) e canalização aberta revestida em concreto no bairro Ipiranga (à direita).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 5. Implantação de rede pluvial em PEAD no bairro Amazônia (a esquerda) e em manilhas de concreto no bairro Salvaterra (a direita).



Fonte: Autor, 2024.

2.3. Drenagem Sustentável

As mudanças climáticas juntamente com a urbanização acelerada colocaram em prova as infraestruturas de drenagem dos centros urbanos devido aos impactos adversos ocasionados pelos eventos extremos de precipitação no ambiente urbano. Diante de tal cenário, os sistemas de drenagem sustentáveis têm atraído o interesse público devido aos efeitos positivos gerados na qualidade e quantidade de água escoada após os eventos

pluviométricos, como também nas inúmeras possibilidades de usos múltiplos destas infraestruturas (ZHOU, 2014).

A partir da década de 70 vários países desenvolvidos começaram a observar aspectos insustentáveis no desenvolvimento urbano expansivo. Com o avanço dos estudos e observações, na década de 90, estes países começaram a propor ações que buscassem a restituição das condições naturais das bacias, através de dispositivos que promovem a retenção e infiltração, dando início a aplicação de técnicas mais sustentáveis de drenagem urbana (TUCCI, 2007; BAPTISTA *et al.*, 2015).

O objetivo principal da aplicação das técnicas sustentáveis é restituir, de certa forma, o ciclo hidrológico natural da área. Para isso, alguns dispositivos são utilizados para promover a infiltração, evapotranspiração e amortecimento das águas precipitadas sobre o solo. Com estas estruturas, espera-se simular o escoamento natural da água pluvial na área antes da urbanização, o que promove melhorias não somente quantitativas, como também qualitativas, como a redução do nível de sólidos suspensos e poluentes, o que proporciona a melhoria na qualidade destas águas pluviais (TUCCI, 2007; BAPTISTA *et al.*, 2015; XIMENA, 2021).

Nas últimas décadas tem sido visto mudanças significativas em conceitos voltados à drenagem urbana, que passou a aplicar soluções que consideram não somente a mitigação de inundações e proteção da saúde do cidadão, mas também questões ambientais, sanitárias, sociais e econômicas. Neste sentido, começaram a surgir inúmeros novos termos que descrevem esta nova abordagem mais sustentável da drenagem urbana. Fletcher *et al.* (2015) abordam em seu estudo que as terminologias voltadas à drenagem urbana surgem de acordo com a sua temporalidade e localização geográfica. Ainda de acordo com Fletcher *et al.* (2015) algumas expressões têm o mesmo significado e a mesma aplicação, entretanto outras são de difíceis comparações. Neste estudo os autores indicam as principais nomenclaturas utilizadas no mundo:

- ✓ **Low Impact Development (LID) ou Urbanização de Baixo Impacto** (tradução do autor), muito utilizado na América do Norte e Nova Zelândia, tendo sido aplicado pela primeira vez na década de 70;
- ✓ **Water Sensitive Urban Design (WSUD) ou Projeto Urbano Sensível às Águas** (tradução do autor), introduzido na década de 90 na Austrália;
- ✓ **Sustainable Urban Drainage System (SUDS) ou Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável** (tradução do autor), introduzido entre as décadas de 80 e 90. Este conceito é oriundo do Reino Unido, bastante difundido nos dias atuais;
- ✓ **Best Management Practices (BMPs) ou Melhores Práticas de Gestão** (tradução do autor), aplicado inicialmente no final da década de 40 para atividades agrícolas, o termo começou a ser mais difundido nas atividades que controlam a poluição, incluindo o tratamento e manejo das águas pluviais;
- ✓ **Técnicas Compensatórias (TCs)**, começou a ser utilizado na década de 80 em países de língua francesa para descrever um novo paradigma de drenagem urbana, afastando da abordagem tradicional. Posteriormente aplicado em outros países como o Brasil.

Como forma de simplificar os conceitos relacionados a drenagem sustentável neste documento será utilizado uma nomenclatura padrão, adotando o conceito de *SUDS*. Cabe mencionar que este é o mesmo conceito adotado na última versão Plano de Saneamento Básico do município de Juiz de Fora, local onde está inserida a área de estudo.

2.4. SUDS - Sistema Urbano de Drenagem Sustentável

Em linhas gerais, o SUDS é um conjunto de técnicas e tecnologias voltadas para o manejo das águas pluviais utilizando práticas mais sustentáveis se comparado à drenagem convencional. O objetivo deste sistema é buscar replicar a drenagem natural de um local antes do seu desenvolvimento, um conceito próximo do que é atribuído ao LID (FLETCHER *et al.*, 2015).

Os *SUDS* podem ser considerados um complemento à infraestrutura centralizada dos sistemas convencionais de drenagem existentes, com o intuito de mitigar os impactos hidrológicos da urbanização, além de possibilitar um incremento na resiliência a eventos pluviométricos extremos nos centros urbanos. Estas estruturas provem benefícios ambientais a longo prazo, como por exemplo, auxilia na redução dos impactos gerados nas mudanças climáticas, influencia questões ecológicas e sociais (ZHU *et al.*, 2019; TANG *et al.*, 2021).

Existem várias alternativas de técnicas enquadradas no conceito *SUDS* que podem ser aplicadas com o intuito de restituir parte do ciclo hidrológico natural, reduzindo a necessidade de obras complexas. Na pesquisa realizada por Alves *et al.* (2022), foi avaliado o possível impacto de 04 (quatro) destas técnicas em uma área de vulnerabilidade social no município de Campina Grande - PB, o uso de pavimentos permeáveis, sistemas de biorretenção, trincheiras de infiltração e sistemas de captação de água da chuva. A escolha por estas técnicas foi devido a facilidade de implantação em áreas já ocupadas e estabelecidas, e por apresentarem um baixo nível de complexidade na sua manutenção e instalação (ALVES *et al.*, 2022).

Entretanto, outras técnicas têm sido constantemente utilizadas no país. Historicamente, as bacias de detenção e retenção têm sido empregadas a mais tempo no Brasil, sendo bastante replicadas nos grandes centros urbanos (TUCCI, 2007; BAPTISTA *et al.*, 2015).

Segundo Agostinho e Poletto (2012), historicamente, dentro do conceito *SUDS*, as técnicas mais utilizadas são os pavimentos permeáveis, as bacias de detenção e retenção, as trincheiras e poços de infiltração. A seguir, é apresentada brevemente estas técnicas mencionadas, incluindo também os sistemas de captação e reaproveitamento de água de chuva e os sistemas de biorretenção, ambos bastante mencionados em pesquisas na área.

2.4.1. Pavimentos Permeáveis

O sistema viário e as áreas de estacionamento ocupam cerca de 30% da área de uma bacia hidrográfica. Com a utilização de pisos mais permeáveis pode-se alcançar uma

redução significativa da velocidade de escoamento superficial das águas pluviais, por meio do armazenamento temporário de volumes destas águas ou do processo de infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2015).

Estes elementos são constituídos de forma a permitir a infiltração da água escoada sobre o pavimento pelas juntas existentes entre as peças ou por meio da presença de gramíneas (XINEMA, 2021).

Dentre os pavimentos permeáveis existentes, encontram-se diversas formas e tamanhos, que podem se adequar às necessidades do local onde será aplicado. Baptista *et al.* (2015) propõem a seguinte classificação para estes tipos de pavimentos:

- ✓ Pavimentos com revestimentos permeáveis: permitem a captação e direcionamento da água captada às camadas inferiores, reduzindo o escoamento superficial;
- ✓ Pavimentos porosos de retenção (com injeção direta ou localizada): funcionam como reservatórios temporários das águas pluviais; e
- ✓ Pavimentos porosos de infiltração (com injeção distribuída ou localizada): desempenha duas funções, a reserva temporária e a infiltração das águas pluviais.

Na Figura 6 pode-se observar um exemplo de pavimento com revestimento permeável utilizando gramíneas como cobertura.

Figura 6. Pavimento permeável com cobertura de gramínea.



Fonte: Revista AECweb, 2022.

2.4.2. Sistemas de Biorretenção

De acordo com Melo *et al.* (2014), os sistemas de biorretenção são estruturas implantadas em áreas escavadas, com posterior preenchimento de material granular com grande permeabilidade e material orgânico, a fim de amplificar a retenção, filtração e infiltração das águas escoadas para estes equipamentos. Os jardins de chuva são o exemplo mais divulgado dos sistemas de biorretenção.

Estes dispositivos incluem camadas vegetais, podendo ter dupla utilização, para fins de drenagem urbana e paisagismo. Geralmente são implantados ao longo das vias urbanas, como saídas para o escoamento superficial, em praças e áreas de lazer, como também em residências recebendo a água captada pelo sistema de calhas (MELO *et al.* , 2014).

Os sistemas de biorretenção proporcionam a redução do escoamento superficial local e melhoria da qualidade da água, auxiliando na retenção de sólidos suspensos, metais pesados e coliformes fecais de animais. É indicado como alternativa aos dispositivos convencionais existente (SILVA, 2020).

Na Figura 7 é apresentado um exemplo deste dispositivo implementado nos Estados Unidos, em um passeio público próximo à sarjeta da via.

Figura 7. Jardim de Chuva implantado nos EUA.



Fonte: Portland Bureau of Environment Services, 2005.

2.4.3. Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração são técnicas de drenagem urbana implantadas com o intuito de captar as águas pluviais e armazená-las por um período, podendo promover a sua infiltração. Elas apresentam larguras e profundidades pequenas, não excedendo a um metro, e comprimentos mais significativos. São compostas por material granular graúdo, como brita, onde seu esvaziamento pode ser feito por meio da infiltração no solo ou descarga no meio natural ou no sistema de drenagem local. Estas estruturas são bastante flexíveis, podendo ser implantadas em passeios, ao longo de vias urbanas, em canteiros centrais e em pátios de estacionamento (BAPTISTA *et al.*, 2015; Peiter e Poletto, 2012).

Na Figura 8 observa-se uma trincheira de infiltração, associada a uma vala de infiltração, localizada no centro de uma vala gramada. Este dispositivo foi implantado no campus da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, em São Carlos-SP com o intuito de captar e escoar parte da contribuição pluvial oriunda do prédio na parte superior da imagem.

Figura 8. Trincheira de infiltração, associada a uma vala de infiltração, implantada no campus da UFSCar em São Carlos-SP.



Fonte: Autor, 2024.

2.4.4. Sistemas de captação e reservação de água de chuva

A captação e reservação residencial de águas de chuva pode ser considerada uma importante solução para atenuar as vazões de cheia ocasionadas em eventos hídricos extremos e reduzir o estresse hídrico das fontes de abastecimento tradicionais. Em geral, são soluções de menor custo, adequadas para qualquer tipo de construção, podendo ser implantados na fase de projetos ou adaptado a construções já concluídas (BAPTISTA *et al.*, 2015; Tugoz *et al.*, 2017).

Em linhas gerais, a funcionalidade deste sistema é bastante simples. A água pluvial captada dos telhados residenciais é escoada por meio de condutores horizontais e verticais (calhas) para reservatórios implantados nas residências (cisternas), onde são armazenados por curto espaço de tempo, podendo ser reaproveitadas para fins não potáveis (Tugoz *et al.*, 2017).

Nas figuras seguintes são apresentados exemplos de dispositivo de captação e reservação de água de chuva em domicílios. A Figura 9 representa um sistema de pequeno porte, com capacidade aproximada de 100 litros, na Figura 10 observa-se um sistema de médio porte, com capacidade para armazenar 5.000 litros. Os sistemas representados contêm dispositivo de first flush para o descarte da primeira parcela da precipitação, eliminando grande parte das impurezas.

Figura 9. Sistema domiciliar de captação de água de chuva de pequeno porte.



Fonte: Portal CicloVivo, 2017.

Figura 10. Sistema de captação de água de chuva de médio porte instalado em uma residência.



Fonte: Autor, 2024.

2.4.5. Poços de infiltração

Os poços de infiltração podem ser considerados técnicas de drenagem pontuais, atuando sobre uma pequena área de contribuição, como os lotes urbanos. A função deste dispositivo é permitir que a contribuição pluvial captada seja dispersada por infiltração, reduzindo assim o escoamento superficial gerado. Por isso, é indicado para locais onde o solo tenha capacidade adequada para permitir a infiltração (BAPTISTA *et al.*, 2015).

Estes dispositivos são estruturas simples, caracterizados por um poço escavado no solo natural, onde são assentados tubos de concreto perfurado, ou tijolos assentados em

crivos, podendo ser envolvidos ou não por manta geotêxtil e areia, e com o fundo revestido de agregados graúdos (REIS *et al.*, 2008).

A água captada pelo sistema pluvial das construções é direcionada para o poço de infiltração, que fica armazenada e infiltra no solo pelos furos existentes na sua parede interna. O excedente captado é direcionado para o sistema público de drenagem.

Na Figura 11 é apresentado um poço de infiltração implantado no campus da UFSCar em São Carlos-SP.

Figura 11. Poço de infiltração campus UFScar - São Carlos-SP.



Fonte: Faria *et al.*, 2014.

2.4.6. *Bacias de retenção e retenção*

Segundo Baptista *et al.* (2015), as chamadas bacias de retenção são dispositivos de acumulação temporária e/ou de infiltração das águas pluviais. Por meio delas, pretende-se amortecer as cheias geradas no meio urbano, reduzir o volume de escoamento superficial, por meio da infiltração, e reduzir a poluição difusa do carreamento de poluentes pelas águas pluviais.

Estes dispositivos buscam a redução dos impactos sobre os processos hidrológicos nas bacias hidrográficas ocasionados pela ocupação urbana. Eles se caracterizam por serem reservatórios com volume livre para armazenamento do escoamento superficial gerado pelas águas pluviais, podendo ou não permitir a infiltração da água captada (Baptista *et al.*, 2015; Agostinho e Poletto, 2012).

Fazem parte destes dispositivos a descarga de fundo, estrutura que controla a saída do volume captado, e um vertedouro de emergência para eventuais chuvas acima do projetado (Baptista *et al.*, 2015).

Na Figura 12 é apresentado uma bacia de retenção aberta e gramada implantada na Universidade de Lisboa em Portugal.

Figura 12. Bacia de detenção na Universidade de Lisboa – Portugal.



Fonte: Autor, 2024.

2.5. Modelagem Hidrológica

A escolha, localização e dimensionamento de dispositivos *SUDS* traz um alto nível de complexidade que depende de ferramentas que auxiliam na representação de sistemas de drenagem e são alimentadas sistematicamente por informações relevantes. Em bacias urbanas complexas e ocupadas, a modelagem é essencial para prever o comportamento do sistema de drenagem local quando da implantação de dispositivos *SUDS* e avaliar o impacto gerado em todo o sistema urbano. O processo de criação de modelos hidrológicos, concomitante ao uso de outras ferramentas, como matrizes multicritérios, configuram-se como excelentes estruturas de auxílio à tomada de decisões (FERRANS *et al.*, 2022).

Os modelos hidrológicos buscam representar o ciclo hidrológico no que tange a interação das águas precipitadas com a superfície terrestre, onde a precipitação incidente sobre uma determinada bacia é transformada em vazão para uma dada seção do canal existente. Os modelos são criados levando em consideração os processos deste ciclo, como a precipitação, interceptação vegetal, infiltração, evapotranspiração e os escoamentos, superficial e subterrâneo (TUCCI, 2010; MARINHO FILHO *et al.*, 2012).

A modelagem hidrológica vem sendo utilizada como forma de antever eventos hídricos futuros e que podem trazer inúmeros impactos negativos à sociedade. Além disso, é bastante utilizada para dar subsídios aos tomadores de decisões envolvendo as políticas públicas. Por meio destas funções, os modelos são instrumentos relevantes para resoluções de problemas ambientais e definição de alternativas que mitiguem impactos gerados com a ocupação urbana em determinada região.

Diante dos vários tipos de modelos hidrológicos existentes, Almeida e Serra (2017) fizeram um levantamento do breve histórico da modelagem hidrológica, abordando o surgimento de alguns modelos, o seu desenvolvimento e conceitos relevantes.

Ainda em seus estudos, Almeida e Serra (2017) sintetizaram os tipos de modelos hidrológicos segundo classificações distintas, como tipo de variáveis utilizadas, as relações existentes entre estas variáveis, a forma de representação de dados e a existência de relações espaciais e de dependência temporal. No Quadro 1 é sintetizado os tipos indicados pelos autores no levantamento realizado.

Quadro 1. Tipos de modelos hidrológicos.

Tipo	Descrição
Modelos Determinísticos	São modelos que geram os mesmos resultados quando alimentados pelo mesmo conjunto de dados de entrada, independente do caráter de entrada de uma das variáveis.
Modelos Estocásticos	São modelos que têm distribuição de probabilidade, onde uma ou mais variáveis envolvidas possuem caráter aleatório.
Modelos Empíricos	São modelos que podem possuir característica mais regionalista, em que os processos físicos da bacia de estudo não possui representação explícita na sua formulação.
Modelos Conceituais	São modelos criados por meio de equações que descrevem processos físicos conceituais ou hipotéticos, não necessitando ser baseados em um processo real.
Modelos Concentrados	São modelos onde a área da bacia é representada de forma homogênea, não permitindo a representação das características físicas de maneira distribuída. Na sua criação são atribuídos valores médios para representar estas características.
Modelos Distribuídos	São modelos em que é permitido a divisão da área da bacia em unidades regulares ou irregulares, de acordo com as suas homogeneidades, permitindo a distribuição espacial das variáveis. Este modelo representa mais fielmente a realidade das áreas de estudo.

Fonte: Claker (1973) apud Almeida e Serra (2017).

Como conclusão, Almeida e Serra (2017) afirmam que os modelos hidrológicos são uma importante ferramenta para subsidiar a tomada de decisões nos projetos que envolvem a drenagem urbana e a gestão de recursos hídricos. Por meio destes podemos adotar dispositivos e técnicas mais eficazes, reduzindo os custos de implantação e operação para novos sistemas.

Com o avanço das aplicações da modelagem hidrológica, foram surgindo inúmeros softwares que possibilitam a criação de modelos distintos a partir dos dados de entrada e parâmetros fornecidos pelo usuário, por exemplo, cita-se o *HEC-HMS* e o *SMWW*. A

escolha pelo software irá depender da sua funcionalidade, dos resultados que se busca e da familiaridade do usuário com a ferramenta.

Para este trabalho foi definido o uso do software *Storm Water Management Model (SMWW)* desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*USGS*) na década de 1970. A seguir, é abordado o funcionamento do software, as suas principais vantagens e o motivo da sua escolha.

2.5.1.1. *Storm Water Management Model – SMWW*

O *Storm Water Management Model (SMWW)* é um modelo computacional amplamente utilizado para análise e simulação de sistemas de drenagem urbana. Desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency (US EPA)*, a agência de proteção ambiental dos EUA, na década de 1970, o *SMWW* foi projetado para auxiliar engenheiros e planejadores na compreensão e gestão do comportamento hidrológico em áreas urbanas (LENHS, 2012; US EPA, 2022).

O principal objetivo do *SMWW* é simular o ciclo hidrológico urbano, levando em consideração as complexas interações existentes entre as características físicas do terreno, os padrões de precipitação, a infraestrutura de drenagem e as atividades humanas. Seu funcionamento se baseia nos princípios de conservação de massa, energia e quantidade de movimento, quando aplicáveis (US EPA, 2022).

O *SMWW* é um dos modelos mais utilizados na engenharia de recursos hídricos e na gestão do manejo das águas pluviais urbanas. Por meio dele é possível simular os principais processos hidrológicos, como a precipitação, infiltração, evapotranspiração, interceptação e armazenamento em depressões, e o escoamento superficial, tanto natural, como nos canais e galerias projetados. Além destes, o programa permite simular a qualidade da água escoada sobre a bacia por meio da entrada de dados relacionados ao transporte de poluentes, acumulação e lixiviação das sub-bacias, como também avaliar o impacto gerado na sua qualidade com a implantação de dispositivos de tratamento das águas pluviais (SANTOS, 2018).

Na criação dos modelos, cada sub-bacia da área estudada é tratada pelo programa como um reservatório não linear, onde as contribuições provêm de diferentes tipos de precipitação, como chuva e neve, além de outras sub-bacias a montante. O modelo considera vários fluxos de saída, como infiltração, evaporação e escoamento superficial. A capacidade desse "reservatório" é determinada pelo armazenamento máximo em depressões, que representa a quantidade máxima que pode ser retida na superfície devido a alagamentos, saturação do solo e interceptação. O escoamento superficial por unidade de área só ocorre quando a profundidade da água no "reservatório" ultrapassa o armazenamento máximo em depressões. A vazão de escoamento é calculada usando a equação de Manning e a altura da água armazenada na sub-bacia é continuamente recalculada ao longo do tempo por meio da resolução numérica do balanço hídrico nessa sub-bacia (LENHS, 2012).

De Souza *et al.* apud Santos (2018) aponta que o *SMWW* é um dos programas de modelagem de sistemas de drenagem mais adequados para simulação em bacias urbanas, se comparados com outros modelos bastante utilizados, como o *HEC-HMS*. Outro fator positivo deste software é a existência de um manual completo traduzido para a língua portuguesa. Este manual foi produzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) da Universidade Federal da Paraíba, por meio de convênio com a Eletrobrás.

Collodel (2009) aborda que o *SMWW*, em função de sua versatilidade, permite que profissionais realizem análises abrangentes e explorem diversos cenários de planejamento. Isso inclui a avaliação de infraestruturas existentes, a concepção de sistemas de drenagem sustentáveis, o planejamento do uso do solo e a mitigação de riscos associados a eventos de chuva intensa.

Além das vantagens indicadas anteriormente, a sua escolha também foi influenciada pela aplicação em outros estudos voltados ao manejo de águas pluviais que se assemelham ao realizado neste trabalho. Por exemplo, cita-se a pesquisa feita por Alves *et al.* (2022), onde realizou-se a simulação da aplicação de dispositivos dentro do conceito *SUDS* em uma área de vulnerabilidade social.

Faria *et al.* (2014), realizaram um estudo de caracterização, modelagem e monitoramento da bacia do córrego Barbado, localizado na cidade de Cuiabá-MT. Neste estudo, o monitoramento hidrológico elaborado para obtenção de dados de precipitação, nível de água, vazão e curva chave foi feito por meio do modelo *SMWW 5.0*, que apresentou índices muito satisfatórios dos parâmetros de ajustes aplicados para os eventos calibrados e validados, garantindo uma representação bastante fiel da bacia estudada.

Outro estudo utilizado como referência neste trabalho foi a tese apresentada por Santos (2018), onde a autora desenvolveu uma proposta de avaliação multidimensional, integrando aspectos de desempenho hidrológico, ambiental e econômico, com o intuito de comparar a aplicação de diferentes técnicas para o correto manejo de águas pluviais em loteamentos. Para a realização desta avaliação, lançou-se mão da modelagem hidráulico-hidrológica dos cenários escolhidos utilizando o software *SMWW*.

Mais um exemplo significativo da aplicação desta ferramenta no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre-RS. Com o intuito de entender melhor o sistema de macrodrenagem das bacias hidrográficas do município, foi utilizado modelos hidrológicos reconhecidos internacionalmente, como *Hec-Ras* e o *SWMM*, para diferentes cenários de uso e ocupação do solo. Através destas simulações, foi identificado possíveis pontos críticos de alagamentos e inundações para cada bacia. Dentre as 26 (vinte e seis) bacias hidrográficas estudadas, 13 (treze) foram modeladas hidrológicamente por meio do *SWMM* (PORTO ALEGRE, 2015).

Ainda em relação às aplicações do *SMWW*, de acordo com LENHS (2012), entre as mais utilizadas, podem-se mencionar:

- ✓ Concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações.

- ✓ Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios, para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas.
- ✓ Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais.
- ✓ Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas unitários e mistos.
- ✓ Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuárias.
- ✓ Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes).
- ✓ Avaliação da eficácia das BMPs (Boas Práticas de Manejo) para reduzir o carreamento de poluentes durante a chuva.

