



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE
RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA**

THIAGO WILLYAM RODRIGUES NUNES

**MODELAGEM HIDROLÓGICA COM SWMM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA
DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA**

BOA VISTA, RR

2025

THIAGO WILLYAM RODRIGUES NUNES

**MODELAGEM HIDROLÓGICA COM SWMM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA
DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho
Coorientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

BOA VISTA, RR

2025

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

N972m Nunes, Thiago Willyam Rodrigues.
Modelagem hidrológica com SWMM para análise da eficiência de sistemas sustentáveis de drenagem urbana / Thiago Willyam Rodrigues Nunes. – Boa Vista, 2025.
137 f. : il. Inclui Apêndices.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1. Drenagem. 2. LID. 3. SWMM. I. Título. II. Silva Filho, Pedro Alves da (orientador). III. Neves, Marllus Gustavo Ferreira Passos das (coorientador).

CDU – 626.86

Ficha Catalográfica elaborada pela Bibliotecária/Documentalista:
Mariede Pimentel e Couto Diogo - CRB-11/354 - AM

THIAGO WILLYAM RODRIGUES NUNES

**MODELAGEM HIDROLÓGICA COM SWMM PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA
DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA**

Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, para a obtenção de título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Área de Concentração Instrumentos da Política de Recursos Hídricos. Defendida em 24 de outubro de 2025 e avaliada pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente



PEDRO ALVES DA SILVA FILHO
Data: 29/04/2026 22:47:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho
Orientador / Universidade Federal de Roraima – UFRR

Documento assinado digitalmente



MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEVES
Data: 29/04/2026 13:39:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
Coorientador / Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Documento assinado digitalmente



RAYNNER MENEZES LOPES
Data: 29/04/2026 16:51:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Raynner Menezes Lopes
Convidado externo / Universidade Federal do Pará – UFPA

Documento assinado digitalmente



JULIO CESAR DA SILVA
Data: 29/04/2026 14:14:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Júlio César da Silva
Convidado externo / Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

“Descobri que são as pequenas coisas, as tarefas diárias de pessoas comuns que mantém o mal afastado, simples ações de bondade e amor.”

(Gandalf)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre agiu com graça e misericórdia para comigo e tornou possível que eu chegasse até aqui.

A minha mãe, Josiane Rodrigues que sempre batalhou sozinha para criar seus filhos da melhor forma possível, aquela que me ensinou a ter caráter e honestidade, amor pelas pessoas e a sempre olhar o mundo com bondade e esperança. Nem todas as formas de gratidão do mundo serão suficientes para recompensá-la por tudo que ela sempre fez e ainda faz por mim.

As minhas irmãs, Annanda Rodrigues e Isabela Mota, que me amam com amor incondicional e sempre estiveram presentes em todos os momentos, não sei dizer o quão triste seria minha vida sem vocês.

A minha grande família Rodrigues, por me apoiarem e estarem sempre presentes em cada momento da minha vida e me ensinarem o que é realmente valioso nesse mundo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Filho, por me apresentar ao saneamento ambiental e acompanhar minha jornada acadêmica desde o início, me dando tantas oportunidades de crescer academicamente que eu nem consigo quantificar.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Marllus Neves, por aceitar esse desafio de me orientar a distância, por ter a paciência de tirar cada uma das minhas dúvidas e elevar o nível da minha pesquisa com seus apontamentos.

Por fim, aos meus amigos que escolheram permanecer, me amar e me apoiar em cada momento.

Obrigado por tudo.

RESUMO

A crescente impermeabilização dos centros urbanos tem intensificado a ocorrência de alagamentos, exigindo soluções mais sustentáveis para o manejo das águas pluviais. Esta pesquisa se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº 6, 11 e 13, ao promover soluções sustentáveis, resilientes e adaptadas às mudanças climáticas para o ambiente urbano e tem como objetivo avaliar o desempenho hidráulico e hidrológico da aplicação de técnicas de drenagem sustentável, especificamente jardins de chuva e pavimentos permeáveis, aplicados individualmente e de forma combinada, em um loteamento urbano planejado para Boa Vista-RR, por meio de modelagem no SWMM considerando diferentes cenários de precipitação e parâmetros apontados pela literatura. Inicialmente foi efetuada a coleta de dados topográficos, planialtimétricos, hidrológicos e pedológicos que subsidiaram a elaboração do projeto de drenagem convencional do loteamento e a modelagem destes no software, juntamente, foi modelado o mesmo sistema com a inserção de sistemas LID, sendo estes jardins de chuva ocupando 5% da área de cada lote e áreas de pavimento permeável nas calçadas. A modelagem da precipitação consistiu em dois cenários, utilizando a chuva de projeto e uma chuva observada, para efeito de comparação. A modelagem hidrodinâmica e posterior comparação dos resultados gerados para os diferentes cenários permitiu verificar a redução da vazão de pico e do volume de escoamento para os sistemas LID conjugados de 26,19% e 52,37% respectivamente. Assim foi determinado um indicador de abatimento de vazão por área controlada pelo LID de 94,83 l/s.ha. Devido a aplicação dos LIDs o valor de execução da obra foi acrescido em 38,98%, entretanto o parâmetro de custo/eficiência do sistema foi de R\$ 897,53/m³ de volume de escoamento abatido. Os resultados evidenciam os benefícios da adoção de sistemas LID, contribuindo para a mitigação dos impactos hidrológicos da urbanização.

Palavras-chave: drenagem, LID, SWMM.

ABSTRACT

The increasing waterproofing of urban centers has intensified the occurrence of flooding, requiring more sustainable solutions for stormwater management. This research aligns with Sustainable Development Goals (SDGs) 6, 11, and 13 by promoting sustainable, resilient, and climate-adapted solutions for the urban environment. It aims to evaluate the hydraulic and hydrological performance of sustainable drainage techniques, specifically rain gardens and permeable pavements, applied individually and in combination, in an urban development planned for Boa Vista-RR, through modeling in SWMM considering different precipitation scenarios and parameters identified in the literature. Initially, topographic, planimetric, hydrological, and pedological data was collected to support the design of the conventional drainage system for the subdivision and its modeling in the software. At the same time, the same system was modeled with the insertion of LID systems, consisting of rain gardens occupying 5% of the area of each lot and permeable pavement areas on the sidewalks. Precipitation modeling consisted of two scenarios, using design rainfall and observed rainfall for comparison purposes. Hydrodynamic modeling and subsequent comparison of the results generated for the different scenarios allowed us to verify a reduction in peak flow and runoff volume for the combined LID systems of 26.19% and 52.37%, respectively. Thus, a flow reduction indicator per area controlled by LID of 94.83 l/s.ha was determined. Due to the application of LIDs, the cost of the project increased by 38.98%, however, the cost/efficiency parameter of the system was R\$ 897.53/m³ of reduced runoff volume. The results highlight the benefits of adopting LID systems, contributing to the mitigation of the hydrological impacts of urbanization.

Keywords: drainage, LID, SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do ciclo hidrológico.	18
Figura 2 - Delimitação de uma bacia hidrográfica.	20
Figura 3 – Projeção da População Urbana e Rural no planeta.	24
Figura 4 - Alterações no balanço hídrico devido ao processo de urbanização.....	26
Figura 5 - Mapa de ocorrência de inundações pelo mundo.....	27
Figura 6 – Ruas completamente alagadas devido a inundação em Porto Alegre/RS. 29	
Figura 7 – Área de Boa Vista durante inundação de 2011.	30
Figura 8 – Ruas alagadas em Boa Vista-RR durante precipitação intensa.	31
Figura 9 – Boca de lobo, componente do sistema de microdrenagem.	34
Figura 10 – Canalização do córrego Sapenzal – Louveira (SP).	34
Figura 11 – Redução da vazão de pico do hidrograma.	35
Figura 12 – Telhado verde instalado sobre edifício.	38
Figura 13 – Pavimento permeável executado com blocos intertravados.	40
Figura 14 – Seção típica de pavimento intertravado permeável.	41
Figura 15 – Valores para resistência mecânica e espessura mínima da camada permeável.	43
Figura 16 - Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico. 45	
Figura 17 – Tipo de infiltração do pavimento em função das condições locais.	45
Figura 18 – Valores típicos de coeficiente de permeabilidade conforme a taxa de infiltração do solo.	46
Figura 19 - Modelo de jardim de chuva aplicado em vias.	47
Figura 20 – Jardins de chuva em São Paulo/SP.	48
Figura 21 - Estrutura de um sistema de biorretenção convencional em camadas.	48
Figura 22 – Interface de usuário do SWMM.....	57
Figura 23 – Subdivisão das áreas da bacia no SWMM.....	59
Figura 24 – Modelo conceitual de bacia utilizado pelo SWMM	60
Figura 25 – Representação de uma sub-bacia no SWMM	60
Figura 26 – Comparativo entre os métodos de infiltração aceitos pelo SWMM.	62
Figura 27 - Representação de célula de biorretenção no SWMM.....	63
Figura 28 - Representação de pavimento permeável no SWMM	65
Figura 29 – Mapa de localização da pesquisa.	68
Figura 30 – Mapa da área urbana de Boa Vista/RR.....	69

Figura 31 – Chuva mensal média em Boa Vista-RR.....	70
Figura 32 – Temperaturas máximas e mínimas médias em Boa Vista-RR.....	70
Figura 33 – Localização do loteamento Caburaí 4 (em vermelho).	72
Figura 34 – Planta do Loteamento Caburaí 4.....	72
Figura 35 – Planta do loteamento localizada sobre imagem de satélite do Google. ...	73
Figura 36 – Lago sazonal no centro do loteamento.....	73
Figura 37 -Lago sazonal ao lado do loteamento.....	74
Figura 38 – Fluxograma das etapas de pesquisa	74
Figura 39 – Curvas I-D-F para a equação de Brands.	76
Figura 40 – Chuva de projeto	77
Figura 41 – Chuva observada – Evento extremo	78
Figura 42 – Áreas de drenagem do loteamento	81
Figura 43 – Redes de drenagem do loteamento	81
Figura 44 – Loteamento modelado no SWMM.....	83
Figura 45 – Esquema de direcionamento do escoamento dos lotes modelados.....	86
Figura 46 – Comparação de hidrogramas de projeto dos Cenários 1 e 2.....	89
Figura 47 – Comparação de hidrogramas de projeto dos cenários 1 e 3.....	91
Figura 48 – Comparação de hidrogramas de projeto dos cenários 1 e 4.....	93
Figura 49 – Comparativo de Hidrogramas de projeto – Cenários geral.....	95
Figura 50 – Comparativo quantidade de água infiltrada no solo – Bloco A.....	97
Figura 51 – Comparativo quantidade de escoamento superficial gerado – Bloco A ..	98
Figura 52 – Comparativo de quantidade de água armazenada nos LIDs – Bloco A..	98
Figura 53 – Comparativo de porcentagem de água transformada em infiltração, escoamento ou armazenada no LID – Bloco A.....	99
Figura 54 – Comparativo de redução de escoamento superficial – Bloco A	100
Figura 55 – Comparativo quantidade de água infiltrada no solo – Bloco B	102
Figura 56 – Comparativo quantidade de escoamento superficial gerado – Bloco B	102
Figura 57 – Comparativo de quantidade de água armazenada nos LIDs – Bloco B	103
Figura 58 – Comparativo de porcentagem de água transformada em infiltração, escoamento ou armazenada no LID – Bloco B	104
Figura 59 – Comparativo de redução de escoamento superficial – Bloco B	104
Figura 60 – Comparativo de redução do escoamento superficial entre blocos de precipitação	105

Figura 61 – Redução da velocidade máxima de escoamento em cada conduto.....	106
Figura 62 – Faixa de variação dos diâmetros nominais dos tubos – Cenário 1	110
Figura 63 - Faixa de variação dos diâmetros nominais dos tubos – Cenário 4.....	111
Figura 64 – Dados de entrada das sub-bacias.....	126
Figura 65 – Dados de entrada dos PVs.....	127
Figura 66 – Dados de entrada dos condutos.....	128
Figura 67 – Composição – Preparo de fundo de vala até 1,5 m.....	129
Figura 68 – Composição – Isolamento da obra.....	129
Figura 69 – Composição – Tubo de concreto 800 mm	129
Figura 70 – Composição – Tubo de concreto 1000 mm	129
Figura 71 – Composição – Tubo de concreto 1200 mm	129
Figura 72 – Composição – Escoramento de vala	130
Figura 73 – Composição – Tubo de concreto 400 mm	130
Figura 74 – Composição - PV	130
Figura 75 – Composição - Boca de Lobo Simples.....	130
Figura 76 – Composição – Tubo de Concreto 600 mm	130
Figura 77 – Planilha orçamentária – drenagem convencional sem LID	1
Figura 78 – Planilha Orçamentária – drenagem convencional com LID	2
Figura 79 – Quantitativo de Escoramento e Volume de escavação – sem LID	3
Figura 80 - Quantitativo de Escoramento e Volume de escavação – com LID	4
Figura 81 – Memória de drenagem sem LID	5
Figura 82 – Memória de drenagem com LID.....	5
Figura 83 – Planta de curvas de nível do terreno	1
Figura 84 – Planta de indicação do fluxo de água no terreno	2
Figura 85 – Indicação de elevações do terreno por esquema de cores.....	3