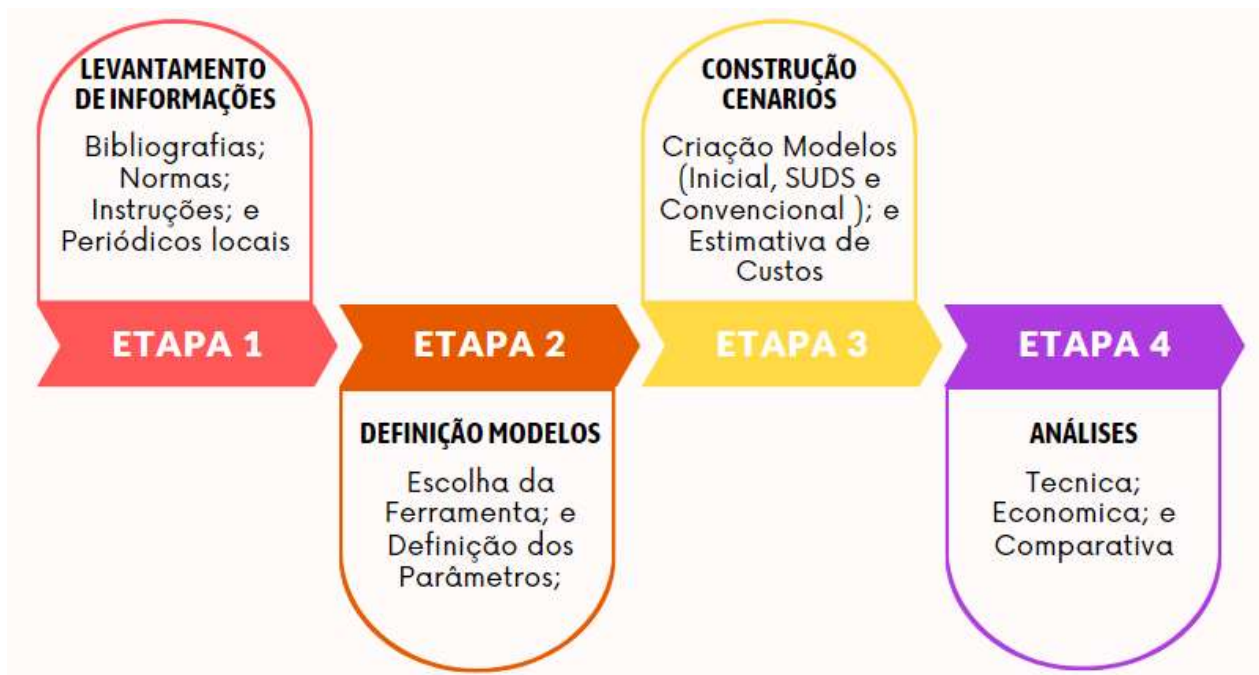
Além das vantagens e experiências bem-sucedidas da aplicação do *SMWW*, a opção pelo seu uso neste trabalho foi influenciada pela familiaridade do layout do programa com as versões bases do *Windows* e pelo conhecimento prévio do *software* pelo autor deste trabalho.

Para a criação dos modelos propostos neste trabalho foi utilizada a versão *SMWW* 5.2, a mais recente obtida, gratuitamente, por meio do site eletrônico da agência *EPA*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Como forma de introduzir o método de pesquisa proposto, na Figura 13 é apresentado o fluxograma adotado para este trabalho.

Figura 13. Fluxograma do projeto de pesquisa.



Fonte: Autor, 2024.

3.1. Seleção e Buscas de Dados Relevantes para a Pesquisa

A busca por referências bibliográficas para este trabalho foi dividida em duas etapas. A primeira etapa refere-se ao levantamento bibliográfico acadêmico por meio do uso de

plataformas de pesquisas existentes. A segunda utilizou documentos e informações técnicas existentes na região, incluindo planos municipais, normas técnicas, instruções normativas, leis, periódicos locais, entre outros.

Com relação ao levantamento bibliográfico, por meio de algumas plataformas de pesquisas científicas como Scopus, Web of Science e Google Acadêmico, foi possível levantar referências bibliográficas que serviram de subsídio para a elaboração deste trabalho como periódicos, teses e dissertações sobre o assunto. Para isso, foram utilizadas palavras chaves específicas com o intuito de filtrar os trabalhos com maior relevância ao projeto. Entre as palavras chaves mais utilizadas no levantamento seguem as que obtiveram os melhores resultados: “modelagem hidrológica”, “System Urban Drainage Sustentable”, “*Storm Water Management Model*”, “análise de custos”, “ciclo de vida”, “drenagem sustentável” e “sistemas de drenagem convencionais”.

Com relação as informações técnicas disponíveis sobre a região de estudo, o município de Juiz de Fora conta com dois importantes instrumentos ligados ao manejo de águas pluviais e drenagem urbana, o Plano de Drenagem da Zona Norte (PD/ZN) e o Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora (PSB-JF), o primeiro finalizado em 2011, e o segundo, elaborado em 2014 e revisado em 2022.

Em relação ao PD/ZN, os estudos realizados focaram na região norte do município, onde foi realizado o diagnóstico da situação dos principais afluentes do rio Paraibuna, procedendo com levantamentos topo batimétricos destes cursos d’água, incluindo o córrego Igrejinha. Em relação ao PSB-JF, englobou-se todo o território urbano do município, elaborando um diagnóstico mais geral da situação de saneamento básico municipal. Os dados presentes nestes dois documentos foram utilizados neste estudo para fins de construção de modelos hidráulico-hidrológicos e pré-dimensionamento de dispositivos de drenagem.

Além destes referenciais municipais, também foram utilizados dados de monitoramento do setor de Defesa Civil da Prefeitura de Juiz de Fora, incluindo as manchas históricas de inundações, os indicativos de áreas atingidas recentemente e outros dados relevantes.

3.2. Modelagem Hidráulico-Hidrológica

Para a realização deste projeto de pesquisa, fez-se necessário o uso da modelagem hidrológica a fim de retratar a situação atual do sistema de macrodrenagem local. Por meio da criação de um modelo hidrológico, foi possível determinar os locais que têm maiores susceptibilidades a inundações com altas precipitações de projeto, buscando retratar a realidade local.

3.2.1. Aplicação da ferramenta *Storm Water Management Model* – SMWW

A primeira etapa do trabalho consistiu na criação de um modelo hidrológico capaz de retratar a situação atual do sistema de macrodrenagem do bairro Igrejinha. Por meio desta

simulação foi possível conhecer os principais problemas hidrológicos a que a área de estudo está suscetível, onde foi indicado os trechos do córrego que tem maior potencial de transbordamento.

Com os maiores problemas definidos na primeira etapa, o estudo prosseguiu para a suas duas outras etapas de simulação, a criação de um modelo hidrológico adotando dispositivos de drenagem convencional e um outro modelo adotando dispositivos dentro do conceito de sustentabilidade, as bacias de retenção. A aplicação destes modelos teve como objetivo eliminar os riscos de inundação indicados na primeira etapa.

3.2.2. Parâmetros hidrológicos e hidráulicos adotados para a construção dos modelos

Conforme abordado anteriormente, o software *SMWW*, da EPA, tem sido utilizado em pesquisas similares como a que foi desenvolvida, obtendo resultados satisfatórios em bacias hidrográficas urbanizadas ou em processo de urbanização. Além disso, o programa permite adequações no projeto e a possibilidade de simular o impacto da aplicação de dispositivos sustentáveis de drenagem urbana, objetivo da pesquisa em questão.

Contudo, para a aplicação desta ferramenta é necessário informar previamente alguns parâmetros da bacia hidrográfica e do seu sistema local de drenagem. A maior parte dos dados foram obtidos de referências municipais, outros, entretanto, foram produzidos em ambientes de geoprocessamento baseados nas informações existentes. Para a produção destes dados em geoprocessamento, foram realizadas representações gráficas e cálculos dentro dos softwares *QGIS* e *Google Earth*, a fim de refiná-los.

Como forma de auxiliar na aplicação das ferramentas do *QGIS*, foi cedido pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para a realização deste trabalho uma imagem de satélite do ano de 2019 do município de Juiz de Fora por meio da plataforma Planet.

Além disso, a Prefeitura de Juiz de Fora dispõe de dados georreferenciados relevantes para os estudos voltados para a hidrologia local. No próprio Plano de Drenagem do município, conforme abordado, há dados do levantamento topo batimétrico dos principais cursos d'água da zona norte da cidade, englobando o córrego Igrejinha. Este levantamento foi feito em 2011, entretanto, mesmo com mais de 10 anos de diferença, pôde-se perceber, por meio de visitas no local e comparativos entre imagens de satélite, que o leito do córrego sofreu poucas alterações significativas, o que não prejudica os estudos a serem realizados para esta pesquisa.

O software utilizado permite a entrada de dados relativos à propriedade de infiltração do solo. Para efeitos de modelagem, foi definido o método *Curve Number* para representar a capacidade de infiltração do solo em estudo, devido a facilidade de obtenção de dados mais precisos. Este parâmetro é solicitado pelo programa para fins de simulação da capacidade de absorção do escoamento pluvial pela área de estudo.

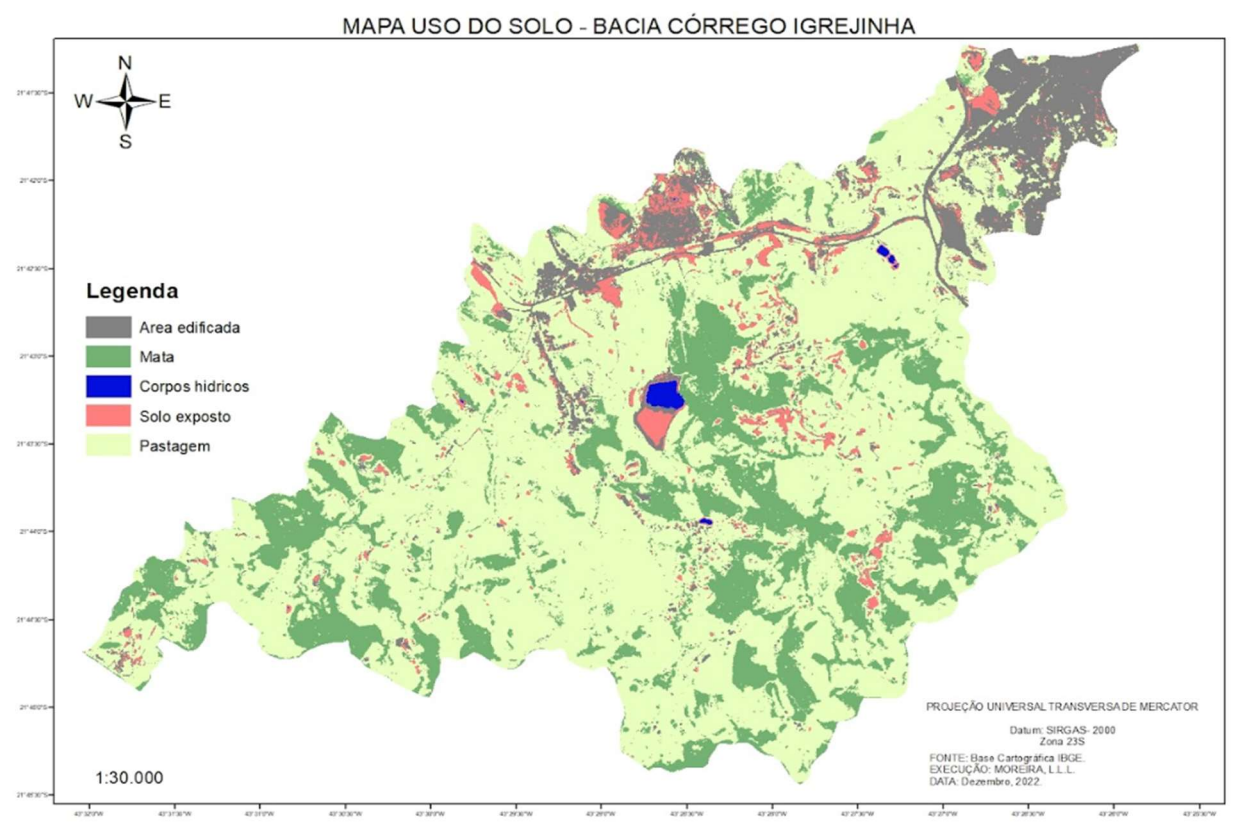
Outro destaque foi quanto ao método de simulação adotado, a onda dinâmica, que permite a ocorrência de transbordamento dos nós e gera resultados mais precisos. A propósito, os nós, no caso do estudo feito, representam pontos no canal do córrego onde

ocorre o recebimento de novas contribuições, e que necessitam, também, da definição de alguns parâmetros de projeto.

Como forma de auxiliar na construção dos parâmetros necessários para aplicação da simulação foi elaborado um mapa de uso do solo caracterizando toda a área da bacia do córrego Igrejinha, incluindo a área de estudo. Para a elaboração deste mapa foi utilizado o software de geoprocessamento *QGIS* e a ferramenta de classificação supervisionada, obtida por meio de uma imagem do satélite *Planet*, fornecida pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Na Figura 14 é apresentado o resultado das operações feitas no *QGIS*.

No capítulo seguinte é descrito os valores estimados dos principais parâmetros adotados para este estudo, como também a fonte de obtenção dos dados para a estimativa destes parâmetros.

Figura 14. Mapa de Uso e Ocupação do solo na bacia do córrego Igrejinha.



Fonte: Autor, 2024

3.2.3. Construção dos modelos hidráulico-hidrológico

Para a visualização dos problemas hidrológicos existentes na área de estudo, assim como os resultados das alterações propostas no sistema de macrodrenagem, foram criados três modelos hidrológicos a fim de representar os três cenários escolhidos:

- ✓ Cenário 1 – modelagem inicial: modelagem inicial do sistema de macrodrenagem da área de estudo.
- ✓ Cenário 2 – modelagem convencional: modelagem do sistema de macrodrenagem redimensionado utilizando técnicas de drenagem convencional.
- ✓ Cenário 3 – modelagem bacias de retenção: modelagem do sistema de macrodrenagem redimensionado utilizando bacias de retenção.

Por meio do cenário 1, foi possível identificar as principais deficiências do sistema de macrodrenagem local, apontando os trechos do córrego mais susceptíveis a transbordamentos. Nos cenários seguintes, obteve-se os resultados das propostas de adequações do sistema local, planejadas com o intuito de eliminar as deficiências encontradas no cenário anterior. No cenário 2, foi proposto alterações no canal do córrego utilizando conceitos da drenagem convencional. Em relação ao Cenário 3, foi proposto a implantação de bacias de retenção próximas ao curso d'água, com o intuito de permitir o amortecimento do pico do escoamento superficial, aliviando o sistema de macrodrenagem local.

Após visitas e análises do local de estudo, percebeu-se que a solução convencional que melhor se adequa a realidade seria a ampliação das seções do canal do córrego por meio do alargamento de sua calha e alteamento das margens em alguns de seus trechos, utilizando dispositivos de contenção de solo que garantam a estabilidade das margens, além de reduzir o coeficiente de rugosidade, permitindo maiores velocidades de escoamento. Para o dimensionamento preliminar destes dispositivos foi utilizado a equação de *Manning*, e utilizando os dados de vazão obtidos na modelagem inicial, obteve-se as novas seções do canal. Com o novo canal dimensionado, foi possível realizar uma nova simulação da área a fim de validar a solução.

Na etapa seguinte foram feitas análises na área de estudo avaliando possíveis locais para a implantação de dispositivos de armazenamento. Devido a estimativa de permeabilidade do solo, proximidade das áreas disponíveis ao córrego, que induz a níveis de lençol freático altos quando das precipitações, foi definido a utilização de bacias de retenção levando em consideração somente a propriedade de armazenamento temporário, desconsiderando a função de infiltração. A escolha por estes dispositivos se deu pela atuação global do dispositivo no sistema de macrodrenagem, pelas indicações feitas no Plano de Drenagem de Juiz de Fora e no seu Plano de Saneamento Básico, e pelo fato do dispositivo proposto se adequar bem ao local de estudo, onde há áreas disponíveis para a sua implantação próxima ao córrego Igrejinha.

Como forma de dimensionar as bacias de retenção propostas, foi utilizado o método das chuvas, um método simplificado utilizado para o dimensionamento de estruturas de armazenamento e infiltração. Por meio deste método é possível estimar o volume máximo de armazenamento de um dispositivo de drenagem, que ao considerar uma vazão constante de saída, por infiltração e/ou por orifício/vertedor, permite o dimensionamento das estruturas individuais ou associadas a outras estruturas.

Após o dimensionamento inicial das bacias de retenção, foi realizada uma nova simulação do local para validação da solução adotada.

Com o intuito de padronizar os resultados obtidos, foi utilizado um valor limitante da capacidade de escoamento do canal. Filho e Costa (2012) realizaram um levantamento dos principais parâmetros adotados para dimensionamentos de canais e galerias. Esta pesquisa avaliou os critérios recomendados por autores e órgãos voltados a drenagem urbana, como Carlos Tucci, Azevedo Netto, Porto, DAEE-CETESB, para fins de projetos de galerias circulares e canais. Um dos critérios indicados foi a relação entre altura da lâmina d'água e

a seção do canal, onde os autores obtiveram como média dos valores recomendados o valor de 0,85 (85%).

Sendo assim, para efeitos comparativos, foi definido para este trabalho que a capacidade limitante ideal para cada trecho do canal estudado deverá ser menor ou igual a 85%. Com isso, nos trechos onde a capacidade do canal for acima deste limitante, o mesmo deverá ser dimensionado para respeitar este valor.

3.3. Análise Comparativa dos Modelos

Com os resultados obtidos em cada um dos modelos, a pesquisa procedeu para a sua nova fase, a comparação entre o modelo convencional de drenagem urbana e o modelo sustentável. Esta comparação se deu em duas vertentes: desempenho dos cenários, onde foram avaliados os resultados apresentados nas simulações referente a capacidade hidráulica de cada trecho do canal e a vazão no ponto de exutório; e a análise dos custos envolvidos para a implantação e manutenção dos dispositivos dimensionamentos.

Em relação ao desempenho dos modelos, foi utilizado duas opções de visualização dos resultados da simulação no *SMWW*, o perfil do canal no período de maior vazão, onde é possível simular o nível d'água dentro da calha do córrego, e a tabela de capacidades de cada trecho, onde é representado a capacidade atingida do canal por período. Além destas, foi utilizado também a tabela de vazões do exutório por tempo, obtendo assim a maior vazão no ponto de exutório do estudo para cada modelo.

Moura (2004) em seu estudo realizado desenvolveu uma metodologia para auxiliar na tomada de decisões baseada em uma análise de critérios diversos, incluindo indicadores de desempenho e custos. Para a criação desta metodologia, a autora estudou casos reais de problemas hidrológicos nos sistemas de macrodrenagem em locais distintos.

Para a criação dos indicadores de custo e desempenho, Moura (2004) utilizou padrões tipos para diversos dispositivos do sistema de drenagem que são estabelecidos nos manuais da SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital), órgão integrado a Prefeitura de Belo Horizonte, capital mineira, que tem como objetivo a implantação do Plano de Obras e a execução dos serviços de obras e manutenções no município. Este órgão criou uma série de documentos técnicos que servem como referência para a correta execução e precificação dos mais variados serviços de engenharia, como cadernos de encargos, composições de custos, procedimentos de projetos, tabela de valores, entre outros.

Considerando a localização da área de estudo sendo o município de Juiz de Fora-MG, a qual possui relevo, clima e cultura bastante similar à de sua capital, Belo Horizonte, este trabalho se baseou nas referências da SUDECAP para a construção dos dispositivos utilizados em seus novos modelos e no levantamento dos custos envolvidos na implantação e manutenção destes dispositivos.

Ainda sobre o trabalho de Moura (2004), foi construído uma composição de custos padrão para cada tipo de intervenção, como as canalizações com revestimentos de concreto, vegetal, enrocamento com pedra de mão, gabião, como também para as bacias

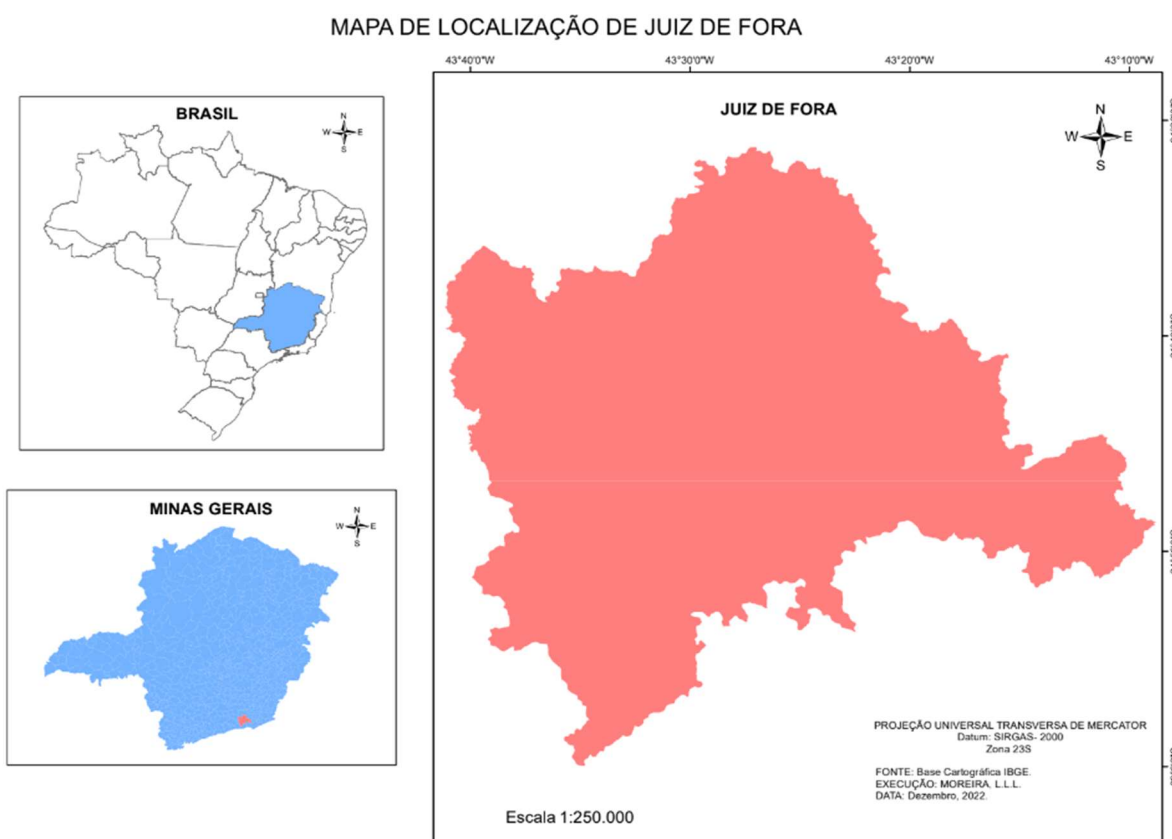
de detenção e infiltração. Estes padrões foram atualizados e reajustados neste trabalho para atender as especificidades do estudo e corrigir os valores unitários para os dias atuais, utilizando as planilhas referencias mais atualizadas da SUDECAP.

4. OBJETO DE ESTUDO

4.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo se localiza no município de Juiz de Fora, sudeste do Estado de Minas Gerais, região conhecida como Zona da Mata Mineira, representada na Figura 15. Próximo a grandes centros urbanos, como Rio de Janeiro (184 km), Belo Horizonte (272 km) e São Paulo (506 km), o município apresenta um relevo predominantemente acidentado, com grandes declividades, caracterizado pelos mares de morros. Com uma vegetação predominante de remanescente da mata atlântica, o município se desenvolveu ao longo das planícies formadas nas margens dos seus cursos d'água (JUIZ DE FORA, 2022).

Figura 15. Mapa de localização do município de Juiz de Fora.



Fonte: Autor, 2024.

Este estudo se concentrou em uma comunidade urbana do município de Juiz de Fora-MG, o bairro de Igrejinha, localizado na sua zona norte. Esta localidade está a 30 km do centro da cidade, às margens da rodovia BR-267, uma importante via de acesso ao município, e próximo à planta da indústria de mineração e siderurgia, Nexa Resources.

Esta comunidade encontra-se em processo de urbanização, tendo nas margens do córrego que corta o bairro ocupações já consolidadas e expansões nas margens da rodovia BR-267, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16. Imagem aérea do Bairro Igrejinha – Juiz de Fora / MG.



Fonte: Autor, 2024.

A bacia hidrográfica do córrego que dá nome ao bairro, Igrejinha, tem uma área de contribuição de 39,44 km², com o ponto de exutório localizado na foz do córrego com o rio Paraibuna, principal curso d'água do município de Juiz de Fora.

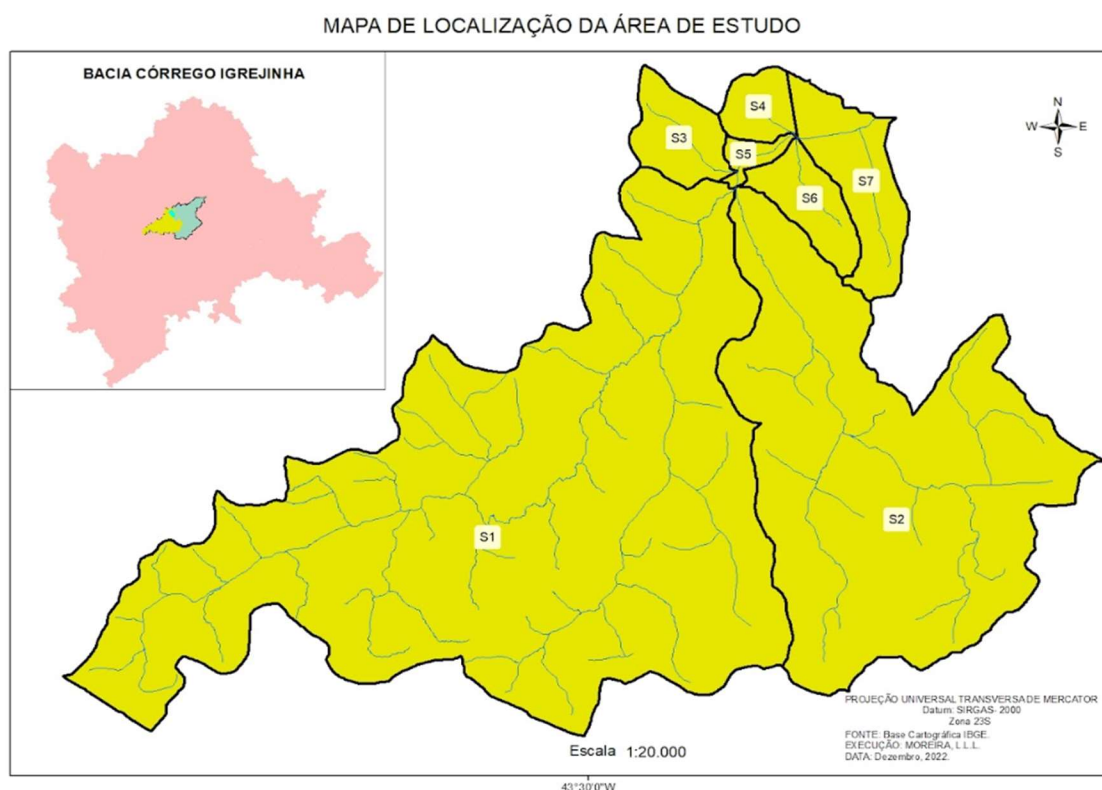
Esta bacia tem 95,96 km de curso d'água, sendo a extensão do córrego Igrejinha equivalente a 15,81 km. Além disso, a referida bacia apresenta um coeficiente de compacidade (kc) 1,70, representando uma geometria mais elipsoidal; um índice de densidade de drenagem em torno de 2,42 km/km², representando uma eficiência média do sistema de drenagem da bacia; e um índice de drenagem de rios de 2,64 rio/km², parâmetro que retrata a quantidade de segmentos de cursos d'água existentes na bacia, que para o caso de Igrejinha retrata uma tendência média a enchentes (JUIZ DE FORA, 2011).

Entretanto, a área objeto de estudo desse trabalho engloba parte desta bacia hidrográfica, com uma área de contribuição de 16,50 km², onde está inserido o bairro de Igrejinha. De acordo com o Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora, o referido bairro sofre com problemas históricos de inundação, com destaque para as ruas Arnô Krambeck Duque, da Estação e A (JUIZ DE FORA, 2020).

Na Figura 17 é apresentado o mapa de localização da área de estudo, em relação ao território municipal, além da proposta de divisão da área em 07 (sete) sub-bacias.

A proposta de divisão das sub-bacias adotada seguiu como base os dados georreferenciados cedidos pela Prefeitura de Juiz de Fora e dados obtidos pelo portal da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Utilizando o programa de geoprocessamento QGIS, foi possível revisar o traçado das sub-bacias por meio de ferramentas do próprio programa, obtendo o traçado indicado na própria Figura 17.

Figura 17. Indicação da área de estudo e definição das sub-bacias - Bairro de Igrejinha - Juiz de Fora/MG.



Fonte: Autor, 2024.

4.2. Criação do Modelo Hidrológico Inicial

Como forma de representar o estado atual do sistema de macrodrenagem da área de estudo, foi elaborado o modelo hidráulico-hidrológico inicial. Neste modelo foram utilizados os parâmetros indicados anteriormente, obtidos em pesquisas e estudos realizados no município de Juiz de Fora ou elaborados por meio do software de geoprocessamento *QGIS*.

Em relação ao evento pluviométrico para fins de simulação do modelo, conforme abordado no capítulo anterior, o mesmo foi estimado por meio de uma chuva de projeto. Para a sua obtenção foi utilizado a curva I-D-F de Juiz de Fora obtida no Manual de Drenagem do município. O tempo de retorno utilizado para o caso em questão foi de 100 anos, conforme é indicado no próprio manual, além de Tucci (2007) e Baptista et. al (2015) para sistemas de macrodrenagem. O tempo de concentração foi obtido pelo método de *Kirpich*, obtendo o valor de 90 (noventa) minutos. A partir destes dados foi obtida a intensidade pluviométrica da área de estudo, estimada em 70,57 mm/h, valor este próximo do limiar indicado pela Defesa Civil do município para alertas de risco hidrológicos no local.

Com apoio do software *QGIS*, dados da Prefeitura de Juiz de Fora e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, foi definida as sub-bacias que constituem a área de projeto e os trechos do canal, utilizando como base o traçado do curso d'água disponibilizado pela prefeitura. Assim, conseguiu-se estabelecer o plano de fundo a ser trabalhado dentro do software de modelagem escolhido, o *SMWW*, como pôde ser visto na Figura 17.

Com o plano de fundo definido, iniciou-se a construção dos objetos que fazem parte do modelo inicial. As sub bacias foram definidas seguindo as áreas demarcadas no plano de fundo, onde o córrego Igrejinha, canal de macrodrenagem da área, é representado pelo curso d'água que passa ao longo das sub bacias S5 e S7. Os nós, pontos onde ocorrem o recebimento de novas contribuições no canal principal, foram definidos nos encontros dos afluentes das sub bacias, conforme a indicação a seguir:

- ✓ J1: nó número 1 localizado no encontro dos afluentes das sub bacias S1 e S2, caracterizando-se como o ponto de montante do estudo;
- ✓ J2: nó número 2 localizado no deságue do afluente da sub bacia S3 no córrego Igrejinha;
- ✓ J3: nó número 3 localizado no deságue do afluente da sub bacia S4 no córrego Igrejinha;
- ✓ J4: nó número 4 localizado no deságue do afluente da sub bacia S6 no córrego Igrejinha;
- ✓ J5: nó número 5 localizado no deságue do afluente da sub bacia S7 no córrego Igrejinha.

Além dos nós, outro ponto relevante determinado foi o ponto de exutório da área de estudo, que se localiza na extremidade da sub bacia S7, no ponto mais a jusante do córrego Igrejinha. Para fins de nomenclatura, este ponto é representado pelo código O1.

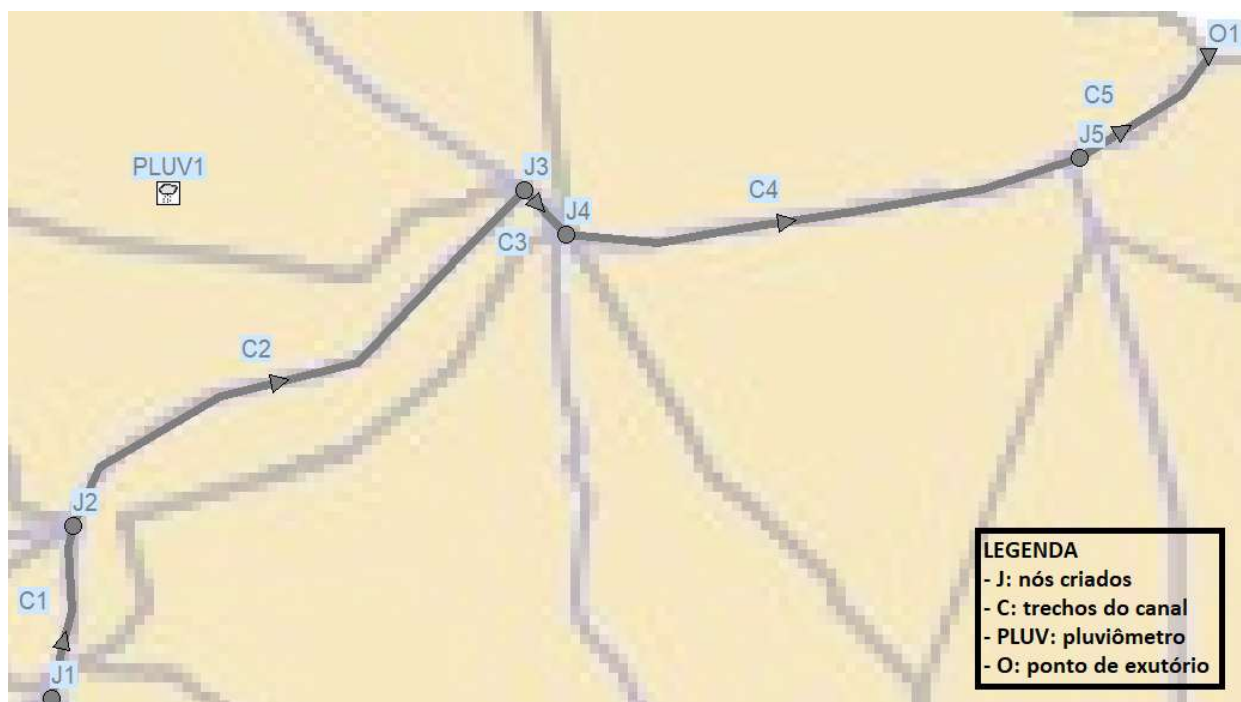
No *SMWW*, os canais são definidos como a ligação existente entre dois nós seguidos. Para a área de estudo foi utilizado o traçado natural do córrego, retratando a realidade do canal de macrodrenagem local, onde foi dividido em 5 (cinco) trechos abordados em seguida:

- ✓ C1: trecho do córrego que interliga os nós J1 e J2;
- ✓ C2: trecho do córrego que interliga os nós J2 e J3;
- ✓ C3: trecho do córrego que interliga os nós J3 e J4;
- ✓ C4: trecho do córrego que interliga os nós J4 e J5;
- ✓ C5: trecho do córrego que interliga os nós J5 e O1.

Como forma de definir as seções de referência cada trecho indicado, utilizou-se os dados obtidos do levantamento topobatimétrico realizado no Plano de Drenagem do município de Juiz de Fora em 2011. Como forma de padronizar e simplificar o estudo, definiu-se uma seção representativa para cada trecho do canal, onde foi escolhida as seções que mais se assemelham a realidade de acordo com as informações obtidas nas vistorias realizadas na área.

Na Figura 18 são representados os objetos criados dentro do ambiente do *SMWW*, os quais foram abordados anteriormente.

Figura 18. Objetos definidos na criação do modelo inicial no SWMM.



Fonte: Autor, 2024.

Na Figura 19 é indicada a localização destas seções de acordo com o levantamento topobatimétrico realizado em 2011.

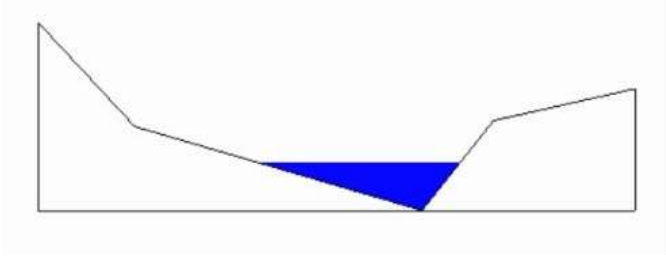
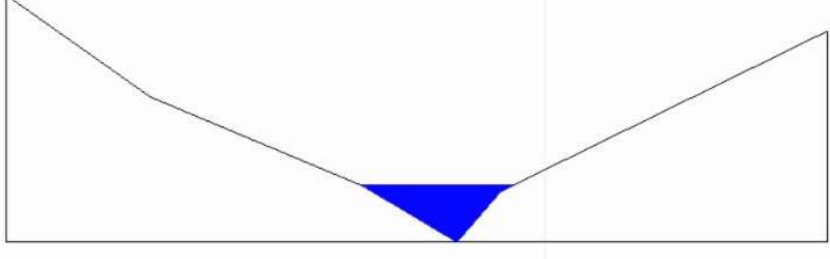
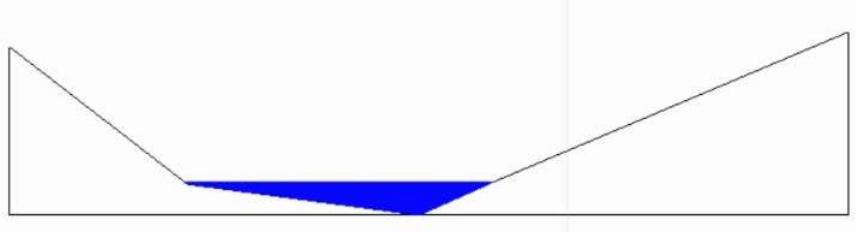
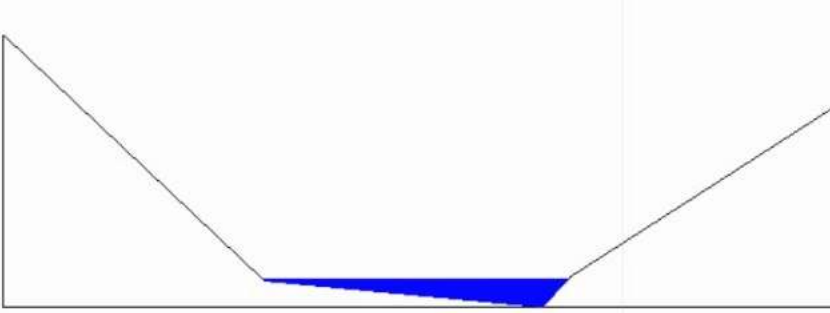
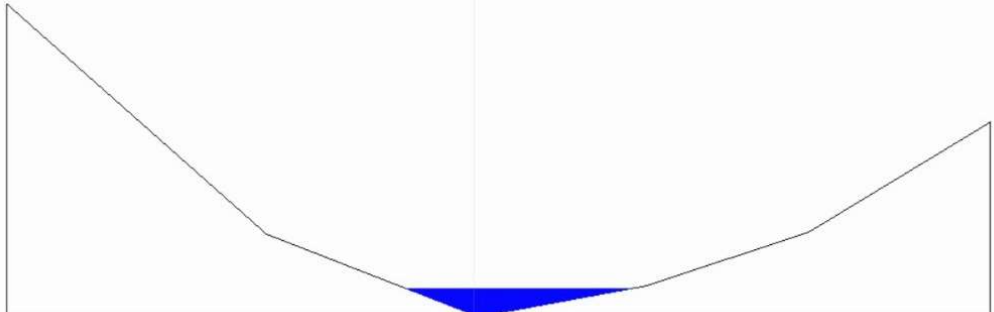
Figura 19. Localização das seções definidas como referências para cada trecho.



Fonte: Autor, 2024.

No Quadro 2 é apresentada as seções referentes a cada trecho do canal conforme indicado na figura anterior, onde a área preenchida em azul representa a lâmina d'água da vazão base do córrego quando do levantamento feito.

Quadro 2. Seções naturais dos trechos do canal de acordo com levantamento topográfico.

<p>Seção do Trecho C1</p>	
<p>Seção do Trecho C2</p>	
<p>Seção do Trecho C3</p>	
<p>Seção do Trecho C4</p>	
<p>Seção do Trecho C5</p>	

Fonte: Autor, 2024.

Com as seções representativas definidas, foram realizadas vistorias no local para reconhecimento de cada trecho do canal. Nas Figuras 20 a 31 são apresentadas imagens

dos trechos definidos para este estudo, onde é possível observar algumas interferências existentes nas margens.

Figura 20. Imagem do ponto indicado como nó J1 (montante do trecho C1 e da área de estudo).



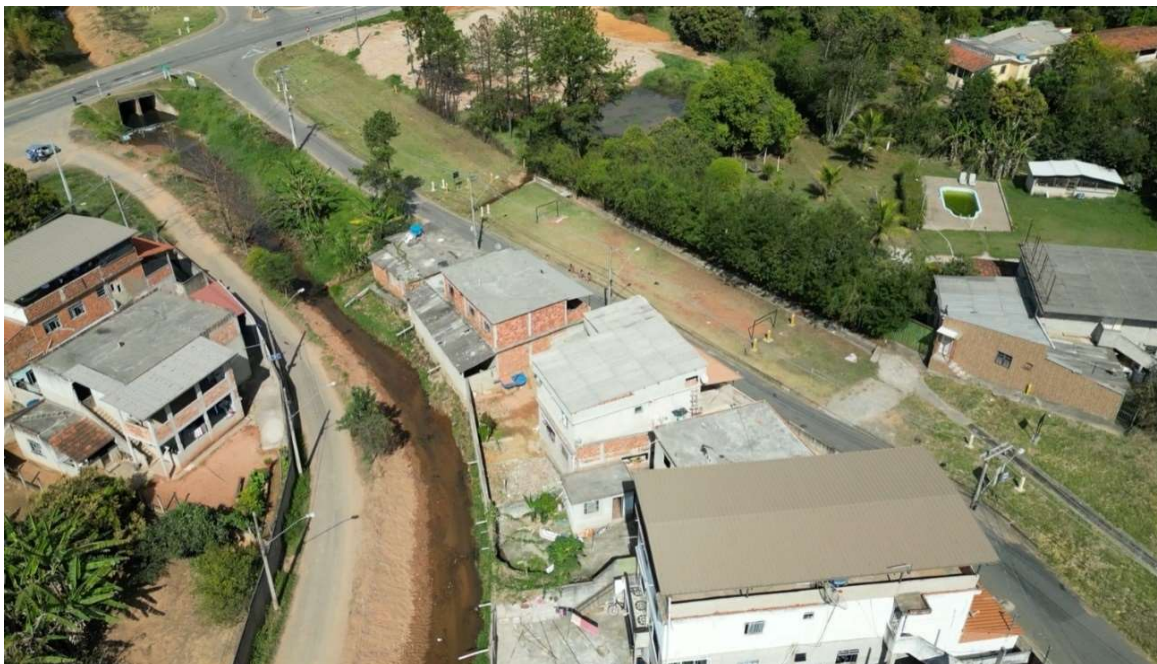
Fonte: Autor, 2024.

Figura 21. Imagens ponto indicado como nó J2 (jusante do trecho C1).



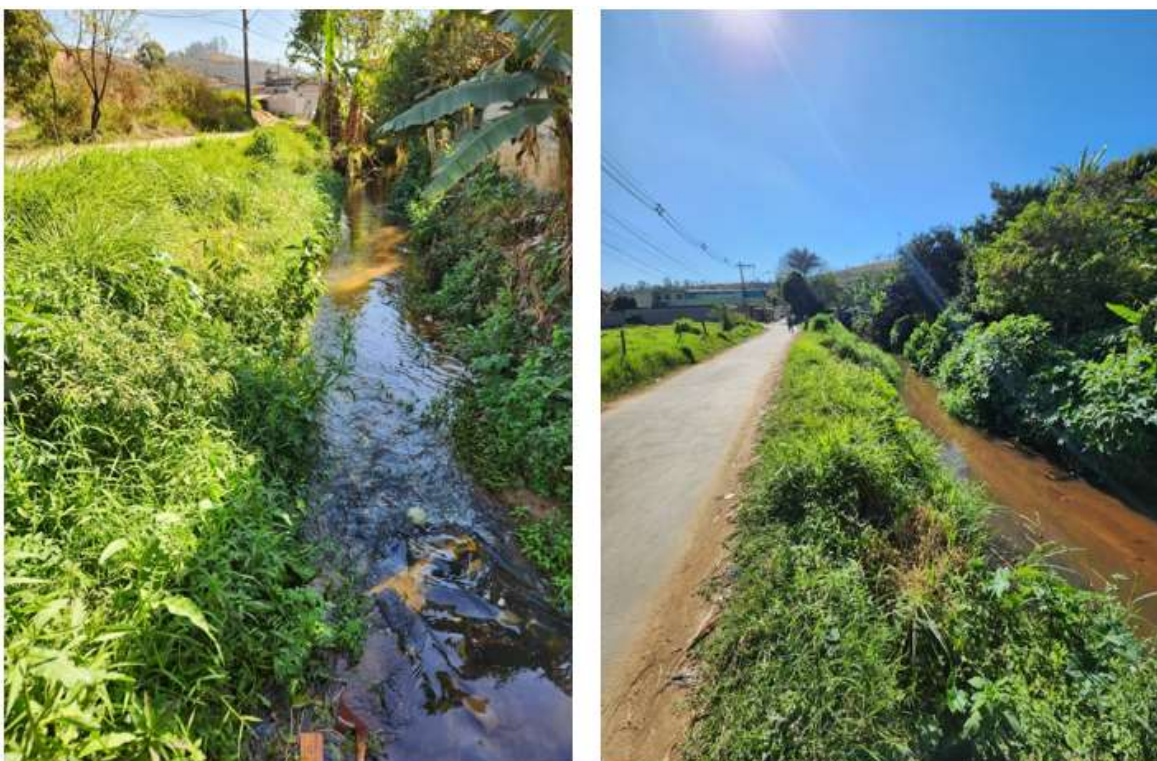
Fonte: Autor, 2024.

Figura 22. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C1 do canal natural.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 23. Imagens do trecho C2 do canal (jusante do ponto indicado como nó J2).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 24. Imagens do trecho C2 do canal (montante do ponto indicado como nó J3).



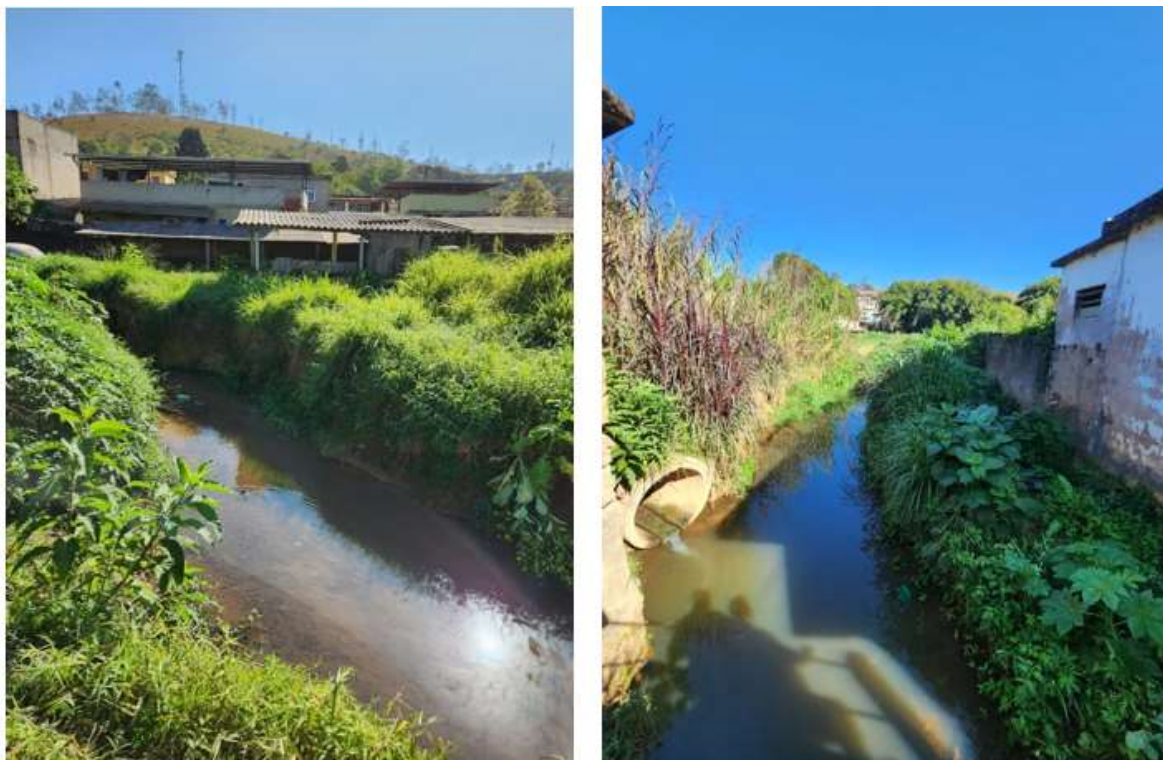
Fonte: Autor, 2024.