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplos de medidas de controle de inundações urbanas.....	33
Tabela 2 – Taxas de infiltração obtidas mediante ensaios de campo.....	79
Tabela 3 – Taxa de Infiltração média do solo na condição de umidade aparente.	79
Tabela 4 – Dados gerais rede de drenagem 01.....	82
Tabela 5 – Parâmetros de entrada do LID no SWMM - Biorretenção.....	84
Tabela 6 – Parâmetros de entrada do LID no SWMM – Pavimento permeável.....	84
Tabela 7 – Redução da vazão de pico – Cenários 1-2.....	90
Tabela 8 - Redução do volume total escoado - Cenário 1-2.....	90
Tabela 9 - Redução da vazão de pico – Cenários 1-3.....	91
Tabela 10 - Redução de volume escoado - Cenários 1-3.....	92
Tabela 11 - Redução da vazão de pico – Cenários 1-4.....	93
Tabela 12 - Redução de volume escoado - Cenários 1-4.....	94
Tabela 13 - Resultados gerais SWMM – Modelagem Bloco A.....	96
Tabela 14 - Resultados gerais SWMM – Modelagem Bloco B.....	101
Tabela 15 – Redução do diâmetro dos condutos.....	108
Tabela 16 – Custo de execução apenas da drenagem convencional.....	112
Tabela 17 - Custos de execução dos LIDs.....	113
Tabela 18 – Custos totais de execução do sistema de drenagem.....	113
Tabela 19 – Relação custo/eficiência dos LIDs.....	114

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	OBJETIVOS	16
1.1.1.	Objetivos gerais	16
1.1.2.	Objetivos específicos	16
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1.	HIDROLOGIA APLICADA	18
2.1.1.	Bacia hidrográfica e Balanço Hídrico.....	19
2.1.2.	Precipitação.....	20
2.1.3.	Evapotranspiração.....	21
2.1.4.	Infiltração.....	21
2.1.5.	Escoamento superficial	23
2.2.	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	24
2.2.1.	Inundações e alagamentos urbanos.....	26
2.3.	MEDIDAS DE CONTROLE.....	31
2.3.1.	Medidas Estruturais	31
2.3.2.	Medidas Não-estruturais	32
2.4.	DRENAGEM URBANA	33
2.4.1.	Drenagem Urbana Convencional.....	33
2.4.2.	Drenagem urbana sustentável	35
2.5.	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	39
2.5.1.	Método de dimensionamento	42
2.5.1.1.	Dimensionamento mecânico	43
2.5.1.2.	Dimensionamento hidráulico-hidrológico.....	44
2.6.	BIORRETENÇÃO (JARDIM DE CHUVA)	46
2.6.1.	Método de dimensionamento	49
2.6.1.1.	Volume de entrada.....	49
2.6.1.2.	Volume de saída	50
2.6.1.3.	Camada de armazenamento.....	50
2.7.	MODELAGEM HIDROLÓGICA.....	51
2.7.1.	Classificação dos modelos hidrológicos	53
2.7.2.	Histórico da modelagem hidrológica	53
2.7.3.	Softwares de modelagem hidrológica.....	54
2.8.	STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM.....	55

2.8.1.	Precipitação.....	58
2.8.2.	Escoamento superficial.....	58
2.8.3.	Infiltração.....	61
2.8.4.	Sistemas LID.....	62
2.8.4.1.	Jardim de chuva (célula de biorretenção).....	63
2.8.4.2.	Pavimento permeável.....	64
2.8.5.	Discretização dos parâmetros de entrada no SWMM.....	65
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1.	LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA	68
3.1.1.	Aspectos Gerais	69
3.2.	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA.....	71
3.3.	DIAGRAMA DAS ETAPAS DE PESQUISA.....	74
3.4.	LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	75
3.5.	INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO.....	75
3.6.	TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO.....	78
3.7.	SISTEMA DE MICRODRENAGEM	80
3.7.1.	Parâmetros de entrada no SWMM.....	83
3.8.	SISTEMAS DE CONTROLE LID.....	83
3.9.	SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS	86
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.1.	COMPARAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO	88
4.1.1.	Cenário 1-2	89
4.1.2.	Cenário 1-3	90
4.1.3.	Cenário 1-4	92
4.1.4.	Cenários geral	94
4.2.	COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS.....	95
4.2.1.	Bloco A.....	96
4.2.2.	Bloco B.....	100
4.2.3.	Comparativo de eventos de precipitação modelados.....	105
4.3.	REDUÇÃO DA VELOCIDADE MÁXIMA DE ESCOAMENTO.....	106
4.4.	REDUÇÃO DE MATERIAIS E CUSTOS	107
4.4.1.	Redução dos diâmetros dos condutos	108
4.4.2.	Avaliação do aumento de custos de execução da obra.....	111
5.	CONCLUSÕES.....	115
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICES.....	126

1. INTRODUÇÃO

Na medida que o solo é impermeabilizado pelo processo de urbanização ocorre o aumento do escoamento superficial ocasionado pelas precipitações, produzindo assim alagamentos nas áreas mais baixas das cidades. Tradicionalmente, de modo a atenuar os efeitos das inundações e alagamentos urbanos são aplicadas medidas de controle compostas por sistemas de drenagem urbana (TUCCI, 1999). Entretanto, as soluções adotadas por esses sistemas convencionais possuem apenas caráter localizado e por vezes contribuem ainda mais no processo de impermeabilização do solo, apenas transferindo o problema para uma região a jusante (CANHOLI, 2015).

Diante desse cenário são necessárias novas medidas de gerenciamento das águas pluviais urbanas. As chamadas medidas não-convencionais de drenagem visam à integração entre os processos naturais de bacia hidrográfica urbana com o objetivo principal de recuperação parcial da capacidade de processos naturais na fase de pré-urbanização, situação que a bacia possuía antes de ser impermeabilizada, de modo a reduzir o escoamento superficial, em termos de volume, vazões de pico e tempos de escoamento. Estas técnicas de gerenciamento de águas pluviais urbanas também podem ser denominadas de drenagem sustentável (FLETCHER et al., 2014; WOODS-BALLARD et al., 2015).

A modelagem hidrológica tem se tornado uma ferramenta essencial para a análise das consequências da urbanização e da eficiência desses sistemas sustentáveis de drenagem urbana, permitindo a simulação de diferentes cenários de uso e ocupação do solo (TUCCI, 2003). Dentre os modelos hidrológicos úteis no estudo de técnicas sustentáveis se destaca o Storm Water Management Model – SWMM por sua capacidade de simular o comportamento hidrológico e hidráulico de bacias urbanas, considerando diversas variáveis e parâmetros do ciclo hidrológico (ROSSMAN, 2015).

Em diversas cidades do Brasil, os sistemas de drenagem urbana convencional têm se mostrado ineficientes na redução dos alagamentos e seus impactos para a sociedade urbana conforme as mudanças climáticas avançam (CANHOLI, 2015). Embora não seja uma cidade de grande porte, a cidade de Boa Vista, capital do estado de Roraima, também possui diversas áreas urbanizadas sem o correto planejamento de uso e ocupação do solo, trazendo consigo problemas de alagamentos em pontos baixos anualmente nos períodos chuvosos, além de um sistema de drenagem ineficiente para a velocidade da expansão da mancha urbana (JÚNIOR; JÚNIOR, 2023).

O loteamento Caburaí 4 é a quarta parte de um novo bairro em expansão na cidade de Boa Vista e tem atraído a atenção de uma grande parte da população para residir ali. Atualmente a região não possui um sistema de drenagem urbana implantado, estando esse ainda em fase de projeto pela empresa responsável pelo planejamento urbano do loteamento. Por ser um local ainda em expansão e sem sistema de drenagem executado, a região se apresenta como uma localidade ideal para o estudo de modelagem computacional no SWMM de possíveis cenários de aplicação de técnicas de drenagem urbana.

Desse modo a presente pesquisa justifica-se pela necessidade crescente de adoção de soluções de drenagem sustentável, especialmente em cidades como Boa Vista–RR, onde a impermeabilização e a ocorrência de eventos extremos de precipitação têm causado alagamentos e a sobrecarga nos sistemas de drenagem convencional. Ao empregar o SWMM para simular diferentes cenários de chuva e avaliar individualmente e de forma combinada técnicas de drenagem sustentável, este estudo busca fornecer evidências quantitativas do potencial dessas soluções para reduzir vazões de pico, volumes escoados e até mesmo permitir o redimensionamento de condutos. Os resultados obtidos oferecem suporte técnico para tomadas de decisão no planejamento urbano, demonstrando que a incorporação desses sistemas pode não apenas mitigar problemas recorrentes de drenagem, mas também otimizar recursos, tornando o sistema mais resiliente às mudanças climáticas e ao aumento da demanda hidráulica decorrente da expansão urbana.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos gerais

- Avaliar o impacto da aplicação de técnicas de drenagem sustentável, especificamente jardins de chuva e pavimentos permeáveis, individualmente e de forma combinada, sobre o desempenho hidráulico e hidrológico de um sistema de drenagem urbana em Boa Vista–RR, por meio de modelagem no SWMM considerando diferentes cenários de precipitação e parâmetros apontados pela literatura.

1.1.2. Objetivos específicos

- Modelar cenários distintos de uso e ocupação do solo com e sem sistemas sustentáveis de drenagem para observar a redução da vazão de pico do hidrograma de projeto e do volume de escoamento superficial;

- Utilizar parâmetros apontados pela literatura para a modelagem dos sistemas de drenagem sustentável no SWMM;
- Observar a influência da aplicação de técnicas de drenagem sustentável na redução de materiais e custos de execução de obras de drenagem urbana
- Avaliar as diferenças de desempenho das técnicas em diferentes condições de precipitação.
- Quantificar o aumento dos custos da implantação dos LIDs para o orçamento executivo da obra de drenagem.
- Criar indicador de vazão abatida por metro quadrado de área controlada e indicador de relação custo/eficiência da implantação dos LIDs.

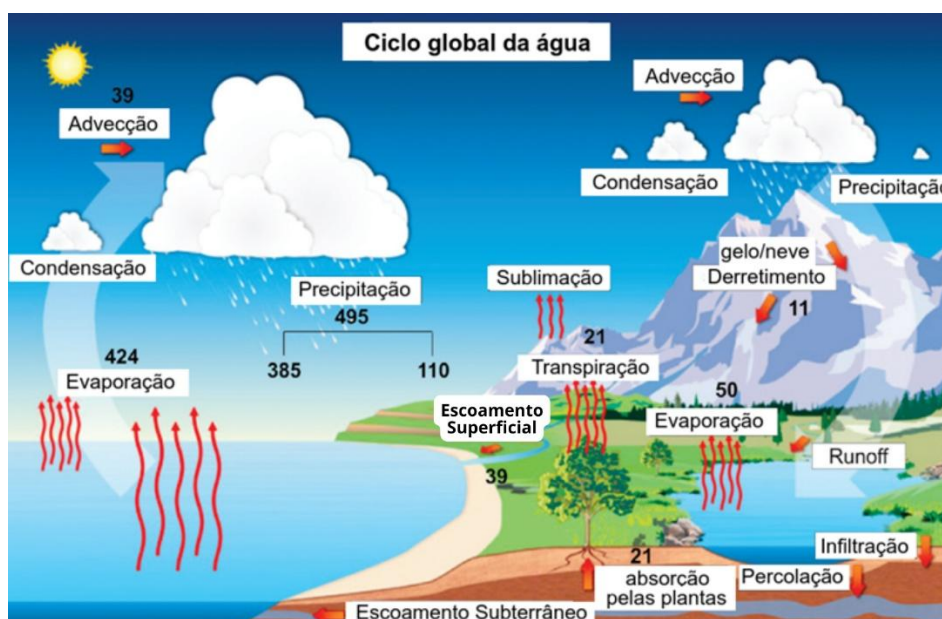
2. REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo visa apresentar diversos conceitos técnico-científicos necessários para o desenvolvimento e entendimento da pesquisa realizada, sendo estes conceitos referentes a hidrologia geral e suas aplicações, as consequências do processo de urbanização, conceitos de drenagem convencional e sustentável, discussão acerca dos modelos hidrológicos, seu histórico, aplicação e eficiência, especificamente do Software SWMM e como este é utilizado para auxiliar tanto na modelagem hidrológica como na modelagem hidrodinâmica.

2.1. HIDROLOGIA APLICADA

Segundo Collischonn e Dornelles (2013) a hidrologia é o estudo da água na superfície terrestre, nos solos e no subsolo, utilizando como base para seus estudos os conhecimentos de hidráulica, física e estatística, sendo fundamental para diversas áreas do conhecimento como a geologia, geografia, agronomia e engenharia. Sendo o conceito central da hidrologia, o ciclo hidrológico (Figura 1) pode ser descrito como um processo natural que ocorre em uma bacia hidrográfica e contém em sua composição os processos como o de evaporação, condensação, precipitação, infiltração, percolação e escoamento superficial da água.

Figura 1 - Esquema do ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de Tatsch (2020).