Figura 25. Imagem aérea de parte do trecho C2 do canal natural.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 26. Imagens do trecho C3 do canal a jusante do nó J3 (esquerda) e a montante do nó J4 (direita).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 27. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C3 do canal natural (trecho onde ocorre a mudança brusca de direção do córrego).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 28. Imagens do trecho C4 do canal (presença de construções ribeirinhas).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 29. Imagem aérea de parte do trecho C4 do canal natural com as duas margens ocupadas com construções ribeirinhas.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 30. Imagens do trecho C5 do canal (próximo ao ponto O1, exutório da área de estudo).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 31. Imagem aérea de toda a extensão do trecho C5 do canal natural.



Fonte: Autor, 2024.

Como pode ser observado nas imagens anteriores, há muitas construções nas margens do córrego e travessias improvisadas sob o canal, o que prejudica intervenções no leito do curso d'água. Além disso, há pouca disponibilidade de áreas livres, o que prejudica a implantação de dispositivos de macrodrenagem próximo do canal.

O último objeto definido neste modelo inicial foi o pluviômetro local. Este objeto, dentro da plataforma do *SWMM*, tem a função de receber as informações pluviométricas da região e transformar em vazão incidente sobre a área estudada.

Em relação aos dados pluviométricos, inicialmente foi feito um levantamento do histórico de chuvas do pluviômetro existente próximo ao local, operado pelo Centro Nacional

de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). O histórico deste pluviômetro se inicia no ano de 2015, entretanto, alguns períodos encontram-se sem dados levantados, especialmente em datas em que ocorreram desastres hidrológicos registrados, como, por exemplo, no dia 28 de janeiro de 2021, próximo das 17 horas. Ainda sobre estes dados levantados, as precipitações mais significativas estavam abaixo de 70 mm/h, valor este indicado pela Defesa Civil como limitante para alertas de inundações fortes no local. Sendo assim, optou-se por calcular uma chuva de projeto para inserir como dado de entrada no modelo hidrológico utilizado.

Para o cálculo da chuva de projeto utilizou-se a equação IDF do município de Juiz de Fora apresentada no seu manual de drenagem. O tempo de retorno utilizado foi de 100 anos, conforme é indicado no próprio manual, por Tucci (2007) e por Baptista *et al.* (2015) para sistemas de macrodrenagem. O tempo de concentração adotado foi obtido comparando valores de aplicação de alguns métodos, como Ventura, Califórnia e Kirpich, sendo utilizado o valor encontrado pelo último método citado, mais indicado para as características da bacia estudada. Com os dados obtidos, a intensidade da chuva de projeto estimada foi de 70,57 mm/h.

Devido a dimensão da área de estudo, 16,5 km², julgou-se necessário aplicar métodos de distribuição temporal da precipitação a fim de distribuir da melhor maneira a incidência da chuva de projeto no local estudado. Para isso, aplicou-se os métodos de Huff e dos Blocos Alternados. Foi inserido na plataforma do *SWMM* ambos os resultados obtidos para efeitos de simulação. Após as simulações realizadas, definiu-se como padrão os resultados obtidos pelo método dos Blocos Alternados por apresentar um maior impacto no canal objeto deste trabalho, além de ser o método indicado no manual de drenagem de Juiz de Fora.

No Anexo 1 – Matriz resumo dos principais parâmetros adotados para a criação de modelos hidráulico-hidrológicos é apresentada a síntese dos parâmetros definidos e a fonte de obtenção destes dados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Resultados Obtidos nas Simulações dos Modelos Hidrológicos

Conforme abordado anteriormente, este trabalho propôs a criação de três cenários hidráulico-hidrológicos para representar parte da bacia hidrográfica do córrego Igreja, localizado na zona norte do município de Juiz de Fora.

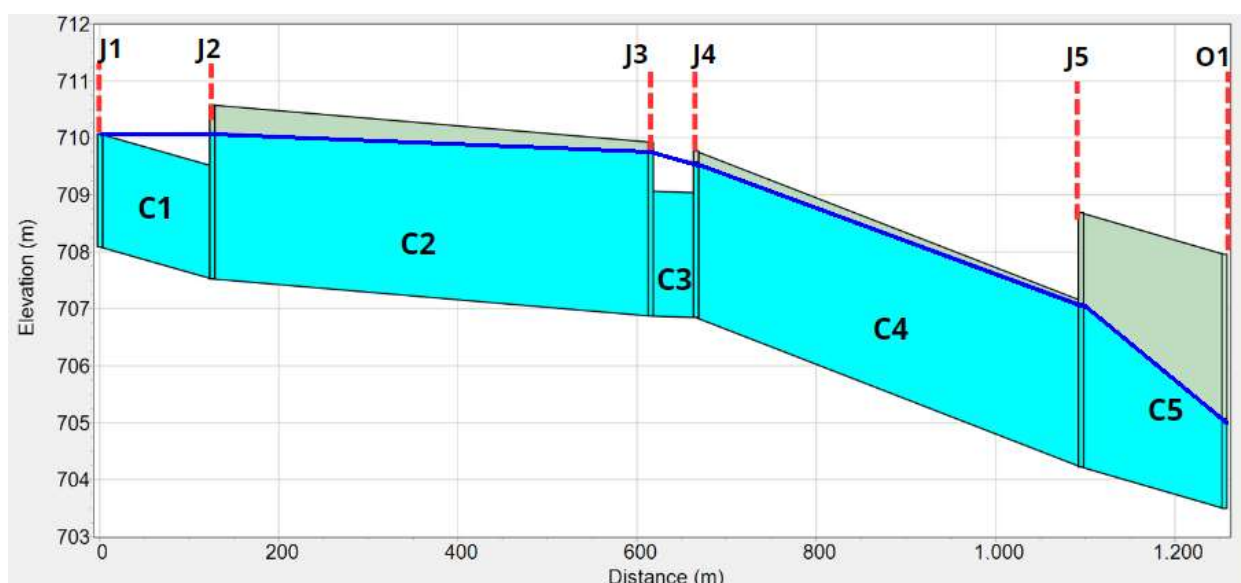
Para a criação destes cenários foi utilizado o software de modelagem *SWMM*, conforme indicado nos capítulos anteriores. A simulação hidráulica-hidrológica foi precedida do levantamento de parâmetros de projeto, conforme preconiza os manuais de aplicação da ferramenta. Estes parâmetros foram obtidos conforme destacado no Anexo 1 deste trabalho.

Com os parâmetros definidos, foi criado cada modelo de acordo com as especificidades da área de estudo e o objetivo do projeto. A seguir são apresentados os modelos criados e os resultados obtidos nas simulações hidráulico-hidrológicas realizadas.

5.1.1. Modelo Hidrológico Inicial – Cenário 1

Após a definição do plano de fundo, dos objetos hidrológicos e hidráulicos da área de estudo e dos parâmetros de projeto, foi executada a simulação do evento pluviométrico estimado para o modelo inicial criado. Após a execução do processo de simulação, observou-se que a maior vazão incidente sobre o canal do córrego seria com uma hora e quarenta minutos de evento, provocando a maior altura do nível d'água no canal, conforme pode ser observado na Figura 32.

Figura 32. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do modelo digital construído representando o estado atual do canal.



Fonte: Autor, 2024.

Ainda na Figura 32 pode-se observar a divisão do canal nos cinco trechos indicados anteriormente, sendo o C1 o trecho mais a montante e o C5 o trecho mais a jusante. A linha contínua azul, em tonalidade mais forte, representa o nível d'água no trecho, podendo variar acima do limite do canal. A área preenchida pela cor azul mais clara representa o nível d'água dentro do canal, que varia de acordo com as seções e contribuições de cada trecho.

O perfil apresentado ilustra o comportamento do nível d'água do córrego Igrejinha em 1 hora e 40 minutos após o início da precipitação de projeto, período em que se atingiu as maiores vazões do canal. A seguir, aborda-se os elementos que compõem o perfil ilustrado:

- ✓ Trecho C1: entre os nós J1 e J2
- ✓ Trecho C2: entre os nós J2 e J3
- ✓ Trecho C3: entre os nós J3 e J4
- ✓ Trecho C4: entre os nós J4 e J5
- ✓ Trecho C5: entre o nós J5 e o ponto de exutório O1
- ✓ A linha contínua azul: ilustra o nível d'água na área de estudo ao longo do canal de estudo do córrego.
- ✓ A área preenchida em azul mais claro (ciano): ilustra o nível d'água dentro do canal do córrego.

Quando a linha contínua azul ultrapassa a marcação da área em azul mais claro, como pode ser visto nos trechos C1 (J1-J2) e C3 (J3-J4), é indício de transbordamento da calha do córrego nestes trechos. Nos outros trechos o nível d'água se manteve dentro da calha natural do córrego.

Para ilustrar melhor a situação, é possível assistir o processo dinâmico da simulação realizada pelo software, para a situação atual do sistema de macrodrenagem da área de estudo, através do link de acesso:

https://drive.google.com/file/d/1If1xl0pyas1sdqXUtit4fgLgY40XSSxo/view?usp=drive_link

Ainda, o *SMWW* permite a apresentação dos resultados obtidos por meio de tabelas. Uma das tabelas disponíveis no software refere-se à capacidade atingida em cada trecho do canal por espaço de tempo, mediante o nível d'água que atinge o referido trecho. Como forma de corroborar a análise feita, na Tabela 1 é apresentado a capacidade atingida de cada trecho no período próximo ao evento máximo, uma hora e quarenta minutos, onde as vazões atingiram suas maiores marcas.

Tabela 1. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 01.

Tempo	Trecho C1	Trecho C2	Trecho C3	Trecho C4	Trecho C5
01:30:00	100%	80%	100%	85%	27%
01:35:00	100%	68%	100%	83%	31%
01:40:00	100%	80%	100%	94%	34%
01:45:00	100%	71%	100%	89%	34%

Fonte: Autor (2024).

Após a realização de alguns eventos de simulações, observou-se que após três horas e trinta minutos do início da precipitação a lâmina d'água presente no canal do córrego começa a se dissipar, voltando ao estado natural após a precipitação. Sendo assim, definiu-se o tempo de simulação do evento chuvoso em 3 horas e 30 minutos após o início do evento.

Tendo como base os resultados obtidos na Tabela 1, observou-se que os trechos C1, C3 e C4 do canal foram os que apresentaram maiores deficiências com relação à capacidade de absorção das contribuições que incidem sobre eles, superando a capacidade limite estabelecido neste trabalho, 85%, após 01 hora e 45 minutos de precipitação.

Com isso, esses trechos foram classificados como deficitários para condução do escoamento incidente. Sendo assim, serão objeto de estudo nas duas etapas seguintes, o dimensionamento de estruturas hidráulicas para a correção destas deficiências.

O *SMWW* também permite visualizar as maiores vazões que atingem os nós criados nos modelos. Para o modelo inicial proposto foi observado que no ponto O1, exutório do estudo, a vazão máxima acontece à 1 hora e 40 minutos após o início do evento chuvoso, atingindo o valor de 34,57 m³/s.

5.1.2. Modelo para sistema de drenagem convencional – Cenário 2

Com os resultados obtidos no modelo criado para representar a situação atual da área de estudo, foi realizada análise das possibilidades de intervenções para buscar ampliar a capacidade de suporte de escoamento do canal a fim de respeitar o limite de 85% da capacidade máxima estabelecida para cada trecho. Ressalta-se que o foco se deu nos trechos C1, C3 e C4, onde o nível d'água superou o limite estabelecido para este estudo.

Como forma de obter maior capacidade de transporte do canal existente, foi proposto a sua adequação, ampliando as seções dos trechos com deficiências a fim de garantir que o fluxo no canal não exceda 85% da sua capacidade em todos os trechos dentro da área de estudo.

Para o caso em questão, por se tratar de deficiência do sistema de macrodrenagem, foi simulado um novo canal, com os trechos C1, C3 e C4 redimensionados a fim de respeitar os limites preestabelecidos.

Como abordado anteriormente, neste trabalho foi utilizado os cadernos de encargos da SUDECAP como referência para a definição das novas seções destes trechos com o intuito de construir um novo modelo hidráulico-hidrológico da área de estudo utilizando princípios da drenagem convencional para a resolução dos problemas hidrológicos.

Moura (2004) aborda que os canais são estruturas hidráulicas utilizadas para o sistema de macrodrenagem, podendo ser denominados de canalizações dos cursos d'água. Estes dispositivos são implantados para escoar as vazões fluviais que incidem sobre um corpo hídrico, evitando o transbordamento da calha do sistema. A autora apresentou os tipos mais usuais aplicados na engenharia hidráulica:

- ✓ Canais em concreto;
- ✓ Canais com revestimento vegetal;
- ✓ Canais com enrocamento;
- ✓ Canais em gabião tipo caixa;
- ✓ Canais em gabião tipo colchão.

Por meio de visitas realizadas no local, avaliou-se a situação atual da topografia do canal e de suas margens, como também as interferências existentes, como as passarelas de madeira, pontes, ocupações ribeirinhas do córrego Igrejinha e as infraestruturas já existentes, conforme pôde ser observado nas imagens anteriores. Com isso, percebe-se que as tipologias “Canais em concreto” e “Canais em gabião tipo caixa” são as que melhor se adequam ao local, devido a disponibilidade de espaço, geometria do canal e potencial construtivo.

Para este estudo optou-se por utilizar a canalização em gabião tipo caixa por terem custos relativamente menores de implantação, conforme apresentado por Moura (2004) e por possuírem boa adaptação social e ambiental, tratando-se de estruturas mais permeáveis e próximas das composições naturais do córrego. A seguir são apresentadas as alterações propostas dos trechos C1, C3 e C4.

Trecho C1

Para o trecho C1, após dimensionamentos realizados por meio da equação de Manning, foi indicado a necessidade de ampliação de sua calha, com alargamento lateral, seguido de alteamento de ambas as margens, gerando uma geometria retangular livre.

Devido a disponibilidade de espaço para escavações nas suas margens, a largura projetada para o novo canal é de 10 metros de seção livre, sendo necessário o acréscimo de um metro de largura de escavação em cada borda para a implantação do gabião nas duas margens como forma de conter o terreno lateral. Em relação à sua altura, optou-se por ampliar a altura do canal em 1,2 metros de média, onde sugere-se a implantação de um dique de contenção de cheias em concreto armado, devido a ineficiência do gabião para a contenção de cheias, por se tratar de estrutura mais permeável. A nova seção do trecho C1 é ilustrada na Figura 33.

Figura 33. Nova seção proposta para o trecho C1.



Fonte: Autor, 2024.

Trecho C3

Em relação ao trecho C3, com os dimensionamentos realizados pela equação de Manning, optou-se por ampliar a seção da sua calha, no entanto, sem a necessidade de alargamento e alteamento de suas margens, somente a execução de um canal retangular livre, mantendo a largura máxima original e a altura já existente.

Como a largura máxima deste trecho é de 10 metros, não há necessidade de realização de escavações adicionais nas suas bordas a fim de permitir a implantação do muro de contenção das margens em gabião, sendo necessário somente a retirada de material dentro do leito natural, criando assim um vão livre. Na Figura 34 é apresentada a geometria da nova seção deste trecho.

Figura 34. Nova seção proposta para o trecho C3 mantendo o traçado original do canal natural.



Fonte: Autor, 2024.

Como este trecho está localizado no ponto de mudança brusca de direção do córrego, foi simulado a retificação do canal do córrego a fim de reduzir a zona de remanso criada com esta mudança de direção. Para esta proposta, foi criado um novo trecho do canal, direcionando o fluxo do córrego para o ponto J4 em 45°, suavizando a mudança de direção. Após a realização dos dimensionamentos necessários, foi definido que a seção do novo trecho retificado fosse trapezoidal com 2,05 metros de altura e com uma largura da base menor em 5,50 metros. Devido ao fato de as inclinações das margens deste novo trecho serem maiores do que 45°, o que reduz os riscos de erosões laterais, definiu-se como opção a canalização em revestimento vegetal. Este novo trecho, denominado C2.1, obteve a nova seção apresentada na Figura 35.

Figura 35. Nova seção proposta para o trecho C3 com a retificação do canal.



Fonte: Autor, 2024.

Entretanto, por existir a contribuição do afluente da sub bacia S4 no nó J3, foi simulado novamente o trecho C3 como forma de avaliar se comportaria esta vazão única, considerando o limitante de 85% da capacidade máxima. Após a simulação feita, o valor máximo obtido da capacidade atingida deste trecho foi de 74%, ou seja, não houve necessidade de adequação do canal existente.

Diante destas duas opções de cenários, foram feitas duas simulações, a primeira considerando somente o trecho C3 redimensionado, mas com seu traçado original, e a segunda, o novo trecho retificado C2.1. Os resultados são expostos na sequência deste capítulo.

Trecho C4

No trecho 4, após os dimensionamentos feitos pela equação de Manning, optou-se pela ampliação da sua calha, apresentando uma proposta semelhante ao trecho C3, onde foi proposto a manutenção das dimensões máximas existentes do canal, largura e altura. Entretanto, ao contrário dos trechos C1 e C3, no trecho C4 não foi possível a aplicação da canalização em gabião tipo caixa devido as interferências das construções ribeirinhas que prejudicariam a execução deste tipo de canalização, além de reduzir a área útil livre caso fosse implantada. Devido a isto, foi proposto a canalização deste trecho por meio de revestimento em concreto armado, proporcionando uma maior seção retangular livre. Na Figura 36 é apresentada a nova geometria da seção do trecho C4.

Figura 36. Nova seção proposta para o trecho C4.

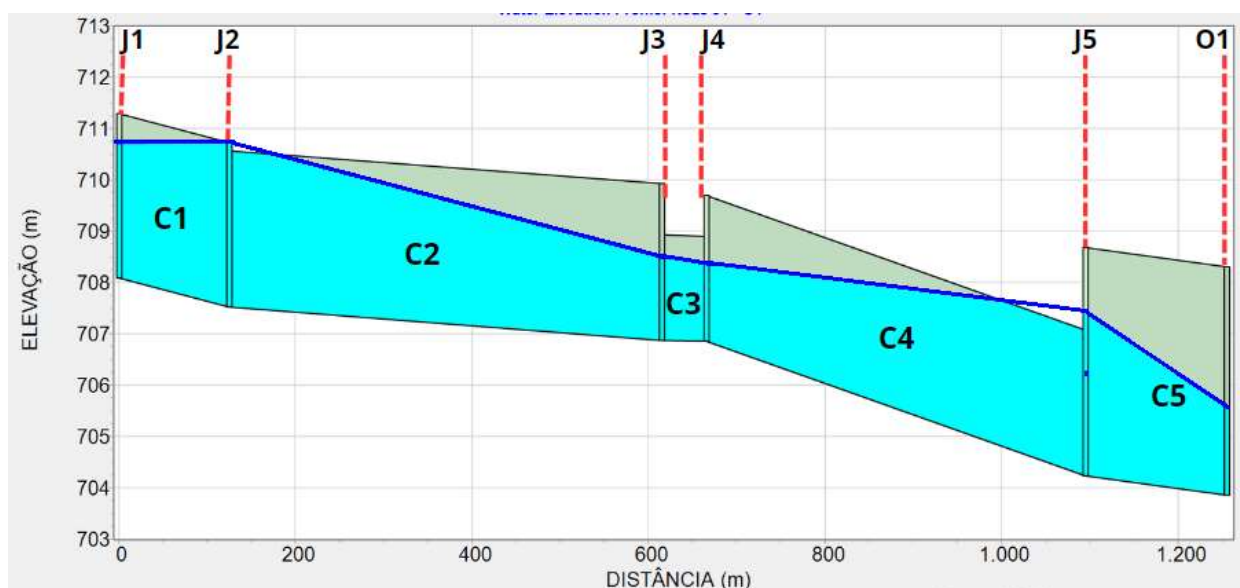


Fonte: Autor, 2024.

Com as adequações feitas no canal, realizou-se a simulação do novo sistema projetado mantendo os parâmetros hidrológicos constantes, alterando somente a geométrica e rugosidade do canal nos trechos C1, C3 e C4. Inicialmente, foi realizado a simulação do primeiro cenário, onde foi mantido o traçado original do córrego.

Após a simulação feita, foi obtido o resultado apresentado na Figura 37, onde foi gerado o perfil do canal no período de maior vazão, à 1 hora e 40 minutos após o início da chuva de projeto.

Figura 37. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do modelo convencional construído (mantendo o traçado original no trecho C3).



Fonte: Autor, 2024.

Por meio deste perfil observa-se que o nível do fluxo do córrego se manteve dentro de sua calha em grande parte do canal. As exceções ficaram nos primeiros 50 metros do trecho C2 e nos últimos 100 metros do trecho C4. Devido aos pontos de transbordamento indicados, foram feitas outras simulações alteando os trechos C2 e C4 para a mitigar os problemas observados.

Após as referidas simulações, definiu a necessidade de alteamento de 75 centímetros ao longo de 50 metros de cada margem do trecho C2, totalizando 100 metros lineares de alteamento das margens, e 40 centímetros ao longo de 100 metros de cada margem do trecho C4, totalizando 200 metros lineares de alteamento.

Como forma de avaliar se o limite estabelecido para este trabalho, capacidade máxima do canal em 85%, foi respeitado, gerou-se a tabela de capacidades de cada trecho, representada no período de maior vazão pela Tabela 2.

Tabela 2. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 02.

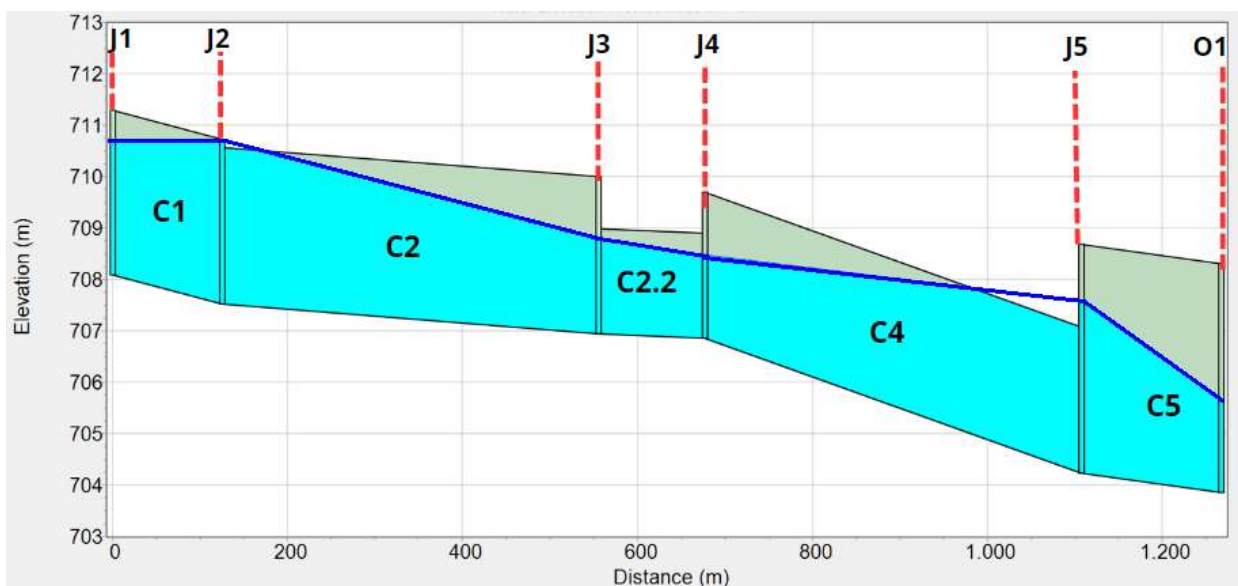
Tempo	Trecho C1	Trecho C2	Trecho C3	Trecho C4	Trecho C5
01:30:00	90%	66%	84%	85%	38%
01:35:00	91%	54%	61%	75%	37%
01:40:00	91%	62%	77%	84%	40%
01:45:00	91%	55%	64%	77%	38%

Fonte: Autor (2024).

Por meio da análise desta tabela, obteve-se resultado satisfatório para os trechos C3 e C4, onde o limite de 85% da capacidade do canal foi respeitada. Entretanto, mesmo com a nova conformação da seção do canal no trecho C1, obteve-se 91% da capacidade máxima do canal neste ponto. Foram realizadas algumas simulações com o intuito de reduzir a capacidade máxima deste trecho, respeitando as limitações físicas e técnicas, mas sem sucesso.

Em seguida, foi realizada a simulação do segundo cenário, contendo a retificação do córrego na sub bacia S5, trecho C2.2. Após a simulação feita, foi obtido o resultado apresentado na Figura 38, contendo o perfil do canal também à 1 hora e 40 minutos após o início da chuva de projeto, período em que ocorreu a maior vazão no canal.

Figura 38. Perfil do canal do córrego Igreja após a simulação do modelo convencional construído (com a retificação do córrego na sub-bacia S5).



Fonte: Autor, 2024.

Pode-se observar que o nível d'água do córrego se manteve dentro de sua calha em grande parte do canal, onde as exceções ficaram nos primeiros 25 metros do trecho C2 e nos últimos 125 metros do trecho C4.

Contudo, ao gerar os resultados da capacidade máxima atingida por cada trecho, Tabela 3, percebe-se que o trecho C4 atinge 88% da sua capacidade, superando o limite estabelecido. Com isso, há a necessidade de redimensionamento do trecho C4 para adequação quanto a sua capacidade.

Tabela 3. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 02 com a criação do trecho C2.2 (retificação do córrego na sub-bacia S5).

Tempo	Trecho C1	Trecho C2	Trecho C3	Trecho C4	Trecho C5
01:30:00	90%	70%	74%	88%	41%
01:35:00	91%	68%	43%	76%	37%
01:40:00	91%	69%	67%	87%	43%
01:45:00	91%	68%	47%	79%	40%

Fonte: Autor (2024).

Com os resultados obtidos em ambos os cenários definidos, definiu-se o primeiro cenário como ideal para o modelo convencional, onde manteve-se o traçado original do córrego. Isto se deve a necessidade de redimensionamento do trecho C4 com a retificação do córrego, pelo fato de gerar uma vazão de descarga maior neste trecho. Ao considerar as interferências existentes e a tipologia de canalização em concreto armado, a adequação deste trecho geraria maiores intervenções elevando o seu custo.

Resumindo, ao definir o modelo convencional com o traçado original como cenário padrão adotou-se o limite de 85% da capacidade máxima dos trechos C2, C3, C4 e C5, e de 91% para o trecho C1. Com estas hipóteses, prosseguiu-se para a próxima etapa, a criação do modelo hidráulico-hidrológico utilizando técnicas mais sustentáveis.

Por meio do *SMWW* também foi possível obter o valor das vazões de pico que atingem cada nó definido para o estudo realizado. Para o ponto O1, exutório da área de estudo, após a simulação do cenário do ideal, a maior vazão obtida foi de 42,80 m³/s, ocorrida à 1 hora e 30 minutos após o início do evento chuvoso.

5.1.3. Modelo para Bacias de Detenção – Cenário 3

Tendo como base os resultados obtidos no modelo inicial criado, nesta nova etapa foram propostas adequações no sistema de macrodrenagem com o intuito de garantir que todos os trechos do canal dentro da área de estudo respeitassem o limite estabelecido para este trabalho, que não se exceda a capacidade máxima de 85%.

Por se tratar de um estudo voltado ao sistema de macrodrenagem, deu-se preferência a dispositivos que controlem as vazões de maneira global. Além disso, critérios como áreas disponíveis, relevo e tipologia do solo local, além de referências de outros trabalhos, foram levados em consideração para a definição dos tipos de dispositivos a adotar e os locais para a sua implantação.

Para esta nova etapa, foi adotado o uso de bacias de detenção próximas às margens do canal. A escolha por estes dispositivos se deu pelas áreas disponíveis existentes, o seu

uso para sistemas de macrodrenagem e a sua facilidade construtiva. Na Figura 39 é apresentada as 04 (quatro) opções de áreas indicadas para a implantação destes dispositivos.

Figura 39. Localização das opções de áreas para a implantação de bacias de retenção



Fonte: Autor, 2024.

Com as opções de localização das bacias de retenção definidas, foram feitas simulações com algumas combinações, como por exemplo a implantação de bacias de retenção concomitante ao redimensionamento de trechos.

A simulação que trouxe o melhor custo-benefício, atingindo o objetivo estabelecido com menores intervenções, foi a implantação de duas bacias de retenção, opções 1 e 3 da Figura 39, seguindo de adaptações nos trechos C1 e C3 do canal de estudo.

A primeira bacia proposta está localizada no encontro das sub-bacias S1 e S2, na margem da rodovia BR-267, a montante do trecho C1, indicado na Figura 39 como opção 1. Para dimensionar a estrutura foi aplicado método das chuvas e validado na simulação do SMWW, obtendo uma área em planta de 10.000 metros quadrados com 2,5 metros de profundidade média. A bacia posposta tem seção trapezoidal, com as paredes laterais em taludes com inclinação de 45° a fim de eliminar a necessidade de contenções de terra, que oneraria o custo executivo.

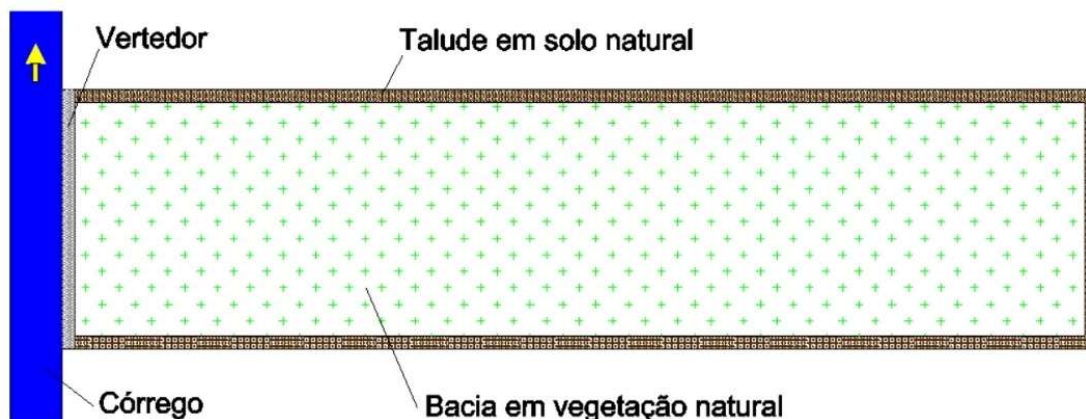
Importante ressaltar que o local para a implantação da bacia de retenção 1 também foi indicado no estudo realizado no Plano de Drenagem de Juiz de Fora, onde a sua escolha se deu pelos seguintes fatores:

- ✓ Considerável área disponível para implantação do dispositivo e em formato semelhante a uma bacia de amortecimento, reduzindo os custos de implantação;
- ✓ Proximidade ao encontro do córrego Igrejinha e seu afluente da sub bacia S1, e localizado às margens do canal do córrego;

- ✓ Previsão de captação de grande parte da área de contribuição da bacia em estudo, sendo responsável pelo amortecimento dos afluentes das sub bacias S1 e S2, as com maiores áreas do projeto.

Na Figura 40 é apresentado o croqui, em planta, do dispositivo proposto.

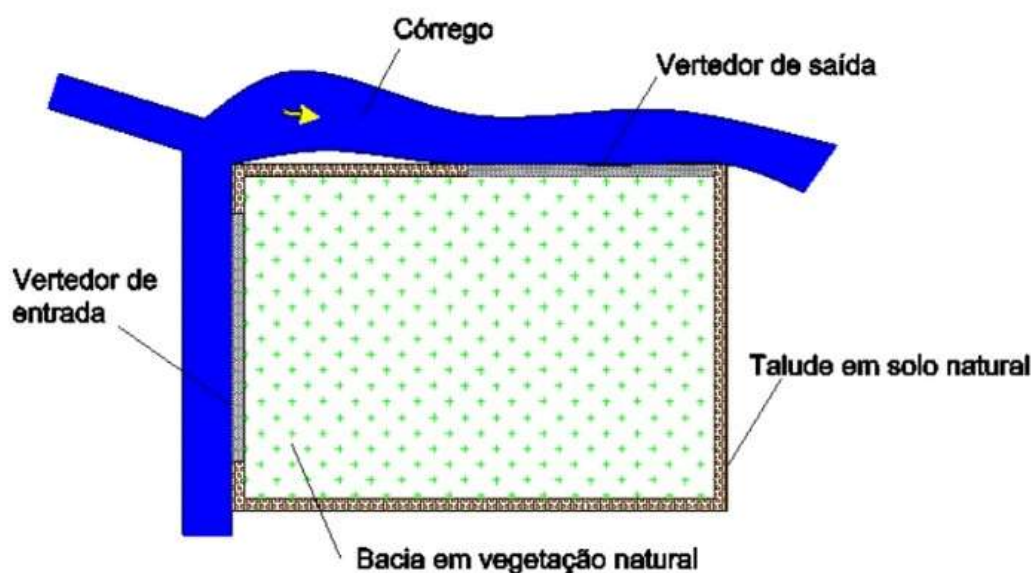
Figura 40. Croqui da bacia de retenção projetada no ponto 2



Fonte: Autor, 2024.

A outra bacia proposta também se encontra nas margens do córrego Igrejinha, no trecho onde o canal muda bruscamente de direção, indicada como opção 3 na Figura 39. Neste local além da mudança brusca do direcionamento do curso d'água, há o recebimento de contribuição de uma das sub bacias do projeto, a S4. Além disso, a disponibilidade de área sem a necessidade de demolições e retirada de moradias foi outro ponto positivo pela sua escolha. O seu dimensionamento também seguiu o procedimento da bacia de retenção 1, obtendo a área em planta baixa de 900 metros quadrados e uma profundidade média de 40 centímetros. Esta bacia tem seção retangular que, devido a pequena altura, não prevê a necessidade de execução de contenções laterais. Na Figura 41 é apresentado o croqui, em planta, do dispositivo.

Figura 41. Croqui da bacia de retenção projetada no ponto 3



Fonte: Autor, 2024.

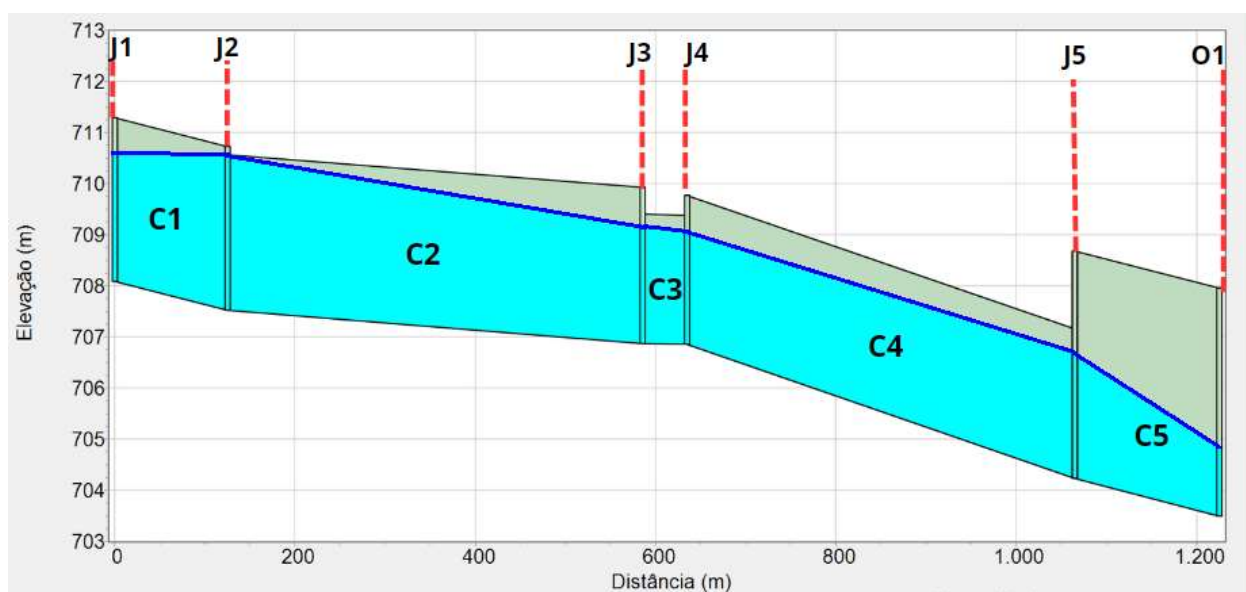
Entretanto, somente o uso destes dispositivos não foi suficiente para respeitar os limites de capacidade estabelecidos neste trabalho, sendo necessário a adequação dos trechos C1 e C3 do referido canal.

No trecho C1 foi mantida a proposta indicada no método convencional, ampliação da largura e alteamento das margens aumentando a sua capacidade de transporte. A seção do novo trecho ficou com os mesmos 10 metros de largura e 3,2 metros de altura, conforme adotado no modelo anterior. Em relação ao trecho C3 foi necessário somente o alteamento, em toda a sua extensão, das suas margens em 45 centímetros de média.

O novo modelo hidráulico-hidrológico proposto com a utilização de dispositivos *SUDS* manteve os parâmetros hidrológicos iniciais constantes, alterando somente a geometria e a rugosidade do canal no trecho C1, e a geometria no trecho C3. Além disso, foi necessário acrescentar dois novos objetos no modelo, as duas bacias de retenção, denominadas no *SMWW* como unidades de amortecimento, a primeira no ponto de montante da área de estudo e a segunda a jusante do trecho C2, no local do nó J3.

Após a simulação feita, foi obtido o resultado apresentado no perfil da Figura 42 no período de maior vazão no canal, à 1 hora e 45 minutos após o início da chuva de projeto, onde pode ser observado que o nível do fluxo do córrego se manteve dentro de sua calha em todo o trecho do canal de estudo.

Figura 42. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação cenário 03.



Fonte: Autor, 2024.

Por meio da tabela de capacidades de cada trecho por período, foi possível avaliar se o critério estabelecido de 85% da capacidade máxima do canal foi atendido. De acordo com a Tabela 4, é possível observar que com as adequações propostas no sistema de macrodrenagem o objetivo foi atingido nos trechos C2, C3, C4 e C5. A exceção ficou no trecho C1, onde atingiu-se o valor máximo de 87% da capacidade de transporte do fluxo, respeitando as restrições locais de espaço disponível e infraestruturas existentes.

Tabela 4. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de vazão do canal no cenário 03.

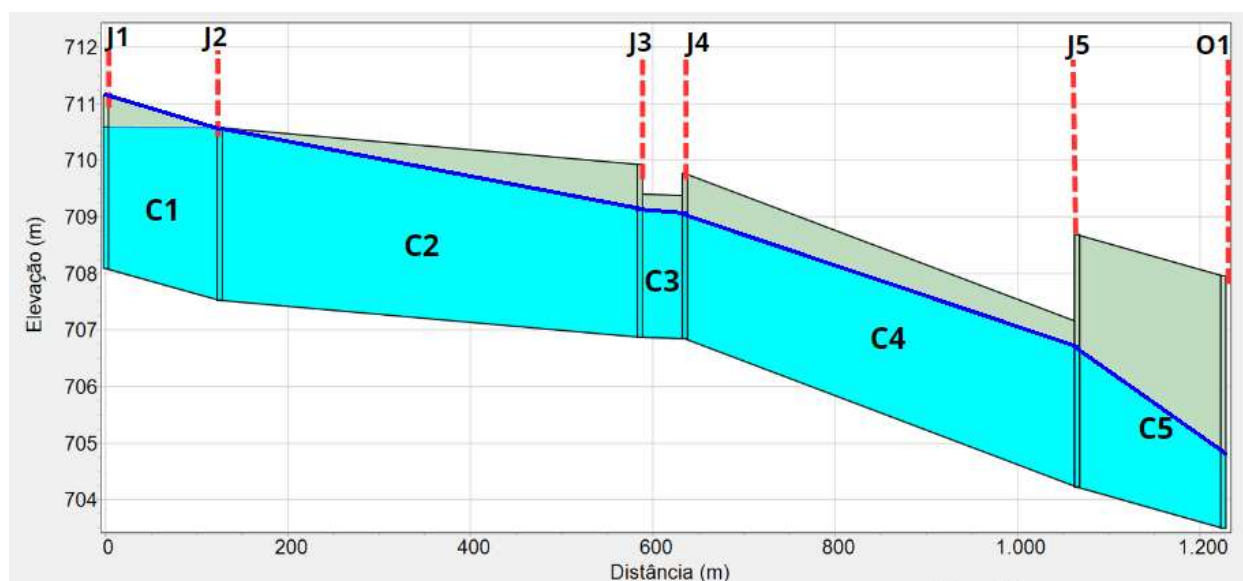
Tempo	TrechoC1	TrechoC2	TrechoC3	TrechoC4	TrechoC5
01:30:00	85%	77%	85%	66%	21%
01:35:00	87%	72%	72%	63%	23%
01:40:00	86%	76%	83%	71%	26%
01:45:00	87%	73%	73%	66%	26%

Fonte: Autor (2024).

Para fins comparativos, foi realizado uma nova simulação do modelo *SUDS* alterando a geometria proposta para o trecho C1 do canal a fim de garantir que a capacidade deste trecho não exceda os 91% obtidos no modelo convencional.

Com a redução da altura do novo trecho C1 para 3,05 metros e a manutenção da largura de 10 metros, foi possível atingir capacidade máxima deste trecho em 91%, garantindo o mesmo limite atingido na modelagem convencional. Para esta nova seção será necessário a implantação de 2 metros de altura de gabião e 1,05 metros de altura para o muro de contenção de cheias em concreto armado. Com este novo cenário criado, foi realizado a nova simulação da área de estudo, obtendo o perfil gerado na Figura 43.

Figura 43. Perfil do canal do córrego Igrejinha após a simulação do cenário 03.



Fonte: Autor, 2024.

Como pode-se observar na Figura 43, o nível d'água se manteve dentro do canal, sem a ocorrência de transbordamentos. A fim de validar os resultados obtidos, na Tabela 5 é apresentado os valores das capacidades máximas atingidas pelos cinco trechos do canal no período de maior incidência de vazão, onde é possível constatar que os trechos C2, C3, C4 e C5 respeitaram o limite de 85% de sua capacidade e o trecho C1 o limite de 91%, resultado semelhante ao modelo convencional.

Tabela 5. Capacidades atingidas de cada trecho nos períodos de maior vazão do cenário 03 mantendo o limitante de 91% para o trecho C1.

Tempo	TrechoC1	TrechoC2	TrechoC3	TrechoC4	TrechoC5
01:30:00	89%	77%	85%	66%	21%
01:35:00	90%	71%	72%	63%	23%
01:40:00	91%	72%	82%	71%	26%
01:45:00	90%	72%	73%	66%	26%

Fonte: Autor (2024).

Com o intuito de manter a padronização deste trabalho, será adotado, para fins de comparação de custos, o modelo apresentado na segunda opção, onde o trecho C1 atingiu 91% do limite máximo de sua capacidade.

Em ambas as opções simuladas, trecho C1 com capacidade máxima de 87% (opção 1) e trecho C1 com capacidade máxima de 91% (opção 2), obteve-se como vazão máxima no ponto O1, exutório da área de estudo, o valor de 27,48 m³/s, ocorrido à 01 hora e 30 minutos após o início da precipitação de projeto.

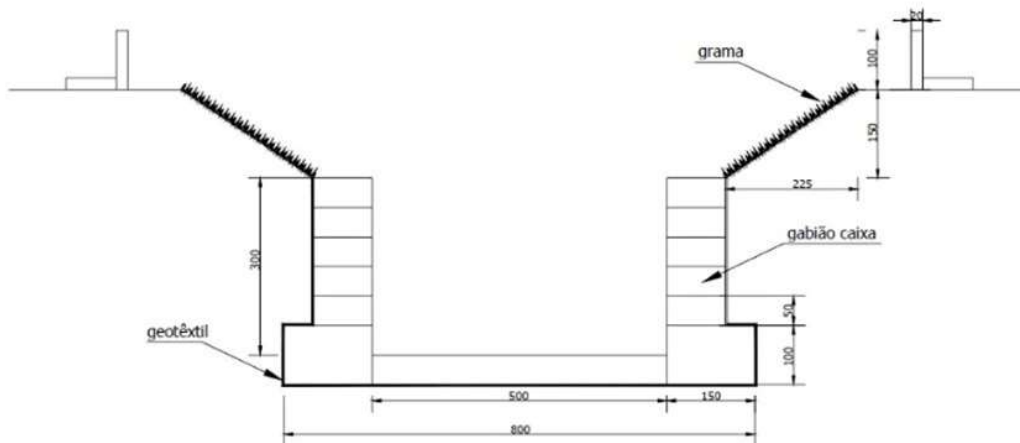
5.2. Estimativa dos Custos para a Implementação dos Modelos

Após as simulações realizadas e os resultados obtidos nos dois modelos criados, foi possível comprovar tecnicamente que o objetivo dos dimensionamentos feitos neste trabalho foi alcançado nos trechos C2, C3, C4 e C5, onde foi possível obter uma capacidade máxima alcançada menor que 85% da capacidade total disponível. Contudo, no trecho C1 alcançou-se um limite máximo de 91% de sua capacidade total devido as restrições existentes no local. Com estes resultados, prossegue-se para a próxima etapa do estudo, a comparação dos custos envolvidos em ambas as propostas.

Para o levantamento dos custos necessários para a implantação, manutenção e operação dos dispositivos propostos, este estudo baseou-se, conforme já mencionado, nos projetos tipo indicados nos cadernos técnicos da SUDECAP a fim de padronizar este levantamento, conforme realizado também no estudo de Moura (2004).

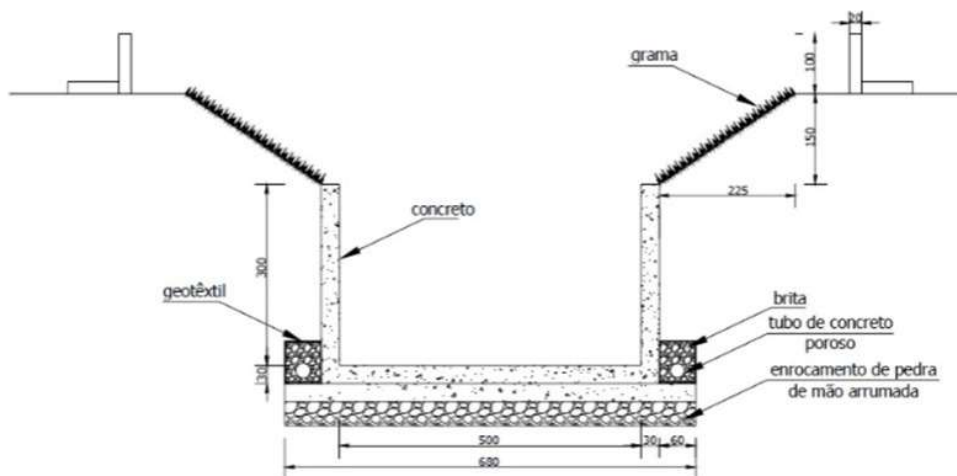
Nas adequações propostas para o redimensionamento das seções dos trechos do canal, utilizou-se dois modelos de projetos tipos padrão SUDECAP: a canalização com revestimento em concreto armado para os locais com pouca disponibilidade de espaço e existência de interferências construtivas, e a canalização com revestimento em gabião tipo caixa. Ambos os tipos de canalização foram projetados com o intuito de ampliação da seção livre do canal, redução do índice de rugosidade e, claro, garantir a estabilidade das margens escavadas. Além disso, para os casos em que há a necessidade de alteamento da margem, propôs-se a utilização de muros de concreto armado, como um acréscimo no projeto tipo, servindo como estruturas de contenção de cheias, ou seja, funcionando como diques de contenção. A seguir é apresentado os projetos tipos da SUDECAP para canais em gabião tipo caixa e com revestimento em concreto armado, Figuras 44 e 45, respectivamente.