Por ser um processo cíclico não é possível identificar um início, entretanto para fins didáticos pode-se considerar que o processo se inicia com o aquecimento do ar, solo e água por parte da energia irradiada pelo sol, que é responsável pela evaporação da água nos oceanos e evapotranspiração da água presente no solo e nas plantas. O vapor é transportado pelas massas de ar e sob determinadas condições condensa formando as nuvens e conseqüentemente precipita.

A maior parte da água precipitada fica retida no solo e posteriormente retorna a atmosfera, outra parte escoia sob a superfície, e ainda outra parcela penetra profundamente no solo, abastecendo os aquíferos. Se considerado em escala global o ciclo é sempre fechado em si, entretanto em escala regional podem existir alguns subciclos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Quando analisado em termos globais é verificado que o ciclo hidrológico movimenta cerca de 577 mil km³/ano de volume de água, isto equivale a afirmar que este volume precipita de forma distribuída em todos os continentes e retorna por completo a atmosfera na forma de evaporação ao final do ciclo (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). A água no ciclo hidrológico se movimenta de forma bastante aleatória ao longo de todas as fases, variando no tempo e no espaço, de modo que o mesmo não pode ser classificado como contínuo ou constante.

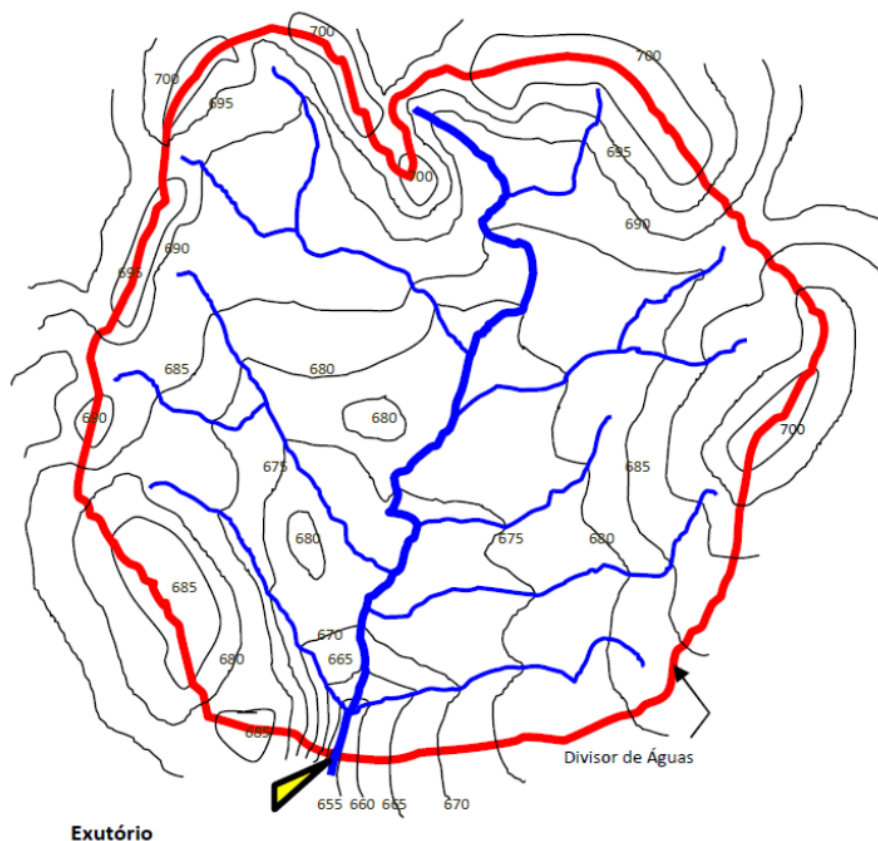
Devido à variabilidade do ciclo os profissionais que atuam na área de projetos relacionado ao manejo da água devem sempre definir seu domínio de atuação de forma local ou regional, esta definição do domínio implica que devem ser utilizados os componentes mais relevantes para a efetuação do balanço hídrico, como por exemplo a evapotranspiração, precipitação, escoamento superficial, infiltração e percolação. As análises hidrológicas são, por consequência, individuais para cada trabalho a ser realizado.

2.1.1. Bacia hidrográfica e Balanço Hídrico

Também denominada bacia de contribuição a bacia hidrográfica de um curso de água (Figura 2) consiste na área de captação natural dos fluxos de água advindos da precipitação, escoamentos estes que convergem em um único ponto de saída denominado exutório. Considerada um sistema físico sujeito a entradas e saídas de água uma bacia hidrográfica é

definida topograficamente por um curso d'água ou talvegue e limitada por um divisor de águas denominado espigão ou divisor topográfico (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Figura 2 - Delimitação de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Sperling (2007).

Dentre os diversos fatores que influenciam na forma como ocorre o escoamento da água na região da bacia estão o clima, o tipo de solo, as rochas presentes e a vegetação da região, além de outros fatores como área de drenagem da bacia, comprimento do curso d'água principal e declividade, sendo estes últimos fatores denominados características morfométricas da bacia.

2.1.2. Precipitação

Dentre os fatores presentes no balanço hidrológico de uma região a precipitação é um dos agentes mais consideráveis no aumento do escoamento superficial e a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. Definida como a totalidade da água proveniente de

meio atmosférico que em condições específicas atinge a superfície terrestre nas mais diversas formas, a exemplo do granizo, chuva, orvalho, geada ou neve (BERTONI; TUCCI, 1993)

Como consequência de diversos processos físicos a água presente na atmosfera na forma de vapor se condensa e precipita para a superfície da Terra na forma de chuva. O estudo das precipitações é de suma importância pois fornece subsídios para a irrigação, a quantificação do abastecimento de água, controle de cheias e inundações além de ser fundamental para o dimensionamento de obras hidráulicas.

No Brasil existem cerca de 23 mil estações pluviométricas e fluviométricas cadastradas na Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN, todas coordenadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, em articulação com órgãos e entidades públicas ou privadas, sendo todas estas estações cadastradas no banco de dados que integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH. Dentre estas estações cerca de 4.700 pontos são monitorados diretamente pela ANA, sendo mais de 2.800 estações apenas para monitoramento de precipitações em diversas regiões do país (SNIRH, 2023).

2.1.3. Evapotranspiração

A evaporação da água é o conjunto de fenômenos e processos físicos que transformam a água líquida presente na superfície de lagos e cursos d'água. em vapor através da energia térmica absorvida. Já o processo de transpiração é a evaporação da água presente nas plantas devido à ação biológica em seu processo de respiração. A evapotranspiração, portanto, é caracterizada pelo conjunto das ações de evaporação da água, tanto presente sobre a superfície do solo como interceptada pela vegetação, e da transpiração das plantas (PINTO et al., 1976).

Acerca do processo de medição da evapotranspiração é válido citar que devido a uma bacia hidrográfica possuir uma grande complexidade de variáveis, visto que nela ocorrem uma série de processos naturais que se alteram constantemente, a medição direta da evapotranspiração se torna um desafio, porém existem diversos tipos de instrumentos que buscam quantificar com a máxima precisão possível tais variáveis (JUNIOR, 2022).

2.1.4. Infiltração

A parcela infiltrada da água pode ser definida como a água que penetra no solo a partir da superfície e segundo Collischonn e Dornelles (2013) pode ainda se subdividir segundo as

camadas do solo na qual se encontram, sendo denominada água do solo aquela presente próximo a superfície e água subterrânea aquela parcela infiltrada que alcança camadas mais profundas do solo. A infiltração depende da capacidade de percolação da água no solo, definida como a capacidade que a água tem de se movimentar por entre seus vazios.

O conhecimento da capacidade de infiltração de um solo é de suma importância para o estudo do escoamento superficial, pois a mesma diminui o escoamento superficial devido ao armazenamento da água abaixo da superfície. Devido ao preenchimento dos vazios presentes no solo a capacidade de infiltração deste tende a diminuir conforme os poros vão sendo preenchidos, ou seja, conforme o aumento do nível de saturação, estando limitada a capacidade do solo de transferir a água para camadas mais profundas.

Conforme indica Junior (2022) diversos fatores podem interferem na capacidade de infiltração de um solo, podendo ser citados:

- Tipo de Solo: Quanto mais poroso o solo (mais vazios existentes entre as partículas) maior é a capacidade de infiltração deste. Solos arenosos, por exemplo, possuem uma maior capacidade de infiltração se comparados com solos siltosos;
- Grau de umidade do solo: Um solo seco (com baixa umidade) possui maior capacidade de infiltração devido tanto a ação gravitacional quanto as forças de capilaridade que favorecem o processo de movimentos das partículas de água entre os vazios;
- Cobertura vegetal: A presença de vegetação sobre o solo influencia diretamente no aumento da capacidade de infiltração deste, pois a presença de raízes facilita a existência de vazios no solo. Além disso a vegetação impacta diretamente no processo de escoamento superficial através redução no seu volume e da absorção de água pelas raízes.

A taxa de infiltração é definida como a quantidade de água que penetra no solo ao longo do tempo, podendo ser estimada através de diversos métodos experimentais feitos *in loco* como o método dos anéis concêntricos que consiste na cravação de dois anéis metálicos e concêntricos no solo onde é despejado uma quantidade específica de água em sua área interna e feitas medições da lâmina d'água interno em intervalos fixos de tempo.

O processo de infiltração do solo pode ser quantificado através do método de Horton (1933) que descreve o decaimento da infiltração em um determinado solo através do tempo. Os

dados para o cálculo da taxa de infiltração podem ser obtidos em campo utilizando o próprio o ensaio dos anéis concêntricos.

2.1.5. Escoamento superficial

Sendo o fator mais importante do ciclo hidrológico, em termos de drenagem, o escoamento superficial é o transporte de água na superfície terrestre e está relacionado a maioria dos estudos hidrológicos para prevenção de fenômenos catastróficos associados a eventos de precipitação intensa. Trata-se da parcela da água precipitada que não infiltra no solo, percorrendo a superfície até atingir os cursos d'água, sendo a parcela do volume precipitado excedente aos processos de evaporação, infiltração e retenção da bacia. O processo se inicia na forma de lâminas de escoamento que seguem por gravidade em direção às partes mais baixas do terreno, constituindo a parcela mais significativa do hidrograma durante a ocorrência de precipitações intensas (FINKLER, 2012).

A água que escoar sobre a superfície do solo forma a enxurrada que compõe, juntamente com a contribuição das reservas subterrâneas, os córregos, ribeirões, rios, lagos e reservatórios (CHOW, et al., 1988). Este escoamento tem origens diferentes visto que, durante chuvas intensas, parte da vazão que passa por um rio é proveniente da própria precipitação que não infiltra no solo, enquanto nos períodos secos a vazão de um rio é resultado do esvaziamento de forma lenta da água subterrânea armazenada na bacia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). A variação da vazão em uma seção de curso d'água ao longo do tempo pode ser representada graficamente através de um hidrograma, sendo esta distribuição resultado da interação entre todos os componentes presentes no ciclo hidrológico.

Pinto et al. (1976) cita diversos conceitos e grandezas características devem ser avaliados quando é feita a análise do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica, como por exemplo:

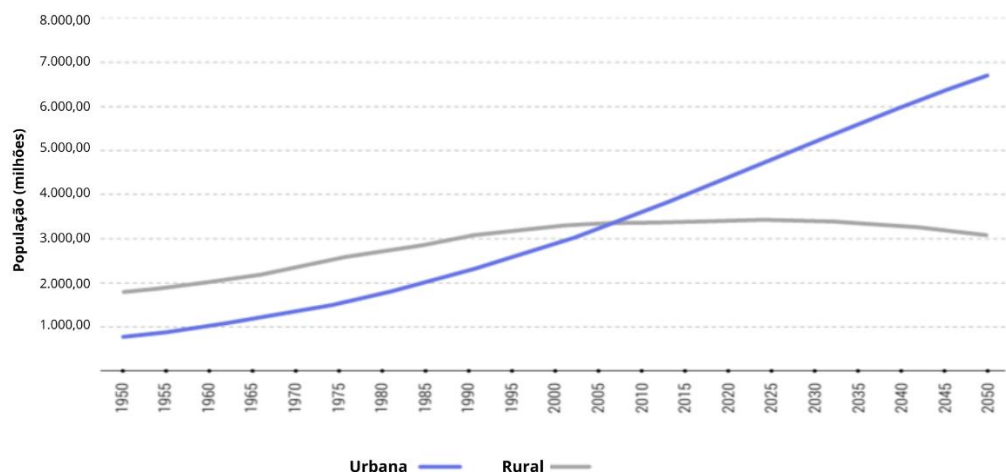
- Vazão superficial: Também denominada descarga superficial ou *runoff*, a vazão se trata do volume de água escoado por unidade de tempo em uma determinada seção transversal ao escoamento ocorrido na bacia hidrográfica., sendo geralmente expressas em metros cúbicos por segundo. No balanço hídrico é comum expressar o escoamento superficial em termos de altura de lâmina d'água escoada chamada de escoamento ou deflúvio superficial;

- Coeficiente de deflúvio: Relação entre a quantidade total de água escoada pela seção e a quantidade total de água que precipitou na área da bacia. Esse coeficiente é muito aplicado a estudos voltados para a previsão de vazões em enchentes produzidas por precipitações intensas, aplicado especialmente a obras de drenagem urbana;
- Tempo de concentração: Tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia hidrográfica possa contribuir para vazão na seção de estudo, ou seja, no exutório da bacia. Muitas vezes relacionado com a duração da trajetória que uma partícula de água demora para ir do ponto mais distante da bacia ao exutório.