Figura 44. Padrão tipo do SUDECAP para canais com revestimento em gabião tipo caixa.



Fonte: Moura, 2004.

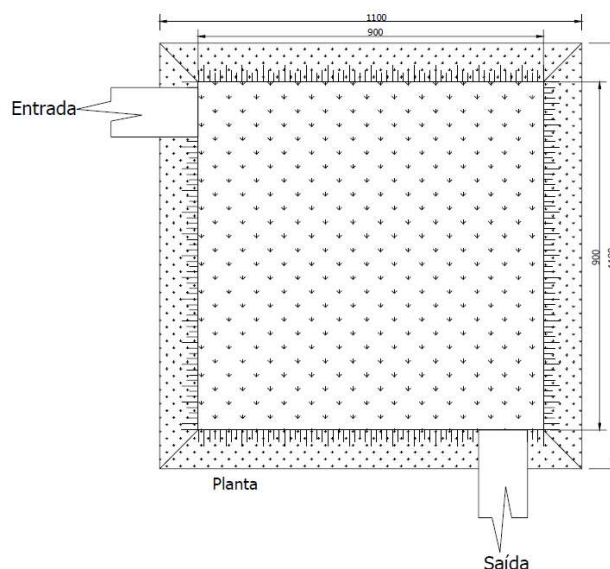
Figura 45. Padrão tipo do SUDECAP para canais com revestimento em concreto armado.



Fonte: Moura, 2004.

Em paralelo, os cadernos da SUDECAP também indicam projetos tipos para outros dispositivos de drenagem, incluindo dispositivos relacionados a drenagem mais sustentável. Sendo assim, para o caso das bacias de detenção projetadas, foi utilizado o padrão tipo da SUDECAP para as bacias abertas e gramadas, conforme apresentado na Figura 46.

Figura 46. Padrão tipo do SUDECAP para bacias de detenção abertas e gramadas.



Fonte: Moura, 2004.

Com a definição destes padrões tipo indicados anteriormente, é possível estimar os custos de implantação, manutenção e operação destes novos dispositivos. Moura (2004) propôs para cada projeto tipo uma composição de custo a fim de estimar os recursos financeiros necessários para a implantação destes elementos, como também, criou uma composição de custo para os serviços de manutenção e operação.

Utilizando como referência a proposta de composição de custos elaborada por Moura (2004), os serviços propostos foram revisados com o intuito de adequar a realidade local. Também foram atualizados os valores unitários descritos na sua pesquisa com base na planilha de referência mais atualizada da SUDECAP no momento, agosto de 2023.

Além do estudo de Moura (2004), para a elaboração da composição de custos para os serviços de manutenção e operação das bacias de retenção foi utilizado o estudo realizado por Souza *et al.* (2013) como referência. Este estudo avaliou os custos de manutenção praticados em quatro bacias de retenção em funcionamento no município de Belo Horizonte – MG, todas elas com características similares com as bacias propostas neste estudo, aberta e gramada.

Na sequência, é apresentado a proposta de composição de serviços previstos para a implantação, manutenção e operação dos novos sistemas de macrodrenagem criados, desde as canalizações e alteamento dos trechos do canal, até das bacias de retenção.

5.2.1. Proposta de composição de serviços para os canais com revestimento em concreto armado

Seguindo a proposta de Moura (2004), foi definido os tipos de serviços necessários para a implantação do canal com revestimentos em concreto armado, desde a escavação até a execução de sua calha.

Além destes serviços envolvidos, também foi indicado a necessidade de implantação de dispositivos auxiliares para garantir o correto direcionamento do escoamento superficial que incide sobre a área de estudo para dentro do canal. Sendo assim, é definido como parte integrante da composição de serviços a implantação de duas bocas de lobo a cada 100 metros de canal e sarjetas ao longo de toda a sua extensão. No Quadro 3 é descrita a proposta de serviços necessários para este tipo de canalização.

Quadro 3. Descrição da composição de serviços para a implantação de canal com revestimento em concreto armado.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Escavação mecanizada	m ³
Transporte de materiais escavados	m ³ x km
Enrocamento de pedra de mão arrumada	m ³
Concreto para regularização	m ³
Concreto estrutural (25Mpa)	m ³

Dreno lateral	m
Escoramento	m ²
Forma de madeira	m ²
Gramma	m ²
Armação	Kg
Dispositivos auxiliares	
Bocas de lobo (2 unid / 100 m)	unidade
Sarjeta (2m/m)	m

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

Em relação a manutenção e operação do novo canal, é proposto também uma composição de serviços necessários para estas tarefas, também tendo como referência a proposta de Moura (2004), conforme é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4. Descrição da composição de custo para a manutenção de canal com revestimento em concreto armado.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Limpeza do canal (2 vezes por ano)	m ³
Limpeza boca de lobo (4 vezes ao ano) e substituição de grelhas (10% ao ano)	m ³ x km
Reconstrução sarjeta (1% ao ano)	m ³
Recuperação canal (concreto e armaduras)	m ³
Recuperação faixa gramada (1% ao ano)	m ³

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

5.2.2. Proposta de composição de serviços para canais com revestimento em gabião tipo caixa.

Utilizando a mesma proposição anterior, foi criado a composição de serviços para a implantação do canal em revestimento em gabião tipo caixa, incluindo os dispositivos auxiliares. Entretanto, foi suprimido neste item os serviços de concreto armado indicado por Moura (2004), que tratam dos muros de contenção lateral do padrão tipo SUDECAP. Este tipo de serviço será descrito isoladamente pelo fato de alguns trechos do canal não necessitarem de tal dispositivo e, em outros casos, necessitarem somente de curtos alteamentos de suas margens.

No Quadro 5 é apresentado a proposta de composição dos serviços necessários para a implantação da referida canalização.

Quadro 5. Descrição da composição de serviços para a implantação de canal com revestimento em gabião tipo caixa.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Escavação mecanizada	m ³
Transporte de materiais escavados	m ³ x km
Execução e fornecimento de Gabião	m ³
Concreto para regularização	m ³
Gramma	m ²
Geotêxtil	m ²
Dispositivos auxiliares	
Bocas de lobo (2 unid / 100 m)	unidade
Sarjeta (2m/m)	m

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

No Quadro 6 é apresentado a proposta de composição de serviços para as etapas de manutenção e operação deste novo canal, utilizando como referência a proposta de Moura (2004).

Quadro 6. Descrição da composição de serviços para a manutenção de canal com revestimento em concreto armado.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Limpeza do canal (2 vezes por ano)	m ³
Limpeza boca de lobo (4 vezes ao ano) e substituição de grelhas (10% ao ano)	m ³ x km
Reconstrução sarjeta (1% ao ano)	m ³
Recuperação canal (reconstrução 1% dos gabiões)	m ³
Recuperação faixa gramada (1% ao ano)	m ³

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

5.2.3. Proposta de composição de serviços para a implantação dos muros de contenção de cheias em concreto armado

Para a execução dos muros de contenção de cheias, os diques, é proposto a criação de uma composição específica dos serviços necessários, incluindo a implantação de lastro de concreto para regularização, execução de formas de madeira, colocação de armaduras, e fornecimento e lançamento de concreto para fins estruturais com 25 Mpa (Mega Pascal). No Quadro 7 é apresentado a composição proposta com as referidas unidades de medida.

Quadro 7. Descrição da composição de serviços para a implantação de muro de contenção em concreto armado.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Concreto para regularização	m ³
Concreto estrutural (25Mpa)	m ³
Forma de madeira	m ²
Armação	kg

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

Para os serviços de manutenção e operação dos diques de contenção, a proposta de composição concentrou-se somente na estrutura de contenção, não levando em consideração os dispositivos auxiliares, já previstos para os serviços de canalizações. No Quadro 8 é apresentada a proposta de composição de serviços com a respectiva unidade de medida.

Quadro 8. Descrição da composição de custo para a manutenção do muro de contenção de cheias (dique).

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Recuperação do dique de contenção (concreto e armaduras)	m ³

Fonte: Autor, 2024.

5.2.4. Proposta de composição de serviços para a implantação de bacias de detenção abertas e gramadas

No caso das bacias de detenção, também foi utilizada a composição de serviço proposta por Moura (2004), sintetizando os serviços necessários para a implantação deste dispositivo. Na Quadro 9 é apresentado a proposta de composição dos serviços necessários para a execução das bacias de detenção.

Quadro 9. Descrição da composição de serviços para a implantação de bacia de detenção aberta e gramada.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Desmatamento (remoção de vegetação)	m ²
Escavação mecânica	m ³
Transporte de materiais escavados	m ³ x km
Compactação de solo escavado	m ²
Impermeabilização	m ²
Gramma	m ²

Fonte: Moura, 2004 (Adaptado).

Moura (2004) em seu estudo indica que a manutenção das bacias de detenção consiste em duas ações, sendo elas a retirada de resíduos sólidos que depositam no seu

interior carregados pelo escoamento superficial, e a reconstituição parcial da área gramada no interior do dispositivo que é afetada nos serviços de limpeza e retirada dos resíduos sólidos. Ambos os serviços, segundo a autora, devem ocorrer duas vezes por ano. Corroborando a isso, Souza *et al.* (2013) abordou que estas duas ações são primordiais para a garantia da funcionabilidade destes dispositivos, relatando que a retirada de resíduos é a principal ação de manutenção e consiste em 75,87% do custo total de manutenção das bacias por evento.

Sendo assim, é proposto, no Quadro 10, os serviços de manutenção necessários para a garantia da funcionabilidade das bacias de detenção propostas. As unidades indicadas para os serviços de “Limpeza e retirada de resíduos” e “Reconstituição da área gramada” referem-se ao volume máximo de armazenamento, seguindo os valores de referência indicados em Souza *et al.* (2013), custo/m³ por evento de manutenção.

Quadro 10. Descrição da composição de serviços para a manutenção das bacias de detenção abertas e gramadas.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Limpeza e retirada de resíduos da bacia	m ³
Reconstituição de área gramada	m ³

Fonte: Autor, 2024.

5.2.5. Obtenção dos custos totais de implantação, manutenção e operação dos cenários

Com as composições de serviços de implantação, manutenção e operação definidas, foi possível realizar o orçamento estimado para cada proposta de alteração do sistema de macrodrenagem avaliado, obtendo o custo total de implantação, manutenção e operação para os modelos dos cenários 2 e 3.

No Anexo 2 deste trabalho é apresentado as planilhas orçamentárias de cada trecho modificado para os dois modelos hidráulico-hidrológicos construídos, incluindo os valores unitários para cada tipo de serviço, utilizando como referência os valores obtidos em SUDECAP (2023) para a data base de agosto de 2023, e a estimativa de quantitativos destes serviços segundo as propostas definidas nos capítulos anteriores.

Especialmente para a composição dos custos de manutenção e operação, pelo fato de alguns destes serviços descritos não estarem presentes nas planilhas de custos da SUDECAP, foram definidos como referências os valores unitários de Moura (2004) e, para o caso específico das bacias de detenção, os valores unitários descritos por Souza *et al.* (2013). Em ambos os casos, os valores unitários de cada serviço proposto foram atualizados para a data base de agosto de 2023 por meio do Índice Nacional da Construção Civil (INCC), buscando manter uma padronização no orçamento final.

Com base nos levantamentos de custo realizados, foi possível estimar os custos totais para a implantação de cada intervenção proposta, apresentados na Tabela 6, e os valores necessários para garantir a manutenção e operação destes dispositivos anualmente, representados na Tabela 7.

Tabela 6. Síntese dos custos totais de implantação dos dispositivos definidos.

Trecho	Custo de implantação
Readequação do trecho C1 (Cenário 2)	R\$ 857.978,68
Readequação do trecho C2 (Cenário 2)	R\$ 50.348,01
Readequação do trecho C3 (Cenário 2)	R\$ 245.872,01
Readequação do trecho C4 (Cenário 2)	R\$ 5.292.479,61
Implantação da bacia de detenção 1 (Cenário 3)	R\$ 2.293.946,00
Readequação do trecho C1 (Cenário 3)	R\$ 833.815,11
Implantação da bacia de detenção 2 (Cenário 3)	R\$ 103.919,76
Readequação do trecho C3 (Cenário 3)	R\$ 31.017,15

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 7. Síntese dos custos anuais de manutenção e operação dos dispositivos definidos.

Trecho	Custo de manutenção e operação
Novo trecho C1 (Cenário 2)	R\$ 33.312,50
Novo trecho C2 (Cenário 2)	R\$ 1.648,00
Novo trecho C3 (Cenário 2)	R\$ 12.501,00
Novo trecho C4 (Cenário 2)	R\$ 88.274,70
Bacia de detenção 1 (Cenário 3)	R\$ 143.000,00
Novo trecho C1 (Cenário 3)	R\$ 33.312,50
Bacia de detenção 2 (Cenário 3)	R\$ 1.562,40
Novo trecho C3 (Cenário 3)	R\$ 1.648,00

Fonte: Autor, 2024.

Diante dos valores calculados é possível estimar o custo total para a implementação de cada modelo escolhido. Para o modelo definido o Cenário 2 é necessário R\$ 6.446.678,31 para a implantação das adequações propostas, e um montante de R\$ 135.736,20 por ano para garantir a sua manutenção e operação.

Para a implantação dos dispositivos e adequações propostos no modelo definido para o Cenário 3 é necessário R\$ 3.262.698,02. Em relação a manutenção e operação anual deste dispositivo há a necessidade de R\$ 179.522,90.

Jussara (2009) aborda que a comparação entre duas alternativas de projetos deve ser feita em um período de análise similar, evitando privilegiar investimentos com retornos de curto ou longo prazos. Para isso, a autora sugere a utilização do conceito de vida útil, que pode ser entendido como o período existente entre o início da intervenção, ou operação, dos serviços implantados até o estágio onde a operação do projeto se torne inviável economicamente, não sendo mais rentável.

Em paralelo a este questionamento, Moura (2004) e Santos (2018) indicam, em seus estudos, a importância de se considerar a vida útil dos projetos de drenagem urbana na estimativa de custos e avaliações comparativas. Em ambos os trabalhos foram utilizados

como base para a definição da vida útil das estruturas de drenagem o prazo de 30 anos para diferentes tipos de canalizações, como revestidos em gabião tipo caixa e concreto armado. A exceção fica para o caso das bacias de retenção previstas no estudo de Moura (2004), onde é indicado que o prazo de vida útil destas estruturas é de 15 anos. Este valor também é indicado em Baptista *et al.* (2015) para bacias de retenção abertas e gramadas.

Ainda de acordo com Jussara (2009), para os casos de análise comparativa entre projetos com vida útil distintas, existem duas possíveis abordagens: a primeira refere-se a alternativas com vidas úteis múltiplas, onde aconselha-se repetir o projeto com vida útil menor até atingir o prazo do projeto com vida útil maior; a segunda preconiza as alternativas com vidas úteis não múltiplas, em que o projeto com menor vida útil deverá ser repetido até que ultrapasse o período do projeto de vida útil maior. Entretanto, para este caso, a última sequência de repetição do projeto de menor vida útil deverá ser interrompida quando igualar o prazo de vida útil do maior. O valor residual obtido neste segundo caso constituirá como um diferencial positivo.

Se levarmos em consideração a diferença entre vida útil das estruturas convencionais e das bacias de retenção, indicadas pelas referências pesquisadas, será necessário a implantação das bacias de retenção novamente após 15 anos de operação, igualando assim a vida útil das estruturas convencionais, 30 anos.

Contudo, cabe ressaltar que caso seja mantido as atividades previstas para a manutenção e operação das bacias de retenção gramadas, a vida útil indicada anteriormente para estes dispositivos poderá ser superada. Além disso, em pesquisas voltadas a análise da vida útil de pequenos reservatórios de água indica-se que a maior preocupação relacionada a diminuição da sua vida útil refere-se a sedimentação provocada ao longo dos anos, reduzindo o volume de armazenamento destas estruturas. Corroborando a isso, Basson (2009) estima-se que um reservatório de água perca, anualmente, de 0,5% a 1,0% do seu volume global de armazenamento devido ao fenômeno de sedimentação. Diante do exposto infere-se que a atividade de desassoreamento dos reservatórios é um fator importante na manutenção e operação destes dispositivos a fim de permitir o seu pleno funcionamento dentro da vida útil do projeto.

Considerando que os serviços de manutenção e operação das bacias de retenção sejam realizados anualmente, como também as atividades de desassoreamento, eliminando a sedimentação gerada, pode-se estimar, para este estudo comparativo, que a vida útil destas estruturas alcance, ou até ultrapasse, os 30 anos previstos para a vida útil dos dispositivos convencionais.

Diante das considerações feitas, este trabalho definiu como estratégia o acréscimo nos custos de manutenção e operação das bacias de retenção abertas e gramadas, relacionado as atividades voltadas ao desassoreamento destes dispositivos, como forma de igualar a vida útil dos dispositivos propostos. Utilizando os cadernos da SUDECAP, foram acrescidos nestes custos os serviços e seus valores unitários apresentados na Quadro 11. Utilizando a base teórica de Basson (2009), para o caso específico de estudo será adotado o valor de 1,0% do volume total de armazenamento como unidade para as atividades de desassoreamento durante o período de 1 (um) ano.

Quadro 11. Descrição da composição de serviços voltados ao desassoreamento das bacias de detenção abertas e gramadas.

TIPO DE SERVIÇO	UNIDADE
Escavação mecânica	m ³
Transporte de materiais escavados	m ³ x km

Fonte: Autor, 2024.

Com este acréscimo gerado, o custo anual para as atividades de manutenção e operação do cenário 3 foi de R\$ 194.332,88.

5.2.6. Síntese dos resultados encontrados

5.2.6.1. Desempenho técnico dos cenários

Após a realização das simulações dos cenários desenvolvidos, foi possível avaliar o desempenho dos 05 (cinco) trechos do canal do córrego de acordo com a capacidade hidráulica máxima atingida durante o período de simulação. A seguir, na Tabela 8 é apresentado o comparativo das capacidades máximas atingidas em cada trecho nos 03 (três) cenários criados.

Tabela 8. Capacidades máximas atingidas em cada trecho para cada cenário criado.

Tempo	TrechoC1	TrechoC2	TrechoC3	TrechoC4	TrechoC5
1	100%	80%	100%	94%	34%
2	91%	66%	84%	85%	40%
3 (opção 1)	87%	76%	85%	71%	26%
3 (opção 2)	91%	77%	85%	71%	26%

Fonte: Autor (2024).

Outro resultado importante obtido foi em relação as vazões de saída no ponto indicado como exutório do estudo, o ponto O1. Na Tabela 9 são apresentadas as maiores vazões obtidas para o ponto de exutório nas simulações feitas para cada cenário desenvolvido.

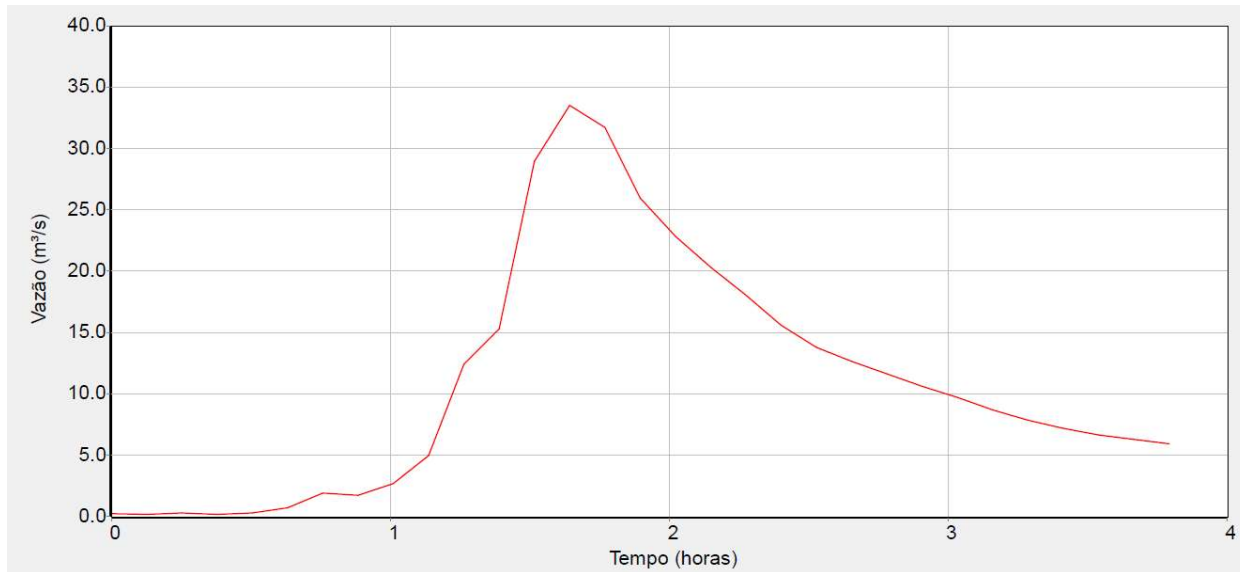
Tabela 9. Vazões máximas no ponto de exutório para cada cenário.

Cenários	Vazão Máxima em O1
Cenário 1	34,57 m ³ /s
Cenário 2	42,80 m ³ /s
Cenário 3 (opções 1 e 2)	27,48 m ³ /s

Fonte: Autor (2024)

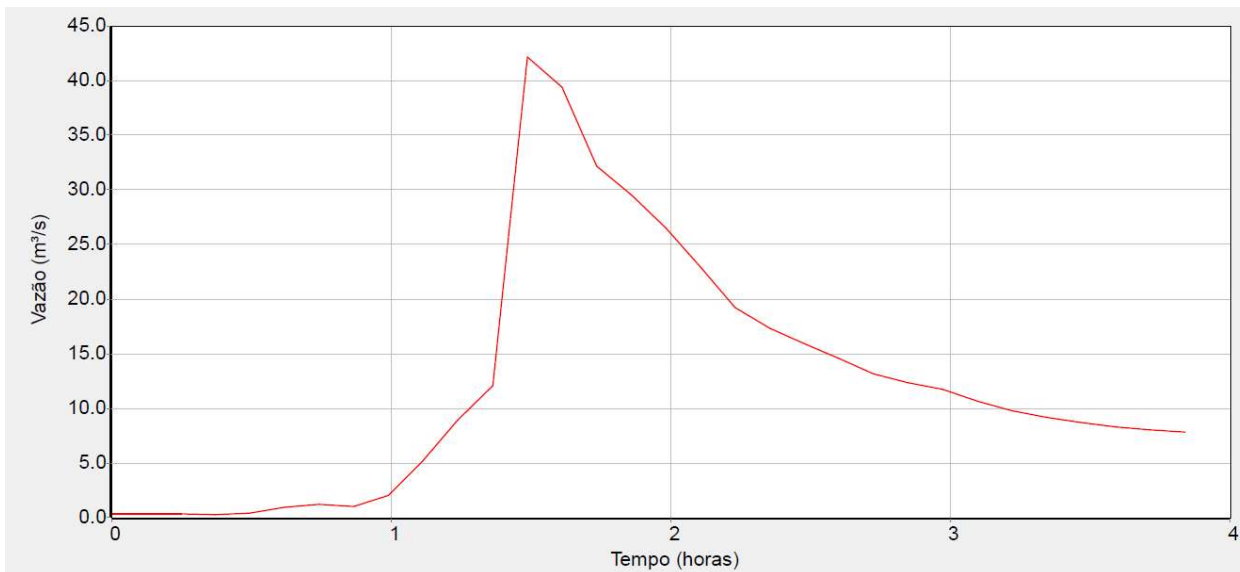
Além das vazões máximas, o SWMM permite a elaboração de hidrogramas de cada simulação feita. Nas Figura 47, 48 e 49 são apresentados os hidrogramas de projeto para cada cenário simulado.

Figura 47. Hidrograma do Cenário 1.



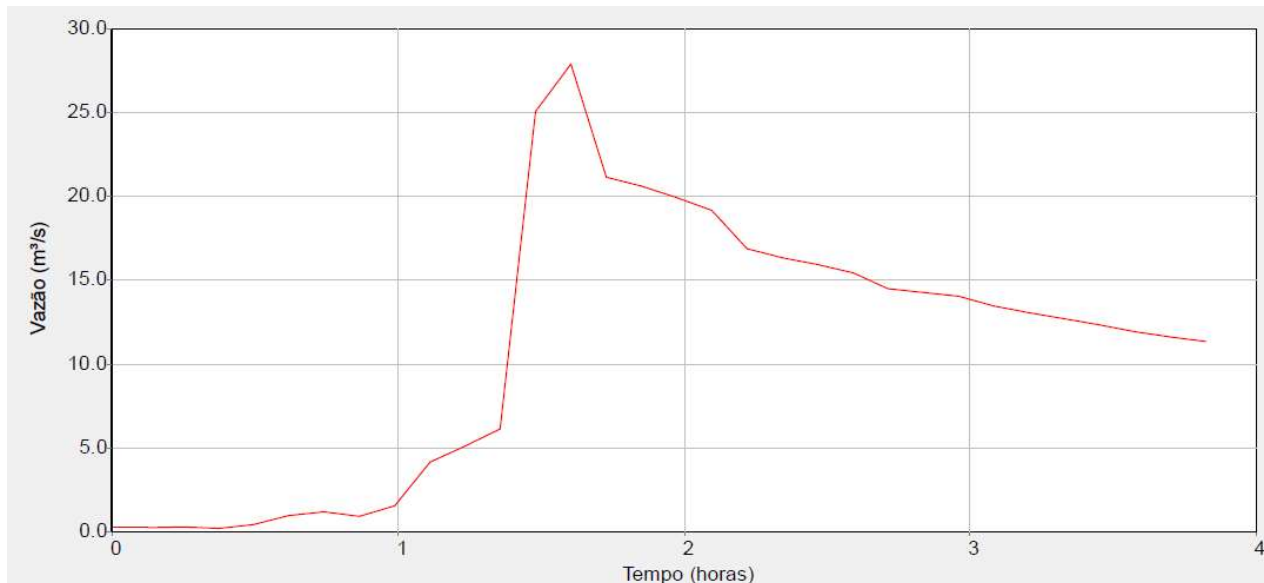
Fonte: Autor (2024)

Figura 48. Hidrograma do Cenário 2.



Fonte: Autor (2024)

Figura 49. Hidrograma do Cenário 3



Fonte: Autor (2024)

5.2.6.2. Desempenho econômico dos cenários

Diante das considerações financeiras feitas para este estudo, pôde-se estimar os custos envolvidos para a aplicação dos modelos definidos dentro do período de 30 anos, ou seja, dentro da vida útil utilizada como base do projeto. Na Tabela 10 é apresentada a síntese dos custos totais para cada alteração proposta nos modelos definidos dentro do prazo de vida útil de projeto, 30 anos.

Tabela 10. Custos totais considerando vida útil de 30 anos

Trecho	Custo total de implantação	Custo total de manutenção/operação
Readequação do trecho C1 (Cenário 2)	R\$ 857.978,68	R\$ 999.375,00
Readequação do trecho C2 (Cenário 2)	R\$ 50.348,01	R\$ 49.440,00
Readequação do trecho C3 (Cenário 2)	R\$ 245.872,01	R\$ 375.030,00
Readequação do trecho C4 (Cenário 2)	R\$ 5.292.479,61	R\$ 2.648.241,00
Implantação da bacia de detenção 1 (Cenário 3 – vida útil de 30 anos)	R\$ 2.293.946,00	R\$ 4.713.300,00
Readequação do trecho C1 (Cenário 3)	R\$ 833.815,11	R\$ 999.375,00
Implantação da bacia de detenção 2 (Cenário 3 – vida útil de 30 anos)	R\$ 103.919,76	R\$ 67.871,52
Readequação do trecho C3 (Cenário 3)	R\$ 31.017,15	R\$ 49.440,00

Fonte: Autor, 2024.

Com base nos valores obtidos considerando a vida útil de projeto em 30 anos, estima-se que para a implantação do modelo convencional (Cenário 2) proposto é necessário R\$ 6.446.678,31, e para a manutenção e operação do sistema durante sua vida útil há a necessidade de R\$ 4.072.086,00.

Em relação ao modelo das bacias de detenção (Cenário 3), para a sua implantação, considerando a vida útil em 30 anos, necessita-se um montante total de R\$ 3.262.698,02. Para garantir a manutenção e operação dos dispositivos definidos é indicado o valor total de R\$ 5.829.986,52.

Ressalta-se, porém, que com a construção dos modelos utilizando os padrões tipos obtidos nos cadernos técnicos da SUDECAP, aspectos executivos das estruturas dos dispositivos propostos foram estimados a fim de possibilitar o levantamento dos custos

envolvidos, carecendo de dimensionamento estrutural para a sua correta implantação, o que foge da proposta deste trabalho.

Para a confecção de um orçamento detalhado para fins de execução das propostas definidas aconselha-se a elaboração de projetos estruturais, incluindo o dimensionamento dos dispositivos de contenção e as fundações necessárias.

6. CONCLUSÕES

Primeiramente, cabe ressaltar aspectos positivos sobre o uso do software de modelagem hidráulico-hidrológico *SMWW*. Com o trabalho realizado foi possível avaliar a aplicação deste software em um problema real de macrodrenagem no município de Juiz de Fora. Com a criação dos cenários propostos conseguiu-se validar diversas soluções para os problemas encontrados no modelo hidrológico inicial da área de estudo.

Com a construção destes cenários e aplicação da ferramenta *SWMM* conseguiu-se avaliar o impacto gerado com a aplicação de dispositivos dentro dos conceitos de drenagem convencional e de dispositivos mais sustentáveis, as bacias de retenção, possibilitando a criação de vários cenários e alternativas, buscando a melhor opção para a localidade. A ferramenta se mostrou compatível para um sistema de macrodrenagem, e de fácil manejo e adaptações dentro da plataforma. Além disso, o programa disponibiliza algumas opções para a construção dos cenários dos sistemas projetados buscando adaptar à realidade local, como por exemplo, as possíveis formas de inserção de dados pluviométricos, flexibilidade de detalhamento dos objetos hidráulicos, diferentes alternativas para a definição de parâmetros de infiltração e as opções de simulação dos modelos de transporte hidráulico, como por meio da onda cinemática e da onda dinâmica.

Diante disso, percebe-se que o software *SMWW* pode ser utilizado como uma importante ferramenta para a gestão do manejo de águas pluviais em bacias hidrográficas urbanizadas, como também, na validação de proposições para o combate das deficiências do sistema de macrodrenagem local.

Com a criação de dois modelos hidráulico-hidrológicos distintos, utilizando técnicas da drenagem convencional e bacias de retenção abertas e gramadas, simulou a atuação destes cenários buscando atingir o limite estabelecido para este trabalho, ou seja, que a capacidade máxima de transporte do canal seja não excedente à 85% do total possível em todos os trechos. Essa métrica foi adotada como forma de garantir que a área de estudo não sofra com inundações quando da ocorrência de precipitações próximas as de projeto. Em relação ao desempenho do modelo convencional destacam-se os trechos C2, C3, C4 e C5, que respeitaram o limite máximo estabelecido para a capacidade de transporte do fluxo dentro do canal. Em contrapartida, no trecho C1 não foi possível alcançar este limite, obtendo um valor máximo de 91% da capacidade do canal neste trecho. Para a obtenção destes resultados foram necessárias adequações nas seções dos trechos C1, C2 (em parte), C3 e C4.

No cenário criado utilizando as bacias de retenção, quanto ao desempenho do novo sistema de macrodrenagem proposto, também foi possível alcançar o limite de 85% da

capacidade de transporte nos trechos C2, C3, C4 e C5. No trecho C1, com a mesma proposta apresentada para o modelo convencional, foi possível atingir a capacidade máxima de 87%, mostrando uma vantagem em relação as técnicas convencionais neste trecho. Como forma de atingir os resultados descritos, foi necessário modificações nas seções dos trechos C1 e C3, e a implantação de duas bacias de retenção na área de estudo, próximas ao curso d'água.

Contudo, como mencionado anteriormente, para o cenário das bacias de retenção também foi necessário a aplicação de técnicas dentro do conceito de drenagem convencional, como a canalização do trecho C1 e o alteamento, por meio do dique de contenção, das margens do trecho C3, buscando aumentar a capacidade de transporte do canal nestes trechos.

Ainda sobre o desempenho dos modelos, julga-se relevante a análise quanto a vazão máxima que incide no ponto O1, definido como o exutório da área de estudo nos três modelos criados. Para o modelo convencional, a vazão máxima atingida no ponto O1 representou um aumento significativo de 24% em relação a vazão máxima que hoje incide no exutório da área de estudo. Em contrapartida, no modelo das bacias de retenção, a vazão máxima no ponto O1 obteve uma redução de 20,5% em relação a vazão máxima atual.

Com estes dados, ao analisar o desempenho dos modelos criados, pode-se concluir que o desempenho do modelo das bacias de retenção foi superior ao modelo convencional, onde obteve-se redução na capacidade máxima de transporte no trecho C1 e uma vazão máxima de fluxo no ponto de exutório menor. Com isso, acredita-se que a aplicação deste modelo gerará impactos mais positivos tanto na área de abrangência do trecho C1, quanta à jusante da área de estudo.

Após a construção e simulação dos cenários propostos, foi possível elaborar um orçamento estimado para a implantação, manutenção e operação dos novos sistemas de macrodrenagem utilizados nos modelos criados com o intuito de comparar os custos envolvidos. Em resumo, observou-se que os custos estimados de implantação dos dispositivos propostos no modelo das bacias são menores se comparados aos dispositivos do modelo convencional, representando uma redução de 12% nos valores necessários. Em contrapartida, os custos de manutenção e operação, ao considerar o prazo de 30 anos de vida útil, são maiores no modelo das bacias de retenção, representando um acréscimo de 32% se comparado aos custos do modelo convencional.

Por meio das análises feitas, conclui-se que, para o caso apresentado neste trabalho, o modelo construído utilizando conceitos de drenagem sustentável obteve os melhores resultados, quando avaliado o desempenho técnico, reduzindo os impactos do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto. Em relação ao desempenho econômico, observa-se que os custos de implantação são menores para o caso das bacias de retenção, contudo, os custos para manutenção e operação se mostraram significativamente maiores.

Entretanto, é importante ressaltar que mesmo com a aplicação de técnicas mais sustentáveis, foi necessário a aplicação de conceitos de drenagem convencional com o intuito de ampliar a capacidade de transporte do fluxo do canal em alguns trechos. Com

isso, fica notório que a utilização de um ou outro conceito não é excludente, pelo contrário, em alguns casos ambos os conceitos devem ser utilizados de forma complementar, em especial, nas bacias hidrográficas já urbanizadas.

Por fim, destaca-se que com as análises realizadas neste trabalho e os resultados encontrados é possível subsidiar os gestores públicos do município de Juiz de Fora-MG com relação a definição de estratégias para solução de problemas de drenagem urbana para os locais estudados.

7. RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS

A partir do trabalho realizado é possível realizar apontamentos para futuras pesquisas e estudos sobre o manejo de águas pluviais urbanas. Como sugestão, seguem algumas destas possibilidades avaliadas pelo autor para desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e técnicos:

- ✓ Ampliar o campo amostral da pesquisa feita, replicando as análises comparativas realizadas em outros locais onde existem problemas hidrológicos e em bacias hidrográficas distintas e complexas.
- ✓ Ampliar as possibilidades de utilização de outras técnicas *SUDS* como forma de comparação com a drenagem convencional, como por exemplo os jardins de chuvas, os pavimentos permeáveis, os sistemas de reaproveitamento das águas de chuva, e os poços e as trincheiras de infiltração.
- ✓ Aplicar conceitos de análise de ciclo de vida e índices financeiros para comparação de custos como forma de aprofundar na análise comparativa entre a drenagem convencional e o *SUDS*.
- ✓ Aplicar outros softwares de modelagem hidrológica, como o HEC-RAS ou HEC-HMS, para a realização de novas pesquisas ou como forma de comparar os resultados obtidos neste trabalho.
- ✓ Utilizar dados e parâmetros medidos *in loco* para calibrar os modelos, como exemplo, o uso dos pluviômetros locais com manutenções periódicas, das estações fluviométricas, de ensaios de permeabilidade do solo, de levantamentos topo batimétricos em seções mais detalhadas, entre outros.
- ✓ Utilizar dados de chuvas futuras para cálculos de novos IDF como forma de adaptar as chuvas de projeto para as mudanças climáticas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINHO, M. de; POLETO, C. **Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana: Dispositivos**. *Holos Environment*, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 121–131, out. 2012. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054>. Acesso em: 20 mar. 2024.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. **Modelos Hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. *Revista FAE*, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 129–137, ago. 2017. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/113>. Acesso em: 13 fev. 2024.

ALVES, L. G. F. *et al.* **Modelling and assessment of sustainable urban drainage systems in dense precarious settlements subject to flash floods**. *LHB*, [S. l.], v. 108, n.1, p. 1-11, mar. 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/27678490.2021.2016024>. Acesso em: 15 jun. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidrologia Básica: Unidade 1**. Brasília, DF: ANA, 2022. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2514/1/Unidade_1.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**, Porto Alegre, RS: ABRH, 2015, 318 p.

BASSON, G. R. **Management of siltation in existing and new reservoirs**. General Report, Proceedings of the 23rd Congress of the Int. Commission on Large Dams CIGB-ICOLD, Brasília, v. 2, mai. 2009.

BOTELHO, M.; H.; C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 4ª ed. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2018, 344 p.

BRASIL. **Lei Nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Nacional da União*, Brasília (DF), 05 jan. 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades/Secretaria Nacional de Habitação. **Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2010. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/publicacoes/arquivos/arquivos/mapeamento_ass_precarios.pdf. Acesso em: 12 jan. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: Diagnóstico dos serviços de Manejo de Águas Pluviais - 2020**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020.

COLLODEL, M.; G. **Aplicação do modelo hidrológico SMWW na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. 225 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP), 2009. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/publico/COLLODEL.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2023.

FARIA, N. de O.; BARBASSA, A. P.; SILVEIRA, A. **Monitoramento, modelagem e simulação de cenários para a bacia do córrego Barbado – Cuiabá/MT**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 165-176, jan./mar. 2014. Disponível

em:

https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=161&SUMARIO=4357&ST=monitoramento_modelagem_e_simulacao_de_cenarios_para_a_bacia_do_corrego_barbado_cuiaba_mt. Acesso em: 14 jun. 2023.

FERRANS P. *et al.* **Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making**: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 806, n. 2, fev. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721055248>. Acesso em: 15 jan. 2024.

FILHO, F. C. M. de M.; COSTA, T. D. **Sistemática de Cálculo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais**: Uma Abordagem Alternativa. *REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 12-22, jun. 2012. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/index.php/reec/article/view/18162>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FLETCHER T. D. *et al.* **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more**: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, [S. l.], v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2014.916314>. Acesso em: 15 jun. 2023.

JUIZ DE FORA (MG). Prefeitura de Juiz de Fora. **Plano de Drenagem Parte 1: Zona Norte**. Juiz de Fora, MG: PJF, 2011. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos_programas/drenagem.php. Acesso em: 23 mai. 2022.

JUIZ DE FORA (MG). Prefeitura de Juiz de Fora. **Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora: 1ª Revisão**. Juiz de Fora, MG: PJF, 2022. Disponível em: https://www.pjf.mg.gov.br/secretarias/sepur/planos_programas/saneamento_basico/revisao_psb2022/index.php. Acesso em: 23 mai. 2022.

JUSSARA, M.; C. **Sistemática de Auxílio à Decisão para a Seleção de Alternativas de Controle de Inundações Urbanas**. 2009. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília (DF), 2009.

LENHS - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica (UFPB). **Manual do Usuário: EPA SMWW 5.0 Modelo de Gestão de Drenagem Urbana**, João Pessoa (PB): Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2012. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/lenhs/contents/menu/assuntos/SMWW>. Acesso em: 03 maio. 2022.

MARINHO FILHO, G. M. *et al.* **Modelos hidrológicos**: conceitos e aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012.

MELO, T. dos A. T. de *et al.* **Jardim de chuva**: Sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbana. *Ambiente Construído*, Porto Alegre (RS), v. 14, n. 4, p. 147-165, dez. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/3mKRyFjSkPdBkhdvyVGZZLL/>. Acesso em: 25 jul. 2023.

MORAES, G., F. de; SILVA, A., R. de, C., B. **Metodologia de Diagnóstico do Sistema de Drenagem Pluvial Aplicado a Microbacia do Córrego Quarta-Feira em Cuiabá-MT**. *Engineering and Science*, [S. l.], v. 1, n. 8, p. 79-94, jan. / abr. 2019.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (MG), 2004. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/110M.PDF>. Acesso em: 28 nov. 2022.

NORWEGIAN METEOROLOGICAL INSTITUTE. **Extreme Weather events in Europe: Preparing for climate change adaptation** – na update on EASAC's 2013 study. Oslo: NMI, 2013. Disponível em: http://real.mtak.hu/8366/1/EASAC_EWWG_Extreme_weather_report.pdf. Acesso em: 11 nov. 2022.

PEITER, T., V.; POLETO, C. Estudos dos Efeitos de Trincheiras de Infiltração sobre o Escoamento Superficial. REA – Revista de Estudos Ambientais, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 57-67, set. 2012. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/2928>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PORTO ALEGRE (RS). Prefeitura de Porto Alegre. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre**, dez. 2015.

REIS, R. P. A.; OLIVEIRA, L. H.; SALES, M. M. **Sistemas de Drenagem na Fonte Por Poços de Infiltração de Águas Pluviais**. Ambiente Construído, Porto Alegre (RS), v. 8, n. 2, p. 88-117, abr./jun. 2008.

SANTOS, M. F. N. S. dos. **Diferentes Abordagens para o Manejo das Águas Pluviais e Seus Impactos no Ciclo de Vida em Loteamento de Interesse Social**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade de São Carlos, São Carlos (SP), 2018.

SILVA, L. H. *et al.* **Bioretention systems for stormwater management: overview and design criteria**. Research, Society and Development, [S. l.], v. 9, n. 11, nov. 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10335>. Acesso em: 17 mar. 2024.

SILVEIRA, A. L. L. da. (1998). **Hidrologia urbana no Brasil**. In: Braga, B. P. F; Tucci, C. E. M; Tozzi, M. *Drenagem urbana: gerenciamento, simulação, controle*. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS/ABRH, p.8-25, 1998.

SOUZA, M. F. de *et al.* **Custos de Manutenção de Bacias de Detenção para Controle de Cheias na Cidade de Belo Horizonte - MG**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 20., 2013, Bento Gonçalves, RS. Água – Desenvolvimento Econômico e Socioambiental. Bento Gonçalves: ABRH, 2013. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=155&SUMARIO=3374>. Acesso em: 17 dez. 2023.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL. **Tabelas de Preço**: outubro de 2023. Belo Horizonte, MG: SUDECAP, out. 2023. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sudecap/tabela-de-precos>. Acesso em: 15 out. 2023.

TANG, S. *et al.* **Robustness analysis of storm water quality modelling with LID infrastructures from natural event-based field monitoring**. Science of The Total Environment. [S. l.], v. 753, p. 504–514, fev. 2019, p. 142007.

TAVANTI, D.R.; BARBASSA, A.P. **Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), São Carlos (SP), v. 17, n. 4, p. 177-28, out./dez. 2012. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=96&SUMARIO=1377&ST=analysis_of_low_impact_and_conventional_urban_developments. Acesso em: 15 jun. 2023.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. **Regulação das Águas Pluviais Urbanas**. Revista de Gestão da Água na América Latina (Rega), Porto Alegre (RS), v. 4, n. 1, p. 75-89, jan./ jun. 2007. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=69&SUMARIO=846>. Acesso em: 25 mai. 2023.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 25 mai. 2023.

TUGOZ, J. EL; BERTOLINI, G. R. F.; BRANDALISE, L. T. **Captação e Aproveitamento da Água das Chuvas: O Caminho para uma Escola Sustentável**. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS), [S. l.], v. 6, n. 1, p. 26-39, jan. / abr. 2017. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/10030>. Acesso em: 25 jan. 2024.

US EPA. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2**. Washington, USA: EPA, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

XIMENA, C., F. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável como Meio de Controle de Inundações**. Revistas do Ministério Público do RS, Porto Alegre (RS), v. 1, n. 90, p. 275-273, jun. / dez. 2021.

Zhou, Q. **A Review of Sustainable Urban Drainage Systems Considering the Climate Change and Urbanization Impacts**. Water, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 976-992, abr. 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/6/4/976>. Acesso em: 25 fev. 2024.

Zhu, Z. *et al.* **An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (lid) practices for managing runoff with different objectives**. Journal of Environmental Management. [S. l.], v. 231, p. 504–514, fev. 2019.

9. ANEXOS

ANEXO 1 - Matriz resumo dos principais parâmetros adotados para a criação de modelos hidráulico-hidrológicos

Parâmetro	Fonte	Descrição
Bacias Hidrográficas	Dados PJF / ANA / QGIS	O traçado da bacia do córrego Igrejinha foi obtido em dados da própria PJF. Em relação às sub-bacias, o traçado foi obtido por meio de dados da ANA. Todavia, algumas pequenas adequações foram feitas utilizando ferramentas do QGIS.
Valor das Áreas	QGIS	As áreas de cada sub-bacia foram calculadas por meio da ferramenta QGIS, seguindo como base os traçados de cada sub-bacia.
Comprimento talvegues	QGIS	Os comprimentos dos talvegues foram obtidos por meio da ferramenta QGIS.
Uso do Solo	QGIS	Utilizando a classificação supervisionada do uso do solo por meio do QGIS, foi possível a criação de um mapa de uso local do solo. Para tal, foram destacados 5 tipos de uso do solo: área edificada, área vegetada, pastagem, solo exposto e curso d'água. O resultado está apresentado na Figura 14.
Seções do canal	Plano Drenagem	Obtidas do levantamento topo batimétrico realizado no Plano de Drenagem. Foram feitas simplificações, distinguindo comprimentos de canal de acordo com a similaridade das seções e da presença de novas contribuições de vazão.
N-Manning	Manual SMWW/QGIS	Estimado correlacionando os valores indicados no Anexo A.6 do manual do SMWW e os usos do solo obtidos anteriormente.
Curva Number	Manual SMWW/QGIS /Dados PJF	Segundo dados geológicos da Prefeitura de Juiz de Fora, a área de estudo se caracteriza por possuir solo Latossolo Vermelho Amarelo (LVAd59), com pouca propriedade de permeabilidade. Com esta informação, foi utilizado os valores de classe D (solos com pouca capacidade de infiltração) do Anexo A.4 do manual do SMWW e correlacionado com os dados do uso do solo obtidos anteriormente.

Inclinação Média	QGIS / Plano Drenagem	Obtida pela divisão, em cada sub-bacia, da diferença de cotas entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo com o comprimento do talvegue.
Largura Média (Width)	QGIS	Obtida pela divisão, em cada sub-bacia, do comprimento do talvegue com a sua respectiva área.
Chuva de Projeto*	Cemaden / UFV / Plano de Drenagem/ Defesa Civil	Para o cálculo desta chuva, foi utilizado a equação IDF de Juiz de Fora, apresentada no manual de Drenagem do município. O tempo de retorno utilizado foi o de 100 anos, seguindo o indicado no manual, em Tucci (2007) e em Baptista <i>et al.</i> (2015). O tempo de concentração foi obtido comparando valores de aplicação de alguns métodos, como Kirpich, Ventura e Califórnia, definindo com valor padrão o obtido pelo primeiro método (valor mais condizente com as características da bacia). Como se trata de uma bacia de dimensões significativas, 16,5 km ² , foram utilizados dois métodos para a distribuição temporal da chuva a fim de distribuir da melhor maneira a incidência da precipitação na área de projeto, o método de Huff e dos Blocos Alternados. Foi inserido na plataforma do <i>SMWW</i> ambos resultados para efeitos de simulação. Após a realização da simulação, definiu-se como padrão os resultados obtidos pelo método dos blocos alternados, o mesmo indicado no manual de drenagem.