2.2. IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

A primeira década do século XXI foi marcada por um aumento significativo na urbanização pois foi neste período que foi atingido a marca de 50% da população mundial residindo em centros urbanos (UN HABITAT, 2007). Conforme indica o Relatório Mundial das Cidades, emitido pela Organização das Nações Unidas - ONU no ano de 2024, cerca de 56% da população mundial residia em centros urbanos no ano de 2021, e prevê-se que em 2050 essa porcentagem será de 68% da população mundial, próximo aos 7 bilhões de habitantes (Figura 3), indicando um crescimento no processo de urbanização.

Figura 3 – Projeção da População Urbana e Rural no planeta.



Fonte: Adaptada de UN HABITAT (2024).

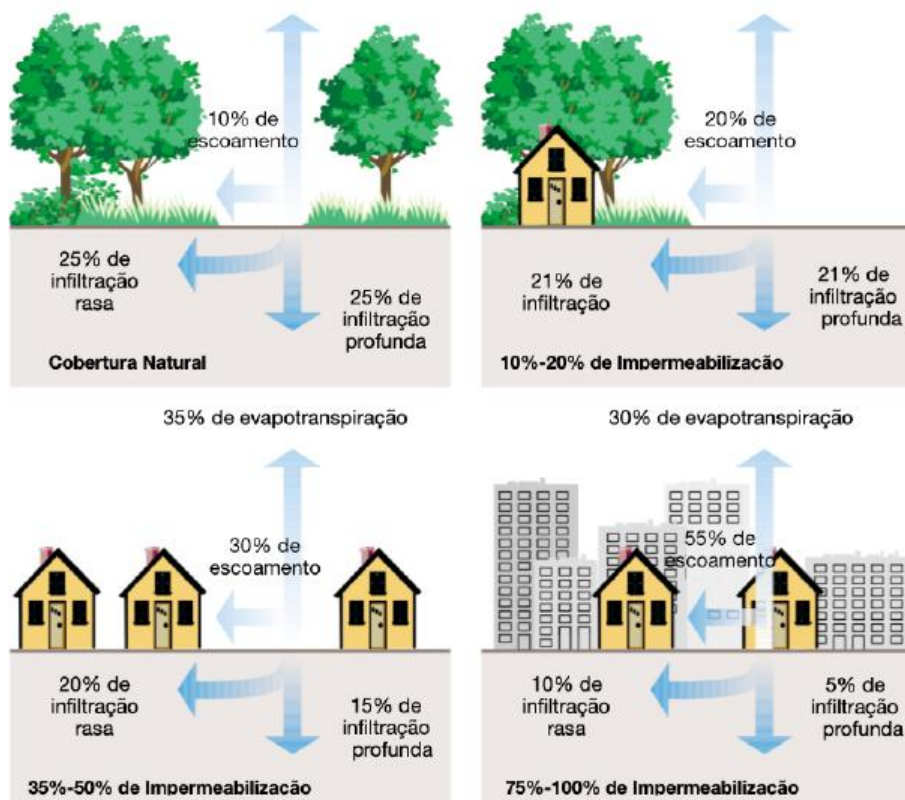
Embora a urbanização apresente melhorias em diversos aspectos na qualidade de vida da população, também traz diversos problemas advindos da falta de planejamento adequado de uso e ocupação do solo. A impermeabilização do solo é um dos maiores impactos decorrentes do processo de urbanização, ocasionada dentre outros fatores por uma extensa demanda de obras de engenharia, que sem o devido planejamento de traçado voltado para o manejo das águas pluviais aumenta a exposição da população, em especial da que vive em áreas de vales, encostas e áreas inundáveis, a eventos de risco e desastres ambientais.

Os desastres relacionados a eventos climatológicos e hidrológicos são os mais expressivos, contabilizando 91% dos desastres ocorridos mundialmente, sendo a inundação o tipo mais frequente de desastres registrados no período de 1994 a 2013 (BORBA, 2020).

Como efeito da urbanização, tem-se a ocupação de áreas impróprias através dos assentamentos humanos inadequados (como invasões e favelas) culminando na redução das áreas verdes, além do mais a falta de planejamento urbano ocasiona a ocupação do leito maior ou menor de um rio por edificações.

Como consequências hidrológicas da urbanização no Brasil existe ainda o aumento das redes de drenagem, que ocasionam maiores picos de vazão a jusante, e a ocupação em áreas de várzea dos rios, sendo este um dos maiores problemas de gestão das grandes cidades, já que na maioria das cidades do país não há restrições de ocupação de áreas inundáveis em seu Plano Diretor Urbano - PDU. O crescimento das cidades inevitavelmente ocasiona mudanças no uso e ocupação do solo através da substituição da cobertura vegetal por áreas semipermeáveis e consequentemente alterando a capacidade de drenagem natural dos terrenos. As modificações realizadas impactam de forma direta o balanço hídrico regional e causam alterações no ciclo hidrológico urbano, conforme indicado na Figura 4 que demonstra diferentes cenários para distintos tipos de uso do solo e seus impactos.

Figura 4 - Alterações no balanço hídrico devido ao processo de urbanização.



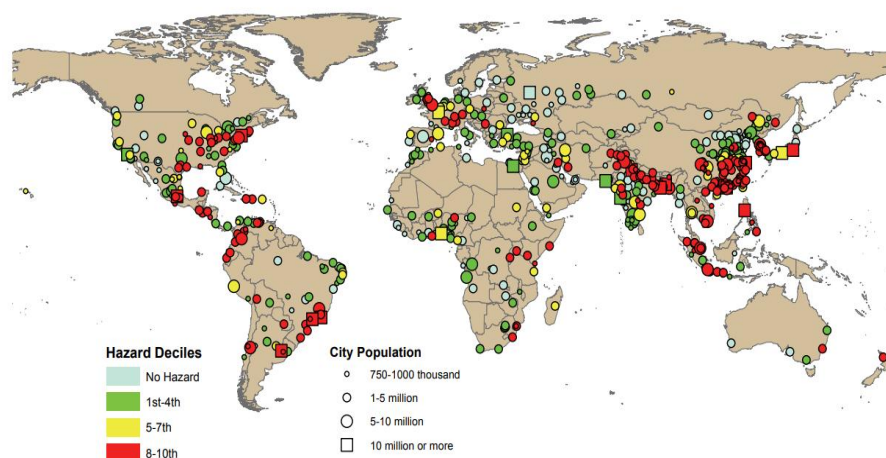
Fonte: Adaptado de County (2007).

2.2.1. Inundações e alagamentos urbanos

Uma enchente pode ser definida como a elevação do nível de água de um rio acima de sua vazão normal, ocorrendo em eventos hidrológicos específicos, já o processo de inundação ocorre quando as águas de um corpo hídrico saem de seu leito natural de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas. Quanto aos alagamentos, estes podem ser definidos como o acúmulo de água em áreas urbanas, geralmente ocorrendo após eventos intensos de precipitação que fazem exceder a capacidade do sistema de drenagem local. Comumente, os três termos são usados como sinônimos ou confundidos entre si, embora isso seja um uso errôneo de tais termos (TUCCI, 2006).

A Figura 5 apresenta a ocorrência de inundações urbanas pelo mundo no ano de 2011, de acordo com o número de habitantes nas cidades e com a severidade das inundações.

Figura 5 - Mapa de ocorrência de inundações pelo mundo.



Fonte: UN DESA (2011).

Ainda segundo a Organização das Nações Unidas (2013) cerca de 250 milhões de pessoas são atingidas por inundações urbanas a cada ano, dados estes coletados entre os anos de 2003 e 2013. Segundo a ONU as enchentes representam uma grande problemática urbana e que deve ser discutida pelos governos mundiais em busca de estratégias para combater ou mitigar seus impactos.

De acordo com Tucci (2003) a ocupação urbana em áreas de várzea contribui para o aumento do impacto gerado pelas enchentes já que o processo de aterramento dessas regiões faz com que haja uma realocação da água que antes ocuparia este espaço natural. Embora as inundações urbanas tenham uma ocorrência tão antiga quanto o surgimento das cidades são poucas as políticas públicas existentes para mitigar seus impactos na maioria dos países visto que todos os anos, no período de chuvas, são destacados pela imprensa incidentes causados por enchentes e somente medidas emergenciais são tomadas, entretanto estes eventos de desastres naturais voltam a se repetir periodicamente.

Quanto aos alagamentos urbanos, estes ocorrem devido ao processo de impermeabilização do solo e as áreas atingidas não precisam ser aquelas citadas nos parágrafos anteriores, atingidas pelas inundações. Inclusive, a escala de ocorrência costuma ser diferente. Via de regra, enquanto as inundações ribeirinhas ocorrem em bacias hidrográficas grandes, em cidades, cuja área é pequena em relação à área da bacia, os alagamentos urbanos ocorrem em escala de bairros, geralmente em bacias internas ao município, sem a necessidade inclusive de ter um rio atravessando a cidade.

Com o processo de urbanização, as vazões de pico dos hidrogramas pós-urbanização podem ser até 7 vezes maior que as vazões de pico dos hidrogramas pré-urbanização, além de outras consequências como o aumento na produção de sedimentos devido à falta de vegetação nas superfícies e a deterioração da qualidade da água devido a transferência de poluentes para o curso d'água (TUCCI, 2003).

De forma geral, é raro que o poder público controle a urbanização ou que amplie a capacidade de macrodrenagem de forma eficiente, aumentando as ocorrências das enchentes e gerando perdas sociais e econômicas. O estudo do impacto devido ao aumento da vazão máxima sobre a bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município o que desencadeia no aumento da ocorrência de alagamentos urbanos a jusante (TUCCI, 2007).

No Brasil, conforme indica o Centro de Pesquisa em Epidemiologia de Desastres - CRED (2024), a realidade das enchentes tem apresentado dados alarmantes com o país ocupando a primeira posição no ranking de países da América do Sul com maior número de desastres hidrológicos. Além disso o Brasil ocupa a sétima posição na lista de países com maior número de mortes por enchentes no mundo, segundo dados obtidos entre os anos de 2021 e 2024. No último ano as enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul obtiveram repercussão global na mídia quando em abril de 2024 eventos extremos de precipitação na região inundaram diversos municípios devido ao aumento do nível dos cursos d'água presentes na bacia do Guaíba (Figura 6). Estima-se que cerca de 629 mil pessoas tiveram de deixar suas casas, além de mais de 170 mortes registradas após os eventos (G1, 2024). Conforme levantamento da Defesa Civil (2024) o prejuízo financeiro no setor habitacional devido aos eventos somou mais de R\$ 4,7 bilhões.

Figura 6 – Ruas completamente alagadas devido a inundação em Porto Alegre/RS.



Fonte: Nery (2024).

O extremo norte do país também apresenta um extenso histórico de inunda es nas áreas urbanas visto que devido a riqueza em recursos hídricos da bacia amazônica a maioria das cidades floresceu em áreas próximas a grandes cursos d' gua. A cidade de Boa Vista – RR, capital do estado mais ao norte do país, possui diversos casos de inunda es registradas em suas áreas urbana e rural ao longo dos anos (ARAÚJO JUNIOR; TAVARES JUNIOR, 2018). Um dos eventos mais recentes ocorreu em 2011 quando o Rio Branco, principal rio do estado no qual a capital se localiza às margens, registrou uma cota de 10,28 metros acima do nível normal (Figura 7), atingindo cerca de 66,43 metros.

Figura 7 – Área de Boa Vista durante inundação de 2011.



Fonte: G1 (2011).

Esta inundação histórica foi responsável por deixar cerca de 6,16 Km² de área do município sob as águas e ocasionou a saída de diversas famílias de suas casas. Essa problemática teve um agravante social visto que boa parte da população mais pobre habitava zonas de várzea e encostas do rio. Na ocasião foi decretado pelo governo local estado de calamidade pública e diversas rodovias que dão acesso do estado foram interditadas devido ao aumento do nível dos afluentes do Rio Branco ocasionando um isolamento do estado por meios terrestres, afetando o abastecimento de produtos em supermercados e combustível para os veículos (SANDER et al., 2012).

Ao longo dos anos a cidade de Boa Vista também conta com um extenso histórico de alagamentos, principalmente em bairros periféricos da cidade, como a exemplo do ocorrido em março de 2025, quando a cidade enfrentou uma precipitação de cerca de 196 mm em menos de 12 horas, que resultou em alagamentos significativos em diversos bairros da cidade (Figura 8). O grande volume de precipitação em um curto espaço de tempo foi responsável por sobrecarregar o sistema de drenagem urbana, provocando o acúmulo de água em vias públicas e no interior de residências (G1 RORAIMA, 2025).

Figura 8 – Ruas alagadas em Boa Vista-RR durante precipitação intensa.



Fonte: G1 (2025).

Esse episódio evidenciou a vulnerabilidade da infraestrutura urbana da capital roraimense frente a eventos pluviométricos extremos, ressaltando a necessidade de ações de planejamento urbano mais eficazes para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Porém este evento não é isolado, com registros de alagamentos em vários bairros da cidade ocorrendo todos os anos, principalmente bairros mais afastados como Vila Jardim, Jóquei Clube e Cidade Satélite.

2.3. MEDIDAS DE CONTROLE

O combate das enchentes urbanas ocorre através da diminuição de sua ocorrência, por meio de medidas de correção e/ou prevenção e são classificadas, quanto a sua natureza, em *medidas estruturais* ou *não-estruturais*. De acordo com Tucci (2003), as inundações podem ser controladas quando adotadas de modo conjunto as medidas estruturais e não-estruturais, ao passo que Galloway (2018) acrescenta que as estratégias para lidar com as inundações são resultado da combinação de seleção de ferramentas, financiamento e da vontade pública.

2.3.1. Medidas Estruturais

Canholi (2015) define medidas estruturais como aquelas que compreendem as obras de engenharia, sendo estas classificadas em medidas intensivas e extensivas, enquanto Tucci

(2009) conceitua medidas estruturais como aquelas que modificam de forma direta o sistema fluvial evitando prejuízos decorrentes das enchentes. Já Miguez (2015) define tais medidas como intervenções diretas nas calhas de rios de modo que os aspectos físicos naturais sejam alterados. Alguns exemplos dessas medidas são canalização de cursos d'água, barragens, reservatórios e diques. Essas medidas podem ser ditas *extensivas*, quando possuem ações diretas sobre a bacia alterando a relação entre a transformação de precipitação em escoamento superficial, ou *intensivas*, quando possuem uma alteração direta no regime de escoamento de cursos d'água alterando condições hidrodinâmicas (TUCCI, 2005).

No âmbito político geralmente é dada preferência às medidas estruturais, visto que estas são facilmente percebidas pela população, embora nem sempre tenham a mesma eficácia das demais medidas (SOUZA, 2004). Existem diversas medidas do tipo estrutural que são comumente adotadas pelos municípios a fim de mitigar as consequências da impermeabilização dos solos, podendo ser citados os diques, reservatórios de detenção e desvio de canais.

2.3.2. Medidas Não-estruturais

Segundo Andrade Filho (2000), medidas não-estruturais são aquelas que atuam na redução do prejuízo pela melhor convivência da população com as enchentes por consequência da prevenção e previsão da enchente, realocação, alerta de enchente e evacuação. Canholli (2015) por sua vez afirma que as medidas não estruturais procuram disciplinar o uso e ocupação do solo, o comportamento de consumo da população e as atividades de impacto econômico. Miguez (2015) aponta que tais medidas são constituídas de ações indiretas, como zoneamento urbano, identificação de áreas alagáveis ou alterações na legislação local. Essas medidas podem ser vistas como uma tentativa de convivência harmônica com os eventos das enchentes, possuindo um caráter preventivo, educacional e corretivo. As medidas não-estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação, diferentemente das medidas estruturais, que podem criar uma falsa sensação de segurança e até elevar a taxa de ocupação de áreas inundáveis (TUCCI, 2002).

A Tabela 1 apresenta um resumo de alguns tipos de medidas estruturais e não estruturais.

Tabela 1 – Exemplos de medidas de controle de inundações urbanas.

Medidas Estruturais	<ul style="list-style-type: none"> • Bocas de lobo; • Poços de visita • Tubos de ligação; • Sarjetas; • Canais; • Dissipadores de energia; • Bueiros celulares; • Controle do escoamento na fonte.
Medidas Não-estruturais	<ul style="list-style-type: none"> • Preservação de cobertura vegetal da bacia; • Regulamentação de uso e ocupação do solo; • Zoneamento de áreas sujeitas a inundação; • Construções a prova de inundações; • Sistema de previsão de cheias e alertas; • Educação ambiental.

Fonte: Miguez (2015).

2.4. DRENAGEM URBANA

Os sistemas de drenagem urbana se apresentam como medidas estruturais de controle através da execução de obras de engenharia que tem como objetivo a captação do volume de água na superfície e seu escoamento o mais rápido possível para locais a jusante da bacia (TUCCI, 2003).

2.4.1. Drenagem Urbana Convencional

Os sistemas de drenagem convencional de drenagem urbana surgiram da tentativa humana de controle do processo de escoamento superficial e são constituídos de dois subsistemas, denominados *microdrenagem* e *macrodrenagem* (MIGUEZ, 2015).

- **Microdrenagem:** é constituída por um sistema de componentes (Figura 9) que captam a água proveniente da precipitação nas áreas urbanas como loteamentos, praças, parques e pavimentos, e conduzem até a rede principal ou para os componentes da macrodrenagem.

Figura 9 – Boca de lobo, componente do sistema de microdrenagem.



Fonte: Nunes (2016).

- **Macro drenagem:** é constituída de canais naturais ou artificiais da bacia (Figura 10), responsáveis por receber o fluxo de água da microdrenagem e direcionar para o exutório, além de dissipadores de energia, galerias celulares, dentre outros. A rede de macrodrenagem é a parte constituinte que tende a receber maiores intervenções hidráulicas, como a retificação dos rios.

Figura 10 – Canalização do córrego Sapenzal – Louveira (SP).



Fonte: Prefeitura de Louveira (2023).

Tucci (2003) aponta que a execução de tais sistemas tende a impermeabilizar ainda mais o solo e conseqüentemente aumentar o volume de água escoada e a velocidade de fluxo de água nos condutos. A partir da década de 1960 tais sistemas foram cada vez mais

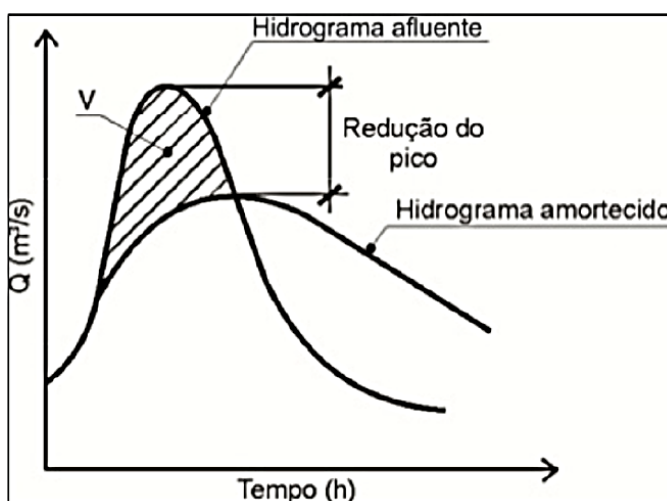
questionados devido a sua abordagem que apenas transfere o problema das inundações para regiões a jusante ou para o futuro (POMPÊO, 2000).

Segundo Tucci (2003) o volume escoado superficialmente recebe um aumento na ordem de sete vezes maior que o original, que demanda condutos maiores e mais obras de engenharia, tornando esse tipo de sistema insustentável com o tempo. Devido a isso diversos países desenvolvidos tem abandonado esse tipo de medidas de controle e substituído por técnicas não-convencionais de drenagem, denominadas de várias formas: técnicas compensatórias de drenagem, sistemas de baixo impacto, drenagem sustentável, soluções baseadas na natureza, entre outros.

2.4.2. Drenagem urbana sustentável

Segundo Canholi (2015) estas medidas não-convencionais compreendem a incrementação de processos de infiltração, retenção de escoamento e retardamento do fluxo em calhas dos córregos e rios. Estas soluções envolvem a retenção dos escoamentos de modo que suas estruturas amortecem os picos de vazão, além de redução do volume total escoado superficialmente (Figura 11). As técnicas ditas alternativas ou compensatórias buscam, por meio de processos físicos e biológicos, garantir a diminuição do volume escoado após o processo de urbanização, assim como a manutenção do tempo de concentração e qualidade da água, o controle da velocidade de escoamento e a reutilização das águas pluviais.

Figura 11 – Redução da vazão de pico do hidrograma.



Fonte: Tucci (2007).

O controle do escoamento superficial pode ser feito em várias escalas. Segundo Urbonas e Stahre (1990), o método de controle na fonte consiste na aplicação de dispositivos localizados próximos aos locais onde os escoamentos são gerados (fonte), de modo a melhor aproveitar o sistema de condução do escoamento para jusante. O controle na fonte é constituído por estruturas, obras e dispositivos que facilitam o processo de infiltração e percolação da água, assim como restringem o processo de entrada na rede de drenagem através do controle nas captações, além do processo de detenção *in situ*.

Neste contexto, as obras contendo dispositivos aplicados para favorecer a reservação dos escoamentos são as mais utilizadas no âmbito das soluções alternativas de drenagem, tendo estas o objetivo de reduzir o pico das enchentes por meio do amortecimento das ondas de cheia, consequência do armazenamento de parte do volume escoado.

Com o lançamento da nova agenda de desenvolvimento sustentável pela ONU, esta composta pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, foram iniciados diversos incentivos aos sistemas de drenagem que utilizem o solo e a própria vegetação no controle da água das chuvas, de modo que os fenômenos como a infiltração e a evapotranspiração passaram a ter maior relevância nos projetos de drenagem urbana.

As práticas sustentáveis aplicadas a drenagem urbana são fundamentadas em uma análise hidrológica da bacia, de modo a ser compreendido seu funcionamento antes e depois do processo de urbanização, para que estratégias sejam desenvolvidas de modo a incorporar novas funções de reservação e infiltração no processo de urbanização (ROSA et al., 2015). O termo drenagem sustentável, usado para caracterizar tais práticas, surgiu em meados dos anos 2000 e traz consigo a união de conceitos de sustentabilidade aos sistemas de drenagem urbana, surgindo da capacidade de engenheiros e projetistas em reconhecer a complexidade das relações entre ecossistemas naturais e o sistema urbano artificial (POMPÊO, 2000).

2.4.3. Breve histórico da drenagem sustentável

A partir dos anos 1970 surgiu a ideia de Desenvolvimento de baixo impacto (*Low Impact Development - LID*) que foi amplamente disseminada nas duas décadas seguintes em países como Estados Unidos e Canadá. Já na Nova Zelândia esse conceito recebeu uma expansão e foi denominado Projeto e desenvolvimento urbano de baixo impacto (*Low Impact Urban Design and Development – LIUDD*), com enfoque na utilização da paisagem natural e

sua funcionalidade hidrológica no controle do escoamento superficial (IGNATIEVA; STEWART; MEURK, 2008).

Segundo o Departamento de Defesa norte-americano (2004), o LID consiste em estratégias de gerenciamento das águas pluviais projetadas para manter as características hidrológicas do local e mitigar os impactos do escoamento superficial e da poluição difusa. De modo a compensar os impactos na quantidade e qualidade da água devido ao processo de urbanização, o LID busca mimetizar as condições hidrológicas existentes por meio de instrumentos, conceitos de design e unidades de controle que buscam a manutenção do armazenamento, infiltração e evapotranspiração de pré-desenvolvimento (CANHOLLI, 2014). Em resumo, a desenvolvimento de baixo impacto procura gerenciar a chuva, começando no ponto em que ela toca a superfície.

Esta abordagem propõe uma abordagem baseada nas condições de drenagem de pré-urbanização e para isso o mesmo tem como base cinco grandes princípios, sendo estes:

- i. Uso dos sistemas naturais existentes como estrutura de integração para o planejamento;
- ii. Eliminação ou redução do escoamento através de técnicas de engenharia que preservem e incentivem o cultivo de arvores e plantas;
- iii. Tratamento da água da chuva o mais próximo possível da área de origem;
- iv. Criação de paisagens multifuncionais nos centros urbanos;
- v. Manutenção dos sistemas através da educação para a população e órgãos governamentais.

Dentre as práticas aplicadas no LID podem ser citadas as valetas gramadas, áreas de biorretenção, telhados verdes e pavimentos permeáveis. O processo de planejamento com estas técnicas pode ser potencializado por novas regras de zoneamento e uso dos solos, tendo como principais benefícios de sua aplicação a diminuição da terraplanagem e limpeza do terreno de modo a reduzir a erosão e assoreamento, a minimização dos escoamentos superficiais devido à impermeabilização e à diminuição das áreas impermeabilizadas exigidas para a construção de projetos convencionais de drenagem urbana.

Por conta dessa maior flexibilidade, o LID pode ser adotado em qualquer ambiente urbano, seja residencial, institucional, comercial ou industrial. Segundo um estudo realizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos feito em 17 projetos LID já implementados no país foi verificado que na maioria dos casos a economia total do custo de

construção e manutenção variou de 15 a 80% quando comparados com projetos de drenagem tradicionais (CREDIT VALLEY CONSERVATION, 2012)

A partir dos anos 2000 foram adotados os denominados Sistemas de drenagem urbana sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*), se apresentando como a mais recente abordagem de Soluções Baseadas na Natureza - SBNs. Os SUDS surgiram com o principal objetivo de reduzir a quantidade de escoamento superficial em áreas urbanizadas de modo que se minimize a ocorrência de inundações a jusante e sejam reduzidas as taxas de poluentes nos corpos hídricos. Estes sistemas são desenvolvidos sobre o tripé quantidade, qualidade e biodiversidade, de modo que estes três objetivos sejam alcançados em equilíbrio (WOODS BALLARD et al., 2015).