*Observação: Em relação a chuva de projeto adotada, cabe ressaltar que inicialmente foi feito um levantamento do histórico de chuvas do pluviômetro existente no local operado pelo Cemaden. O histórico se inicia no ano de 2015, entretanto, alguns períodos encontram-se sem dados levantados, especialmente em épocas em que ocorreram desastres hidrológicos registrados, como, por exemplo, janeiro de 2021. Ainda sobre os dados levantados, as precipitações mais significativas estavam abaixo de 70 mm/h, valor este indicado pela Defesa Civil como limite para que o córrego da região comece a causar inundações. Sendo assim, optou-se por calcular uma chuva de projeto para inserir como dado de entrada no modelo hidrológico utilizado.

ANEXO 2 – Planilhas orçamentárias dos trechos modificados e das bacias de detenção propostas

Sumário

1. Custo estimado de implantação – canalização trecho C1 (Cenário 2)
_____ PG 1
2. Custo estimado de manutenção e operação – canalização trecho C1 (Cenário 2)
_____ PG 2
3. Custo estimado de implantação, manutenção e operação – dique de contenção
trecho C2 (Cenário 2) _____ PG 3
4. Custo estimado de implantação, manutenção e operação – canalização trecho C3
(Cenário 2) _____ PG 4
5. Custo estimado de implantação – canalização trecho C4 (Cenário 2)
_____ PG 5
6. Custo estimado de manutenção e operação – canalização trecho C4 (Cenário 2)
_____ PG 6
7. Custo estimado de implantação – canalização trecho C1 (Cenário 3)
_____ PG 7
8. Custo estimado de manutenção e operação – canalização trecho C1 (Cenário 3)
_____ PG 8
9. Custo estimado de implantação, manutenção e operação – dique de contenção
trecho C3 (Cenário 3) _____ PG 9
10. Custo estimado de implantação, manutenção e operação – bacia de detenção 1
(Cenário 3) _____ PG 10
11. Custo estimado de implantação, manutenção e operação – bacia de detenção 2
(Cenário 3) _____ PG 11

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - CANALIZAÇÃO DO TRECHO C1 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Escavação mecanizada	03.20.04	ESCAVAÇÃO DE SOLO MOLE EM PROFUNDIDADE > 3,50 METROS <= 5,50 METROS	m ³	R\$ 12,11	1.520,21	R\$ 18.409,77
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m ³ x km	R\$ 2,04	39.525,53	R\$ 80.632,07
Escoramento de vala	19.33.02	ESCORAMENTO CONTINUO DE VALAS - PADRAO SUDECAP - TIPO B - PERFIL I-8"	m ²	R\$ 170,85	500,00	R\$ 85.425,00
Concreto para regularização	05.03.01	CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO TRAÇO 1:3:6, FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	150,00	R\$ 101.043,00
Execução Gabião	05.20.03	GABIÃO TIPO CAIXA MALHA 8X10CM FIO 2,7MM ZN/AL C/ENCHIMENTO PEDRA GNAISSE H=100CM	m ³	R\$ 662,09	500,00	R\$ 331.045,00
Grama	21.30.06	GRAMAÇÃO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m ²	R\$ 24,65	500,00	R\$ 12.325,00
Geotextil	05.11.01	MANTA GEOTEXTIL - 180 G/M2 - RES. TRACAO >= 9 KN/M	m ²	R\$ 3,90	2.000,00	R\$ 7.800,00
Concreto para regularização	40.33.01	CONCRETO PARA REGULARIZAÇÃO - TRACO 1;3;6, FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	25,00	R\$ 16.840,50
Concreto estrutural 25 Mpa	40.10.25	CONCRETO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, PREPARADO EM OBRA E LANÇADO EM ESTRUTURA	m ³	R\$ 771,94	90,00	R\$ 69.474,60
Forma de madeira	40.20.15	FORMA DE COMPENSADO RESINADO E=12MM TIPO B (3 APR)	m ²	R\$ 76,18	300,00	R\$ 22.854,00
Armação	40.22.30	ACO CA-50 E CA-60 - CORTE, DOBRAMENTO E COLOCAÇÃO	kg	R\$ 11,22	9.000,00	R\$ 100.980,00
Dispositivos auxiliares						
Boca de lobo (2 unid / 100 m)	19.11.03	CAIXA PARA BOCA DE LOBO SIMPLES / BLOCO DE CONCRETO	unidade	R\$ 1.001,12	2,00	R\$ 2.002,24
Sarjeta (2m / m)	19.30.04	SARJETA PADRÃO SUDECAP TIPO A - (50X10)CM - DES-R01	m	R\$ 36,59	250,00	R\$ 9.147,50
					TOTAL	R\$ 857.978,68

CANALIZAÇÃO

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - CANALIZAÇÃO DO TRECHO C1 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza canal	m	LIMPEZA DO CANAL COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 31,33	R\$ 138,76	125	R\$ 17.345,00
Manutenção das bocas de lobo	m	LIMPEZA DAS BOCAS DE LOBO - 4 VEZES POR ANO E SUBSTITUIÇÃO DE GRELHAS DAS BOCAS DE LOBO - 10% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 6,19	R\$ 27,42	125	R\$ 3.427,50
Manunção de sarjeta	m	RECONSTRUÇÃO DE SARJETA - 1% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 4,68	R\$ 20,73	125	R\$ 2.591,25
Manutenção estrutural do canal	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO CANAL - 1% DO VOLUME DE GABIÃO	R\$ 13,82	R\$ 61,21	125	R\$ 7.651,25
Manutenção da faixa de grama	m	RECUPERAÇÃO DE FAIXA GRAMADA - 1% DA ÁREA DE GRAMA POR ANO	R\$ 0,43	R\$ 1,90	125	R\$ 237,50
Manutenção estrutural do dique	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO DIQUE - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	125	R\$ 2.060,00
TOTAL						R\$ 33.312,50

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - DIQUE DE CONTENÇÃO TRECHO C2 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto para regularização	40.33.01	CONCRETO PARA REGULARIZAÇÃO - TRACO 1;3;6, FORNEC.E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	3,00	R\$ 2.020,86
Concreto estrutural 25 Mpa	40.10.25	CONCRETO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, PREPARADO EM OBRA E LANÇADO EM ESTRUTURA	m ³	R\$ 771,94	22,50	R\$ 17.368,65
Forma de madeira	40.20.15	FORMA DE COMPENSADO RESINADO E=12MM TIPO B (3 APR)	m ²	R\$ 76,18	75,00	R\$ 5.713,50
Armação	40.22.30	ACO CA-50 E CA-60 - CORTE, DOBRAMENTO E COLOCACAO	kg	R\$ 11,22	2.250,00	R\$ 25.245,00
					TOTAL	R\$ 50.348,01

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - DIQUE DE CONTENÇÃO TRECHO C2 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Manutenção estrutural do canal	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO DIQUE - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	R\$ 100,00	R\$ 1.648,00
					TOTAL	R\$ 1.648,00

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C3 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Escavação mecanizada	03.20.04	ESCAVAÇÃO DE SOLO MOLE EM PROFUNDIDADE > 3,50 METROS <= 5,50 METROS	m³	R\$ 12,11	431,28	R\$ 5.222,74
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m³ x km	R\$ 2,04	11.213,15	R\$ 22.874,83
Escoramento de vala	19.33.02	ESCORAMENTO CONTINUO DE VALAS - PADRAO SUDECAP - TIPO B - PERFIL I-8"	m²	R\$ 170,85	205,00	R\$ 35.024,25
Concreto para regularização	05.03.01	CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO TRAÇO 1:3:6, FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m³	R\$ 673,62	50,00	R\$ 33.681,00
Execução Gabião	05.20.03	GABIÃO TIPO CAIXA MALHA 8X10CM FIO 2,7MM ZN/AL C/ENCHIMENTO PEDRA GNAISSE H=100CM	m³	R\$ 662,09	205,00	R\$ 135.728,45
Grama	21.30.06	GRAMAÇÃO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m²	R\$ 24,65	200,00	R\$ 4.930,00
Geotextil	05.11.01	MANTA GEOTEXTIL - 180 G/M2 - RES.TRACAO >= 9 KN/M	m²	R\$ 3,90	705,00	R\$ 2.749,50
Dispositivos auxiliares						
Boca de lobo (2 unid / 100 m)	19.11.03	CAIXA PARA BOCA DE LOBO SIMPLES / BLOCO DE CONCRETO	unidade	R\$ 1.001,12	2,00	R\$ 2.002,24
Sarjeta (2m / m)	19.30.04	SARJETA PADRÃO SUDECAP TIPO A - (50X10)CM - DES-R01	m	R\$ 36,59	100,00	R\$ 3.659,00
					TOTAL	R\$ 245.872,01

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C3 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza canal	m	LIMPEZA DO CANAL COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 31,33	R\$ 138,76	50	R\$ 6.938,00
Manutenção das bocas de lobo	m	LIMPEZA DAS BOCAS DE LOBO - 4 VEZES POR ANO E SUBSTITUIÇÃO DE GRELHAS DAS BOCAS DE LOBO - 10% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 6,19	R\$ 27,42	50	R\$ 1.371,00
Manutenção de sarjeta	m	RECONSTRUÇÃO DE SARJETA - 1% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 4,68	R\$ 20,73	50	R\$ 1.036,50
Manutenção estrutural do canal	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO CANAL - 1% DO VOLUME DE GABIÃO	R\$ 13,82	R\$ 61,21	50	R\$ 3.060,50
Manutenção da faixa de grama	m	RECUPERAÇÃO DE FAIXA GRAMADA - 1% DA ÁREA DE GRAMA POR ANO	R\$ 0,43	R\$ 1,90	50	R\$ 95,00
					TOTAL	R\$ 12.501,00

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C4 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Escavação mecanizada	03.20.04	ESCAVAÇÃO DE SOLO MOLE EM PROFUNDIDADE > 3,50 METROS <= 5,50 METROS	m³	R\$ 12,11	3.708,71	R\$ 44.912,44
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m³ x km	R\$ 2,04	96.426,38	R\$ 196.709,82
Escoramento de vala	19.33.02	ESCORAMENTO CONTINUO DE VALAS - PADRAO SUDECAP - TIPO B - PERFIL I-8"	m²	R\$ 170,85	2.451,00	R\$ 418.753,35
Enrocamento pedra de mão	05.01.02	ENROCAMENTO COM PEDRA DE MAO ARRUMADA	m³	R\$ 316,01	490,20	R\$ 154.908,10
Concreto para regularização	05.03.01	CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO TRAÇO 1:3:6,FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m³	R\$ 673,62	326,80	R\$ 220.139,02
Concreto estrutural 25 Mpa	05.07.45	CONCRETO ESTRUTURAL, FORN. APLICAÇÃO E ADENSAMENTO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, USINADO CONVENCIONAL, LANÇADO EM GALERIAS/CONTENÇÕES	m³	R\$ 696,58	1.638,30	R\$ 1.141.207,01
Dreno Lateral	19.25.02	DRENO - PADRÃO SUDECAP TIPO B - MANTA DRENANTE, BRITA 3, TUBO PERFURADO EM PVC DN 160MM, L=50CM	m	R\$ 110,13	860,00	R\$ 94.711,80
Forma de madeira	05.04.02	FORMA PARA GALERIAS E CONTENÇÕES EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA 12MM, 3 APROVEITAMENTOS - FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM	m²	R\$ 77,21	2.451,00	R\$ 189.241,71
Grama	21.30.06	GRAMAÇÃO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m²	R\$ 24,65	1.720,00	R\$ 42.398,00
Armação	05.05.01	ARMAÇÃO INCLUSIVE CORTE, DOBRA E COLOCAÇÃO AÇO CA-50 OU CA-60	kg	R\$ 11,22	245.100,00	R\$ 2.750.022,00
Concreto estrutural 25 Mpa	05.07.45	CONCRETO ESTRUTURAL, FORN. APLICAÇÃO E ADENSAMENTO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, USINADO CONVENCIONAL, LANÇADO EM GALERIAS/CONTENÇÕES	m³	R\$ 696,58	48,00	R\$ 33.435,84
Forma de madeira	05.04.02	FORMA PARA GALERIAS E CONTENÇÕES EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA 12MM, 3 APROV. - FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM	m²	R\$ 77,21	160,00	R\$ 12.353,60
Armação	05.05.01	ARMAÇÃO - CORTE, DOBRA E COLOCAÇÃO AÇO CA-50 ou 60	kg	R\$ 11,22	4.800,00	R\$ 53.856,00
Dispositivos auxiliares						
Boca de lobo	19.11.03	CAIXA PARA BOCA DE LOBO SIMPLES / BLOCO DE CONCRETO	unidade	R\$ 1.001,12	8,00	R\$ 8.008,96
Sarjeta	19.30.04	SARJETA PADRÃO SUDECAP TIPO A - (50X10)CM - DES-R01	m	R\$ 36,59	860,00	R\$ 31.467,40
TOTAL						R\$ 5.292.479,61

C
a
n
a
l

C
o
n
c
r
e
t
o

A
r
m
a
d
o

D
i
q
u
e

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C4 (CENÁRIO 2)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza canal	m	LIMPEZA DO CANAL COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 31,33	R\$ 138,76	430	R\$ 59.666,80
Manutenção das bocas de lobo	m	LIMPEZA DAS BOCAS DE LOBO - 4 VEZES POR ANO E SUBSTITUIÇÃO DE GRELHAS DAS BOCAS DE LOBO - 10% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 6,19	R\$ 27,42	430	R\$ 11.790,60
Manunção de sarjeta	m	RECONSTRUÇÃO DE SARJETA - 1% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 4,68	R\$ 20,73	430	R\$ 8.913,90
Manutenção estrutural do canal	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO CANAL - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	430	R\$ 7.086,40
Manutenção da faixa de grama	m	RECUPERAÇÃO DE FAIXA GRAMADA - 1% DA ÁREA DE GRAMA POR ANO	R\$ 0,43	R\$ 1,90	430	R\$ 817,00
Manutenção estrutural do dique	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO DIQUE - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	200	R\$ 3.296,00
TOTAL						R\$ 88.274,70

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C1 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Escavação mecanizada	03.20.04	ESCAVAÇÃO DE SOLO MOLE EM PROFUNDIDADE > 3,50 METROS <= 5,50 METROS	m ³	R\$ 12,11	1.520,21	R\$ 18.409,77
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m ³ x km	R\$ 2,04	39.525,53	R\$ 80.632,07
Escoramento de vala	19.33.02	ESCORAMENTO CONTINUO DE VALAS - PADRAO SUDECAP - TIPO B - PERFIL I-8"	m ²	R\$ 170,85	500,00	R\$ 85.425,00
Concreto para regularização	05.03.01	CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO TRAÇO 1:3:6, FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	150,00	R\$ 101.043,00
Execução Gabião	05.20.03	GABIÃO TIPO CAIXA MALHA 8X10CM FIO 2,7MM ZN/AL C/ENCHIMENTO PEDRA GNAISSE H=100CM	m ³	R\$ 662,09	500,00	R\$ 331.045,00
Grama	21.30.06	GRAMAÇÃO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m ²	R\$ 24,65	500,00	R\$ 12.325,00
Geotextil	05.11.01	MANTA GEOTEXTIL - 180 G/M2 - RES. TRACAO >= 9 KN/M	m ²	R\$ 3,90	2.000,00	R\$ 7.800,00
Concreto para regularização	40.33.01	CONCRETO PARA REGULARIZAÇÃO - TRACO 1;3;6, FORNEC. E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	25,00	R\$ 16.840,50
Concreto estrutural 25 Mpa	40.10.25	CONCRETO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, PREPARADO EM OBRA E LANÇADO EM ESTRUTURA	m ³	R\$ 771,94	78,75	R\$ 60.790,28
Forma de madeira	40.20.15	FORMA DE COMPENSADO RESINADO E=12MM TIPO B (3 APR)	m ²	R\$ 76,18	262,50	R\$ 19.997,25
Armação	40.22.30	ACO CA-50 E CA-60 - CORTE, DOBRAMENTO E COLOCACAO	kg	R\$ 11,22	7.875,00	R\$ 88.357,50
Dispositivos auxiliares						
Boca de lobo (2 unid / 100 m)	19.11.03	CAIXA PARA BOCA DE LOBO SIMPLES / BLOCO DE CONCRETO	unidade	R\$ 1.001,12	2,00	R\$ 2.002,24
Sarjeta (2m / m)	19.30.04	SARJETA PADRÃO SUDECAP TIPO A - (50X10)CM - DES-R01	m	R\$ 36,59	250,00	R\$ 9.147,50
TOTAL						R\$ 833.815,11

C
A
N
A
L

G
A
B
I
Ã
O

D
I
Q
U
E

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - CANALIZAÇÃO TRECHO C1 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza canal	m	LIMPEZA DO CANAL COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 31,33	R\$ 138,76	125	R\$ 17.345,00
Manutenção das bocas de lobo	m	LIMPEZA DAS BOCAS DE LOBO - 4 VEZES POR ANO E SUBSTITUIÇÃO DE GRELHAS DAS BOCAS DE LOBO - 10% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 6,19	R\$ 27,42	125	R\$ 3.427,50
Manunção de sarjeta	m	RECONSTRUÇÃO DE SARJETA - 1% DO TOTAL IMPLANTADO POR ANO	R\$ 4,68	R\$ 20,73	125	R\$ 2.591,25
Manutenção estrutural do canal	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO CANAL - 1% DO VOLUME DE GABIÃO	R\$ 13,82	R\$ 61,21	125	R\$ 7.651,25
Manutenção da faixa de grama	m	RECUPERAÇÃO DE FAIXA GRAMADA - 1% DA ÁREA DE GRAMA POR ANO	R\$ 0,43	R\$ 1,90	125	R\$ 237,50
Manutenção estrutural do dique	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO DIQUE - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	125	R\$ 2.060,00
TOTAL						R\$ 33.312,50

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - DIQUE DE CONTENÇÃO TRECHO C3 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Concreto para regularização	40.33.01	CONCRETO PARA REGULARIZAÇÃO - TRACO 1;3;6, FORNEC.E LANÇAMENTO SOBRE ENROCAMENTO	m ³	R\$ 673,62	3,00	R\$ 2.020,86
Concreto estrutural 25 Mpa	40.10.25	CONCRETO FCK >= 25 MPA, BRITA CALCÁRIA, PREPARADO EM OBRA E LANÇADO EM ESTRUTURA	m ³	R\$ 771,94	13,50	R\$ 10.421,19
Forma de madeira	40.20.15	FORMA DE COMPENSADO RESINADO E=12MM TIPO B (3 APR)	m ²	R\$ 76,18	45,00	R\$ 3.428,10
Armação	40.22.30	ACO CA-50 E CA-60 - CORTE, DOBRAMENTO E COLOCACAO	kg	R\$ 11,22	1.350,00	R\$ 15.147,00
					TOTAL	R\$ 31.017,15

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - DIQUE DE CONTENÇÃO TRECHO C3 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Manutenção estrutural do dique	m	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO DIQUE - 1% DO VOLUME DE CONCRETO ARMADO POR ANO	R\$ 3,72	R\$ 16,48	R\$ 100,00	R\$ 1.648,00
					TOTAL	R\$ 1.648,00

* Fonte dos valores unitários: Moura (2004) atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (01/2003 - 10/2023) segundo a FGV

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - BACIA DE DETENÇÃO 1 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Remoção de vegetação	03.01.08	DESMATAMENTO, DESTOCAMENTO, TRANSPORTE ATÉ 50M E LIMPEZA MECANIZADA DO TERRENO COM RETROESCAVADEIRA	m ²	R\$ 0,48	10.000,00	R\$ 4.800,00
Escavação mecanizada	03.05.08	ESCAVAÇÃO E CARGA MECANIZADA COM ESCAVADEIRA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA EM VIAS URBANAS	m ³	R\$ 3,40	25.000,00	R\$ 85.000,00
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m ³ x km	R\$ 2,04	650.000,00	R\$ 1.326.000,00
Compatação de solo escavado	03.15.02	ATERRO COMPACTADO COM PLACA VIBRATÓRIA	m ²	R\$ 20,51	10.000,00	R\$ 205.100,00
Impermeabilização	09.03.03	CAMADA DE REGULARIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM ARGAMASSA TRAÇO 1:3, E = 3 CM	m ²	R\$ 46,23	10.762,50	R\$ 497.550,38
Grama	21.30.06	GRAMACAO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m ²	R\$ 24,65	10.762,50	R\$ 265.295,63
					TOTAL	R\$ 2.293.946,00

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - BACIA DE DETENÇÃO 1 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Unidade**	Descrição dos serviços	Valor unit. (2011)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza da bacia	m ³	LIMPEZA DA BACIA DE DETENÇÃO COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 0,98	R\$ 2,17	50.000,00	R\$ 108.500,00
Recuperação grama	m ³	RECONSTITUIÇÃO PARCIAL DA GRAMA NO INTERIOR DA BACIA DE DETENÇÃO - 2 VEZES POR ANO	R\$ 0,31	R\$ 0,69	50.000,00	R\$ 34.500,00
					TOTAL	R\$ 143.000,00

* Fonte dos valores unitários: Souza (2013), atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (12/2011 - 10/2023) segundo a FGV, considerando dois eventos por ano

CUSTO ESTIMADO DE IMPLANTAÇÃO - BACIA DE DETENÇÃO 2 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Código SUDECAP	Descrição (item SUDECAP)	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quantidade	Valor total (R\$)
Remoção de vegetação	03.01.08	DESMATAMENTO, DESTOCAMENTO, TRANSPORTE ATÉ 50M E LIMPEZA MECANIZADA DO TERRENO COM RETROESCAVADEIRA	m ²	R\$ 0,48	900,00	R\$ 432,00
Escavação mecanizada	03.05.08	ESCAVAÇÃO E CARGA MECANIZADA COM ESCAVADEIRA EM MATERIAL DE 1ª CATEGORIA EM VIAS URBANAS	m ³	R\$ 3,40	360,00	R\$ 1.224,00
Transporte materiais escavados	03.13.04	TRANSPORTE DE MATERIAL DE QUALQUER NATUREZA COM DMT > 5 KM	m ³ x km	R\$ 2,04	9.360,00	R\$ 19.094,40
Compatação de solo escavado	03.15.02	ATERRO COMPACTADO COM PLACA VIBRATÓRIA	m ²	R\$ 20,51	900,00	R\$ 18.459,00
Impermeabilização	09.03.03	CAMADA DE REGULARIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM ARGAMASSA TRAÇO 1:3, E = 3 CM	m ²	R\$ 46,23	936,32	R\$ 43.286,07
Grama	21.30.06	GRAMAÇÃO, INCLUSIVE PLANTIO - GRAMA SAO CARLOS - AXONOPUS COMPRESSUS	m ²	R\$ 24,65	936,32	R\$ 23.080,29
					TOTAL	R\$ 103.919,76

CUSTO ESTIMADO DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO - BACIA DE DETENÇÃO 2 (CENÁRIO 3)						
Tipo de serviço	Unidade	Descrição dos serviços	Valor unit. (2003)*	Valor unit. (2023)	Quantidade	Valor total (R\$)
Limpeza da bacia	m ³	LIMPEZA DA BACIA DE DETENÇÃO COM RETIRADA DE RESÍDUOS - 2 VEZES POR ANO	R\$ 0,98	R\$ 2,17	720	R\$ 1.562,40
Recuperação grama	m ³	RECONSTITUIÇÃO PARCIAL DA GRAMA NO INTERIOR DA BACIA DE DETENÇÃO - 2 VEZES POR ANO	R\$ 0,31	R\$ 0,69	720	R\$ 496,80
					TOTAL	R\$ 2.059,20

* Fonte dos valores unitários: Souza (2013), atualizado pela Índice Nacional da Construção Civil (12/2011 - 10/2023) segundo a FGV, considerando dois eventos por ano