Dentre as práticas contidas nos SUDS podem ser citados os sistemas de coleta de água da chuva, telhados verdes (Figura 12) e pavimentos permeáveis, sendo estas práticas utilizadas para coletar e armazenar a água da chuva em telhados ou outras superfícies impermeabilizadas. Da mesma forma do LID, os SUDS podem ser implementados em diversos locais, porém com algumas restrições de área, profundidade do lençol freático, tipo de solo e declividade, devendo ser analisado caso a caso antes de sua aplicação.

Figura 12 – Telhado verde instalado sobre edifício.



Fonte: ORGEL (2016).

Desenvolvidos inicialmente nos países do Reino Unido, os SUDS vêm substituindo as redes tradicionais de drenagem em países como Austrália e Suécia, sendo em alguns casos

desnecessário a construção de sistemas tradicionais, ou então a dimensão para estes últimos passa a ser bastante reduzida (BUTLER; DAVIES, 2011).

Esses sistemas são projetados para funcionar em pequenas unidades discretas distribuídas pelo terreno de forma a manter as características hidrológicas da área escolhida o mais próximo possível das condições anteriores a urbanização, tendo como principais resultados a redução das vazões, taxas de escoamento superficial e volumes adicionais consequentes da urbanização, promover a recarga natural dos aquíferos, reduzir a concentração de poluentes, promover *habitats* para os animais e agregar valor estético para áreas urbanas (WOODS BALLARD et al., 2015).

Conforme as técnicas de drenagem sustentável avançaram e o controle do escoamento na fonte passou a ser cada vez mais aceito na comunidade de projetistas como algo relevante, embora ainda enfrente algumas barreiras, começaram a ganhar espaço na gestão de sistemas de drenagem urbana técnicas consolidadas como o LID e os SUDS, com cada uma dessas abordagens possuindo objetivos semelhantes e algumas diferenças quando empregadas (CANHOLI, 2015).

2.5. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Urbanas e Stahre (1993) definem o pavimento permeável (Figura 13) como um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é capturado para dentro de um reservatório composto por material granular sob a superfície do terreno, onde a água armazenada é infiltrada gradualmente em camadas mais profundas do solo. Estes sistemas utilizam métodos de pavimentação de vias para permitir que a água infiltre por toda a área onde se localiza o pavimento, influenciando assim diretamente o volume de água escoado superficialmente (ACIOLI, 2005).

Figura 13 – Pavimento permeável executado com blocos intertravados.



Fonte: TBN2NET® (s.d.)

Os pavimentos permeáveis são uma medida estrutural dos SUDS e atuam na redução do volume de escoamento superficial e na diminuição da vazão de pico e controle da qualidade da água (TZIAMPOU et al., 2020). Estas estruturas são sistemas que podem ser aplicadas em áreas urbanas comuns como calçadas, estacionamentos, praças, armazéns, ginásios, parques e áreas abertas, como vias locais de baixo tráfego (BROWN, 2015; GAL, 2013). Quanto ao tipo de revestimento, os pavimentos permeáveis podem surgir em três tipos, sendo eles (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013):

- Revestimento de concreto asfáltico poroso;
- Pavimentos de concreto de cimento Portland poroso;
- Pavimentos com bloco pré-moldados de concreto intertravados e com espaçamentos entre blocos preenchidos com material drenante granular ou areia.

Entretanto a aplicabilidade desse tipo de estrutura está sujeira a alguns critérios, conforme indicam Urbonas e Stahre (1993).

- Profundidade mínima sazonal do lençol freático e da camada impermeável deve ser de 1,20m;
- Classificação do solo nas categorias A e B do *Soil Conservation Service* – SCS, ou solo que possua taxa de infiltração do solo saturado igual ou maior que 8 mm/h;
- Não devem ser instalados sobre aterros compactados ou de grande declividade;
- Devem ser instalados em pequenas áreas, como lotes de pequenas dimensões.

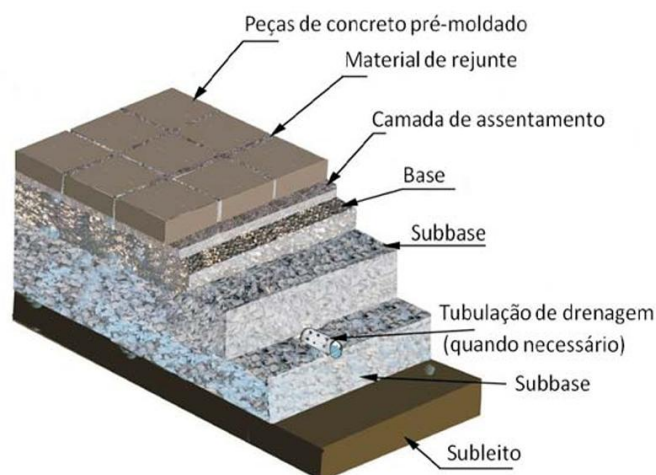
Conforme a norma NBR 16416/2015, que estabelece os requisitos mínimos exigidos para o dimensionamento, execução e manutenção dos pavimentos permeáveis de concreto,

existem algumas especificações que o projeto do pavimento permeável deve atender para sua implantação, sendo estas (ABNT, 2015):

- Distância mínima do fundo do pavimento até o nível mais alto do lençol freático de 0,6 m;
- A área total de contribuição não pode exceder em até cinco vezes a área total do pavimento permeável;
- A declividade máxima das áreas permeáveis deve ser de 5%;
- Declividade máxima das áreas de contribuição deve ser de 20%;
- A distância mínima de fontes de captação de águas subterrâneas deve ser de 30,0 m, de modo a evitar a contaminação do lençol freático no ponto de tomada.

Segundo Tucci (2009) os pavimentos permeáveis podem possuir diversas configurações quanto a sua estrutura, porém o mais usual é que sejam compostos de duas camadas de agregados, sendo uma de agregado fino ou médio e outra de agregado graúdo, além da camada superior contendo o pavimento. Quanto ao seu funcionamento, a água proveniente da precipitação se infiltra rapidamente no revestimento poroso, que possui cerca de 5 a 10 cm de espessura, e passa por um filtro de agregado, indo para as camadas mais inferiores onde os agregados possuem cerca de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. A camada mais inferior pode ou não possuir um dreno que coleta a água excedente e a transporta para outro local (Figura 14). De modo simplificado, o pavimento permeável age filtrando e armazenando uma parcela da água advinda da precipitação diminuindo significativamente o volume de escoamento superficial e mitigando assim problemas de alagamentos (ARAÚJO, 2000).

Figura 14 – Seção típica de pavimento intertravado permeável.



Fonte: Mota (2019).

Este tipo de técnica compensatória possui diversas vantagens, como a redução do escoamento superficial e conseqüentemente a redução da vazão que chega aos condutos do sistema de drenagem convencional, a redução de diâmetros dos condutos de drenagem, reduzindo custos do sistema convencional e a melhora da qualidade da água devido ao processo de filtração pelo material granular presente nas camadas da estrutura. Acerca das suas desvantagens é válido citar a manutenção constante que deve haver no sistema para que não haja redução na eficiência, o maior custo direto da construção, a dificuldade de alguns locais em possuir os materiais do pavimento e o risco de contaminação dos aquíferos (COUTINHO, 2011).

Quanto a infiltração, conforme indicam Woods-Ballard et al. (2015), existem três tipos de pavimentos permeáveis, variando quanto ao armazenamento e a existência e função do dreno, sendo estas:

- Sistema de infiltração total: onde toda a água que é recebida pela estrutura é conduzida ao subleito e infiltrada no solo;
- Sistema de infiltração parcial: neste tipo de estrutura existe um dreno abaixo da camada de maior granulometria cuja função é de remover o excesso de água que não infiltra rapidamente;
- Sistema sem infiltração no solo: a água não é absorvida pelo solo, apenas armazenada temporariamente para que seja posteriormente escoada pelo dreno. Este tipo de sistema é aplicado quando a taxa de infiltração do solo é abaixo da mínima exigida ou quando o nível de lençol freático não obedece ao requisito mínimo de profundidade do fundo da estrutura.

Estes tipos de pavimentos são aplicáveis para diferentes tipos de solo, a depender da taxa de infiltração específica de cada um.

2.5.1. Método de dimensionamento

A norma NBR 16416/2015 estabelece que o pavimento permeável deve atender simultaneamente, às solicitações de esforços mecânicos, de modo que suporte o tráfego de projeto, e solicitações hidráulicas, permitindo que haja tanto o armazenamento como a percolação da água por suas camadas. Desse modo, é necessário que haja o dimensionamento

das camadas pelo método hidráulico-hidrológico e pelo método mecânico, adotando o maior valor entre os dois (ABNT, 2015).

2.5.1.1. Dimensionamento mecânico

Segundo Senço (2007) o dimensionamento mecânico do pavimento tem como objetivo projetar uma estrutura que seja capaz de resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais aos quais está sujeito o sistema devido à presença dos veículos, além de combinar condições rolamento quanto à economicidade, comodidade e segurança. Embora existam muitos métodos teóricos para o dimensionamento de pavimentos, devido a dificuldades em sua aplicação é comumente utilizado no Brasil métodos empíricos como o método de PCA – 84 (*Portland Cement Association*), no qual a espessura da camada da base e sub-base é definida em função do tráfego através do número de solicitações N e do Índice de Suporte Califórnia – ISC do subleito (MELLO, 2022).

Após o dimensionamento mecânico da camada permeável, esta deve atender aos valores mínimos especificados pela norma (Figura 15), sendo necessário ao projetista a verificação se tais valores atendem as condições de abrasão e suporte de carga conforme o tráfego previsto na via (ABNT, 2015).

Figura 15 – Valores para resistência mecânica e espessura mínima da camada permeável.

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 35,0 ^a	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80,0		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 20,0 ^a	
	Tráfego leve	80,0		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 2,0 ^b	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80,0		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60,0	≥ 1,0 ^c	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100,0	≥ 2,0 ^c	

^a determinação da resistência à compressão, conforme na ABNT NBR 9781.
^b determinação da resistência à flexão, conforme na ABNT NBR 15805.
^c determinação da resistência à tração na flexão, conforme na ABNT NBR 12142.

Fonte: ABNT (2015).

2.5.1.2. Dimensionamento hidráulico-hidrológico

Para o dimensionamento hidráulico-hidrológico é necessário que a espessura das camadas seja suficiente para acomodar o volume de água drenado pela superfície. Ou seja, o reservatório a ser dimensionado deve possuir dimensões de modo a acomodar o volume de escoamento da chuva de projeto, menos o volume de escoamento que é infiltrado durante a chuva. Para o dimensionamento das camadas é utilizado o método proposto pelo *Interlocking Concrete Pavement Institute* e adaptado do *Standard Specifications for Infiltration Practices* (ABNT, 2015).

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta Q_c * R + P - f * T_e}{V_r} \quad (1)$$

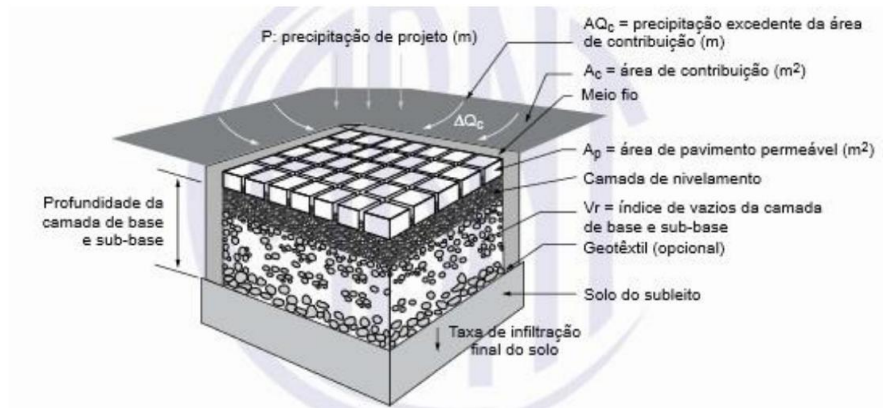
$$R = \frac{A_c}{A_p} \quad (2)$$

Onde:

- $H_{m\acute{a}x}$ – profundidade da camada de base granular, em m
- ΔQ_c – precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto, em m, ou seja, a parcela da precipitação responsável pela geração do escoamento superficial na área adjacente ao dispositivo.
- R – relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável
- A_c – área de contribuição, em m^2
- A_p – área de pavimento permeável, em m^2
- P – precipitação de projeto que cai imediatamente sobre a área do dispositivo, em m
- f – taxa de infiltração do solo, em m/h
- T_e – tempo efetivo de enchimento da camada reservatório
- V_r – porosidade do material de base/reservatório

A ilustração dos parâmetros calculados mediante a Equação 1 pode ser observada conforme a Figura 16.

Figura 16 - Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico.



Fonte: ABNT (2015).

Para a escolha do tipo de infiltração a qual estará sujeito o pavimento deve ser observadas as condições do local, conforme apresenta a norma (Figura 17).

Figura 17 – Tipo de infiltração do pavimento em função das condições locais.

Condições locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade k (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	10^{-3} a 10^{-5}	x	✓	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	x	x	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0 m da camada inferior da base		x	x	✓
Presença de contaminantes no subleito		x	x	✓

Fonte: ABNT (2015).

O coeficiente de permeabilidade do solo (k) pode ser obtido mediante a observação da taxa de infiltração do solo (I), conforme indica o ANEXO B da norma NBR 16416/2015 (Figura 18).

Figura 18 – Valores típicos de coeficiente de permeabilidade conforme a taxa de infiltração do solo.

Coeficiente de permeabilidade do solo k		Grau de permeabilidade do solo
m/s	mm/h	
$> 10^{-3}$	$> 3\ 600$	alta
10^{-3} a 10^{-5}	$3\ 600$ a > 36	média
10^{-5} a 10^{-7}	36 a $> 0,36$	baixa
10^{-7} a 10^{-9}	$0,36$ a $0,003\ 6$	muito baixa
$< 10^{-9}$	$< 0,003\ 6$	praticamente impermeável

Fonte: ABNT (2015).

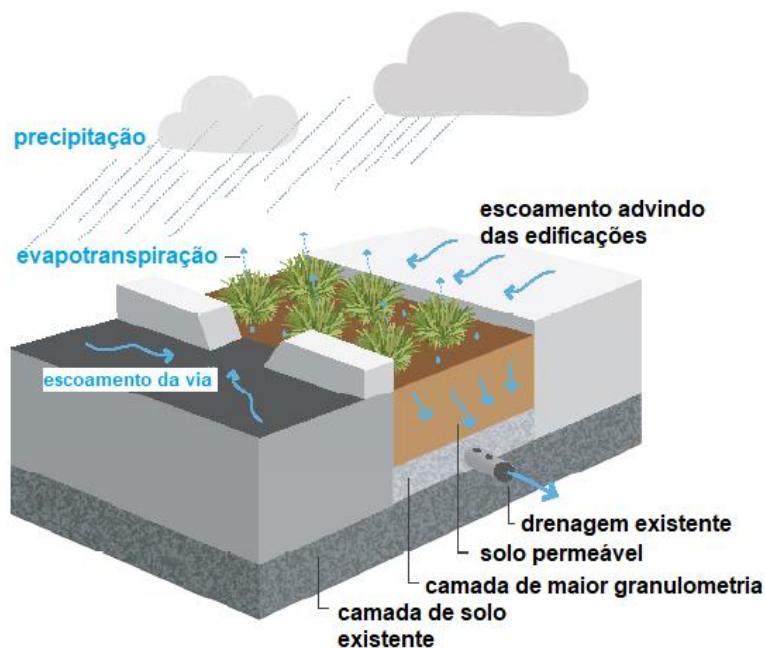
Acerca da chuva de projeto, este deve ser a mesma adotada para o dimensionamento do sistema de microdrenagem mediante a equação Intensidade-Duração-Frequência - IDF da localidade e adotado um período de retorno mínimo de 10 anos e uma duração mínima de precipitação de 1 hora.

2.6. BIORRETENÇÃO (JARDIM DE CHUVA)

De acordo com o Bray *et al.* (2011) os sistemas de biorretenção podem ser definidos como uma depressão rasa, contendo um solo absorvente, mas que proporcione uma drenagem livre através de seus vazios, contendo um determinado tipo de vegetação nativa especialmente selecionada, sendo este sistema capaz de suportar inundações temporárias ocasionais (Figura 19). O objetivo dos jardins de chuva é permitir o processo natural de retenção da água no solo de modo que seja reduzido o volume da água da chuva que escoar para o sistema de drenagem existente, além de reter parte da poluição de baixo nível. Já Hess (2014) define um sistema de biorretenção, também denominados jardim de chuva, como sendo uma área vegetada em nível abaixo da cota normal, capaz de capturar e armazenar a água proveniente do escoamento superficial gerado nas áreas impermeáveis que o rodeiam, tratando parte dos poluentes advindo desse escoamento.

O SUDS Manual (2015) classifica os jardins de chuva como sendo sistemas de biorretenção mais simplificados, uma vez que existem outros métodos que exigem o emprego de mantas geotêxtis e tubulação de extravasamento, por exemplo.

Figura 19 - Modelo de jardim de chuva aplicado em vias.



Fonte: Adaptado de Bray *et al.* (2011).

Os mecanismos de retenção de poluentes presentes dentro de uma área de biorretenção são físicos, químicos e biológicos, visto que possui uma alta taxa de captura de sólidos presentes na água, sedimentação e retenção de óleos e graxas, e remoção de poluentes químicos mediante a ligação de metais pesados à matéria orgânica e aos minerais do próprio solo (SHARKEY, 2006). Outra grande vantagem dos jardins de chuva é sua flexibilidade quanto à implantação, visto que podem ocupar tanto áreas reduzidas, como quintais, quanto grandes, como estacionamentos, parques, calçadas e praças (Figura 20). Além disso, estes sistemas possuem a capacidade de integração com outras estruturas sustentáveis de drenagem, como pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração.

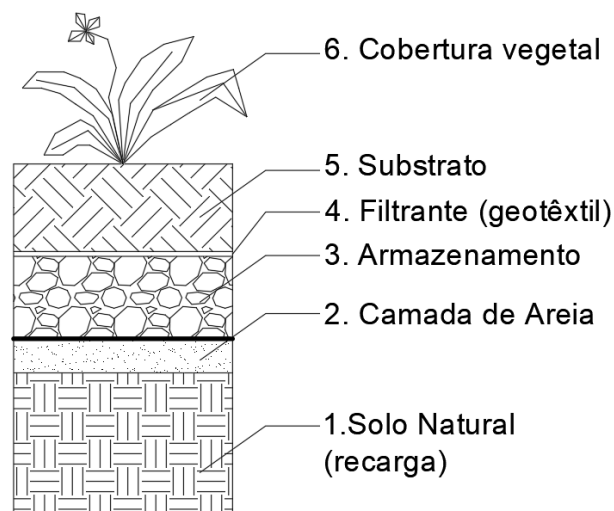
Figura 20 – Jardins de chuva em São Paulo/SP.



Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo (2023).

Segundo Dunnet e Clayden (2007) a estrutura de um sistema de biorretenção pode variar conforme sua localidade e objetivos, mas de modo geral é composto por seis camadas (Figura 21).

Figura 21 - Estrutura de um sistema de biorretenção convencional em camadas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A recarga é realizada pela camada mais inferior, essa podendo conter um dreno ou não, a água ali infiltrada é destinada a três fins: armazenamento, recarga subterrânea e sistema combinado. O dreno, quando presente nesta camada, geralmente é ligado a um sistema externo à estrutura, onde a água pode ser reutilizada ou enviada para o sistema de drenagem principal, estes auxiliam na proteção do sistema contra sobrecargas de armazenamento. Quando não ocorre a existência do dreno toda a água é infiltrada em camadas inferiores de modo a

reabastecer o aquífero. A segunda camada, de baixo para cima, é denominada drenante e é formada em sua maioria por areia. Logo acima existe a camada de armazenamento, formada por solos de maior granulometria como brita e cascalhos, onde a água é temporariamente abrigada antes de sua destinação final. A camada filtrante, localizada logo acima da camada de armazenamento, é constituída de uma geomembrana ou geotêxtil (*bidim*), destinada a retenção de finos carregados pela água. A camada de adubação ou substrato, quinta de baixo para cima, é onde se localiza o solo contendo os nutrientes necessários para o crescimento da vegetação, sendo esta cobertura vegetal a camada mais superficial do sistema.

2.6.1. Método de dimensionamento

Frequentemente, os jardins de chuva são dimensionados para pequenas áreas e seu cálculo pode ser realizado de várias maneiras. O mais usual é que seja adotado o critério mínimo de dimensionamento de 5% da área da superfície impermeável (MELO et al., 2014). Para o dimensionamento da estrutura do jardim, o item de maior importância é a profundidade da camada de armazenamento, representada pela altura de brita a ser adotada, que é determinada por uma sequência de etapas de cálculo, sendo estes: volume de entrada, volume de saída, altura da camada de brita e por fim adota-se as demais dimensões.

2.6.1.1. Volume de entrada

O volume de entrada é determinado a partir do Método Racional, sendo este método recomendável para bacias de pequenas áreas.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{C * i * A * 10^{-3}}{3600} \quad (3)$$

Onde:

- $Q_{m\acute{a}x}$ – vazão máxima, em m^3/s ;
- C – coeficiente de escoamento;
- i – intensidade de precipitação, em mm/h ;
- A – área da bacia, em m^2 .

O valor do coeficiente de escoamento superficial é baseado no tipo de superfície ou no tipo de ocupação, por exemplo, para vias pavimentadas com paralelepípedos recomenda-se valores entre 0,75 a 0,85. Por conseguinte, o cálculo do volume de entrada é obtido pelo produto da vazão pelo tempo, conforme a Equação 4.

$$Ve = Q * t \quad (4)$$

Onde:

- Ve – volume de entrada, em m^3 ;
- Q – vazão máxima, em m^3/s ;
- t – tempo de duração da chuva, em s.

É recomendado para sistemas sustentáveis de drenagem que sejam utilizados valores baixos para o tempo de retorno.

2.6.1.2. Volume de saída

O volume de saída corresponde a quantidade de água que sai do jardim de chuva. O volume total é resultado, então, do produto da lâmina d'água acumulada pela área de infiltração do sistema (Equação 5). Para o dimensionamento é usual que seja adotada a hipótese de cálculo que a infiltração ocorre somente na direção vertical, ou seja, pelo fundo do sistema, porém esta simplificação pode tender a superdimensionar o sistema, por isso deve ser avaliada com cuidado.

$$Vs = Ainf * Iac \quad (5)$$

Onde:

- Vs – volume de saída, em m^3 ;
- $Ainf$ – área de infiltração, em m^2 ;
- Iac – infiltração acumulada, em m.

2.6.1.3. Camada de armazenamento

A variação no armazenamento do sistema é expressa pela soma dos volumes armazenados na camada de brita e na camada de areia. Segundo a metodologia adotada por MELO et al. (2014), a camada de armazenamento é dimensionada de modo que a altura seja suficiente para armazenar temporariamente o volume de água infiltrada para o tempo de retorno e duração da precipitação. A altura dessa camada é determinada por intermédio da seguinte equação:

$$Hb = \frac{Ve - Vs - (ha * B * L * \eta a)}{B * L * \eta b} \quad (6)$$

Onde:

- Hb – altura da camada de armazenamento, em m;
- B – largura da base do jardim, em m;
- L – comprimento da base do jardim, em m;
- ha – altura da camada de areia, e m;
- ηa – porosidade da areia;
- ηb – porosidade da brita;

Segundo Melo (2011), a camada de areia assume valores recomendados entre 10 cm e 20 cm. Para a camada do substrato devem ser adotados valores que sejam suficientes para comportar as raízes da vegetação escolhida. É válido ressaltar que pode ser adotada uma camada de brita como margem de segurança equivalente à 5 cm de altura.

2.7. MODELAGEM HIDROLÓGICA

Compreender os processos hidrológicos que ocorrem de forma natural em uma bacia, embora um desafio devido a sua complexidade, é um dos objetivos fundamentais dos estudos ambientais tanto na gestão de recursos hídricos como na visão de projeto de obras hidráulicas para profissionais da engenharia. Todas as etapas do ciclo hidrológico e suas inter-relações são o grande alvo de interesse da hidrologia atual gerando uma gama de estudos e pesquisas na busca pela quantificação precisa e entendimento de tais processos. A modelagem matemática se mostra então como uma ferramenta preciosa para a obtenção do conhecimento aprofundado dos fenômenos naturais envolvidos em uma bacia hidrográfica (MORAES et al., 2003).

Tucci (2005) define um modelo como a representação simplificada, ou seja, de fácil compreensão de um sistema ou objeto real, de modo que seja possível compreendê-lo e buscar

por respostas. Já Nascimento (2020) define que a metodologia da modelagem é a representação fiel dos fenômenos físicos através de equações matemáticas, com procedimentos que incluem diversos parâmetros e variáveis.

Quanto maior a complexidade de um sistema, mais desafiadora é sua modelagem, ou seja, sua representação. Com isso é possível compreender que devido à complexidade dos fenômenos físicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica sua representação não seja tão simples, mas ao mesmo tempo necessária. Os modelos hidrológicos surgem então com uma solução para entender o funcionamento de uma bacia, de modo que seja possível antecipar eventos, representar o impacto da urbanização no uso e ocupação do solo em busca de medidas preventivas ou corretivas, análise do impacto de cheias em rios e ocorrência de eventos extremos mediante previsões estatísticas (TUCCI, 2005). Assim, os modelos hidrológicos são grandes aliados nos estudos de hidrológicos pois permitem a profissionais, como o engenheiro hidrólogo, compreender melhor os fenômenos hidrológicos e prever comportamentos de uma bacia sob diversas condições, sejam elas naturais ou antrópicas (LIMA, 2011).

Tucci (2005) apresenta diversos conceitos necessários para a correta compreensão de um processo de modelagem, de modo a proporcionar a geração de resultados precisos por parte de quem a executa:

- **Sistema:** qualquer estrutura, esquema ou procedimento real ou abstrato que será representado por dados de entrada e saída. Como por exemplo uma bacia hidrográfica, que é um sistema, possuindo dados de precipitação como entrada e dados de vazão com saída;
- **Fenômeno:** processo físico que gera alterações no sistema. Como por exemplo, precipitação, infiltração e evapotranspiração;
- **Variável:** Valor que descreve quantitativamente um fenômeno. As variáveis possuem variação no espaço e no tempo;
- **Parâmetro:** valor que caracteriza o sistema e possui variação no espaço e no tempo, como por exemplo a área de uma sub-bacia ou a rugosidade de uma seção de um rio;
- **Simulação:** É o processo de utilização do modelo onde são determinados os parâmetros, efetuadas as verificações da validade do modelo, ajustes realizados e a inserção dos dados de entrada do sistema para então serem obtidos os dados de saída.

Dentre os modelos mais utilizados para análise do comportamento de bacias hidrográficas existem os chamados modelos chuva-vazão, que descrevem a partir da distribuição espacial da precipitação as perdas por evapotranspiração, interceptação, depressão no solo, o fluxo de água no solo através da infiltração e o escoamento superficial. Através destes modelos é possível estimar vazões para diversos cenários distintos existentes ou futuros em bacias. Assim o principal dado de entrada dos modelos chuva-vazão é a precipitação (COLLODEL, 2009).

2.7.1. Classificação dos modelos hidrológicos

Acerca da discretização da bacia hidrográfica a ser modelada são utilizados critérios de subdivisão espacial com o objetivo de acelerar o processo e/ou aumentar a precisão dos resultados, como por exemplo a utilização de um *modelo concentrado*, onde uma bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço, ou por um *modelo por sub-bacias* onde a bacia é representada por diversas sub-bacias, conforme suas características de drenagem, possuindo dados de entrada distintos no espaço, reconhecendo assim a distribuição espacial das variáveis e dos parâmetros (TUCCI, 2005).

Quanto a sua conceitualização, os modelos hidrológicos podem ser classificados em: empíricos, conceituais e físico-distribuídos. Os *modelos empíricos* se utilizam equações sem relação com os processos físicos de uma bacia hidrográfica, sendo utilizados para relacionar a precipitação com a vazão através de análises estatísticas. Já os *modelos conceituais* quando usam a equação da continuidade associada a equações empíricas que relacionam variáveis e parâmetros dos processos. Por fim, os *modelos físico-distribuídos* são os que se utilizam das equações da continuidade e dinâmica dos processos físicos que ocorrem em uma bacia, de modo a integrá-los. Tais modelos possuem a capacidade de representação da variação espacial dos parâmetros e características da bacia (MARINHO FILHO et al., 2012).

2.7.2. Histórico da modelagem hidrológica

Inicialmente os primeiros modelos desenvolvidos tinham como objetivo a representação isolada de processos do ciclo hidrológico como o modelo de Horton (1933) para infiltração de água no solo. Assim, os modelos eram utilizados para se obter a solução de um

problema específico. Apenas na década de 1950, devido ao aumento da utilização do computador, surgiram os primeiros modelos hidrológicos que consideravam vários processos para transformação chuva-vazão, como os modelos SSARR (TUCCI, 2005).

Com o aumento da disponibilidade de dados hidrometeorológicos e o maior uso dos computadores as décadas de 1960 e 1970 foram marcadas por amplos avanços na modelagem hidrológica, com o uso da abordagem espacial distribuída, como o modelo Stanford IV e o modelo HEC-01. Os modelos eram cada vez mais utilizados para analisar o comportamento dos processos existentes nas bacias, estender séries de vazões e dimensionamento de obras hidráulicas (MARINHO FILHO et al., 2012; TUCCI, 2005).

Nas décadas de 1980 e 1990 o avanço dos modelos hidrológicos distribuídos para bacias hidrográficas sofreu um grande aumento com o uso do geoprocessamento que permitiu a identificação espacial dos parâmetros e atributos físicos das bacias e significativa redução das incertezas nos resultados que se utilizavam de variáveis mais sensíveis (TUCCI, 2005). Já nas últimas décadas, os modelos hidrológicos foram se desenvolvendo cada vez mais em busca de maior precisão na representação dos processos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, de modo que seja possível prever eventos futuros potencialmente danosos a sociedade e auxiliar nos processos de planejamento e tomada de decisão nas políticas públicas relacionadas ao uso e ocupação do solo e gestão das águas pluviais nas cidades (ALMEIDA; SERRA, 2017).

No presente, acompanhando o avanço da Inteligência Artificial – IA, a modelagem hidrológica tende a avançar ainda mais. Atualmente já são aplicadas diversas técnicas de IA na estimativa de mudanças de vazão em rios, previsão de secas e cheias e análise de séries temporais de precipitação. A utilização de inteligência artificial na modelagem hidrológica tem sido vista por alguns como a solução para a análise de ambientes complexos e bacias onde há escassez de dados (RAFAEL-MIÑOPE et al., 2022).

2.7.3. Softwares de modelagem hidrológica

Atualmente existe uma infinidade de softwares para modelagem hidrológica à disposição dos profissionais da hidrologia e hidráulica, cada um com suas especificidades e aplicabilidades, diferindo em relação à quantidade de parâmetros de entrada, conceitos adotados, metodologia de cálculo e simplificações utilizadas, cabendo ao profissional optar por aquele que mais se adequa ao problema que deseja solucionar (NASCIMENTO, 2020; COLLODEL, 2009; TUCCI, 2005). A escolha do modelo depende de qual objetivo se deseja

alcançar com a modelagem, do tipo de uso e ocupação do solo, da variabilidade e quantidade dos dados e da expertise do usuário (DO NASCIMENTO, 2020). Viessman e Lewis (2002 apud COLLODEL, 2009) apresentam uma série de modelos hidrológicos aplicáveis a sistemas de drenagem urbana, podendo ser citado o *Modelling of Urban Sewer – MOUSE, Chicago Hydrograph Method – CHM, Illinois Urban Drainage Area Simulator – ILLUDAS, SCS Technical Release 55 – TR-55, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH-2* e o *Storm Water Management Model – SWMM*.

O *Modelling of Urban Sewer – MOUSE*, desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica da Dinamarca – DHI no ano de 1985, é um dos modelos que se destacam na área de drenagem urbana simulando variações espaciais do escoamento, transporte de sedimentos e poluentes em cursos d'água e canais além da análise de locais de inundações. Já o *Illinois Urban Drainage Area Simulator – ILLUDAS*, desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisas de Estradas de Illinois em 1972, é utilizado na produção de hidrogramas e dimensionamento de galerias de águas pluviais. No Brasil, o modelo mais conhecido é o IPHS1 desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Este modelo considera diversas fases do ciclo hidrológico como as perdas por evaporação e interceptação, separação de escoamentos e propagação do escoamento superficial (COLLODEL, 2009).

Dentre esses aquele que apresenta maior abrangência, seja em aplicação ou quantidade de funcionalidades, é o SWMM que possui a capacidade de simulação de eventos chuvosos ao longo de intervalos de tempo estabelecidos. Possuindo a capacidade de simulação de múltiplas sub-bacias, ou seja, podendo ser usado como um modelo por sub-bacias, podendo ter como entrada diversos hietogramas, evaporação e degelo, múltiplas seções transversais, dentre outros (MACHADO, 1981; VIESSMAN & LEWIS, 2002 apud COLLODEL, 2009).

2.8. STORM WATER MANAGEMENT MODEL - SWMM

O Modelo de Gestão de Drenagem Urbana (*Storm Water Management Model – SWMM*), desenvolvido no ano 1971 pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U.S. Enviromental Protection Agency – EPA*), é um dos modelos hidrológicos dinâmicos para transformação chuva-vazão mais utilizados no mundo devido a sua gama de funcionalidades e qualidade dos resultados apresentados nas análises, projetos e planejamento. Através da inserção de dados de entrada de sub-bacias hidrográficas, o SWMM é capaz de simular hidrogramas resultantes mediante eventos de precipitação. Este software é capaz de simular o

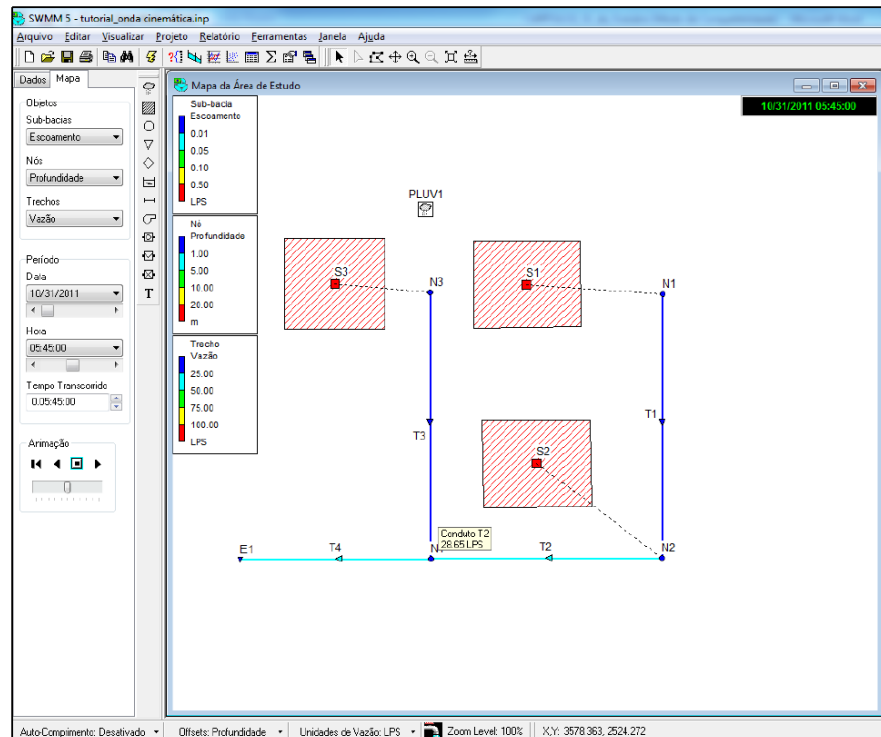
percurso do fluxo de água ao longo dos componentes do sistema de drenagem urbana como tubulações, canais, dispositivos de armazenamento, tratamento e sistemas de bombeamento. Dito isso, o SWMM possui a capacidade de simular tanto a quantidade como a qualidade da água que escoar pelo sistema ao longo de múltiplos intervalos de tempo (ROSSMAN, HUBER, 2015).

O Manual de usuário do SWMM (2022) apresenta diversas aplicações do software como a concepção e dimensionamento de componentes de rede de drenagem para controle de inundações, o dimensionamento de estruturas de retenção de fluxo e acessórios para controle de inundações e proteção de qualidade das águas, delimitação de zonas de inundação em leitos naturais de cursos d'água e geração de poluição difusa para estudo de lançamento de efluentes (COLLODEL, 2009). Desde sua primeira versão o programa tem sofrido diversas atualizações, melhorando cada vez mais seu desempenho e aplicabilidade na simulação de comportamento hidrológico, hidráulico, qualidade de água e visualização dos resultados das modelagens em diversos formatos (ROSSMAN; HUBER, 2015)

Conforme exemplifica Collodel (2009) o SWMM (Figura 22) tem sido amplamente utilizado em projetos de drenagem, levantamentos hidrológicos e pesquisas acadêmicas ao longo dos anos, com um aumento significativo de sua utilização no Brasil. Tal uso é justificado, além de sua gratuidade, por sua alta capacidade de modelagem que considera distintos processos hidrológicos nas áreas urbanas, sendo alguns destes:

- Precipitações variáveis no tempo;
- Evaporação do volume de água empoçada nas depressões do terreno;
- Acumulação e degelo da neve;
- Interceptação por armazenamento em depressões;
- Infiltração em camadas de solo não-saturadas;
- Percolação da água infiltrada em aquíferos;
- Modelagem do fluxo de água superficial em reservatórios não-lineares;
- Modelagem de captação e retenção de água em dispositivos de baixo-impacto (LIDs).

Figura 22 – Interface de usuário do SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman e Simon (2022).

Além disso o programa possui uma grande gama de ferramentas de modelagem hidráulica, úteis para a condução do escoamento superficial através da rede projetada. Com o uso dessas ferramentas é possível, dentre outras opções, manipular redes de tamanho ilimitado, utilizar uma ampla variedade de geometrias para tubulações e canais artificiais e naturais, utilizar métodos de cálculo distintos como o método da onda cinemática e o método da onda dinâmica para propagação de escoamentos em canais e galerias de águas pluviais (ROSSMAN; HUBER, 2015). Ao longo dos anos uma gama de estudos e pesquisas tem sido realizadas com o SWMM comprovando cada vez mais suas aplicabilidades e a capacidade do modelo em gerar resultados cada vez mais precisos, conforme o próprio software avança em suas atualizações e melhorias.

A análise dos processos hidrológicos envolvidos na conversão da chuva-vazão durante a modelagem no SWMM é feita a partir da discretização da área a ser modelada em diversas sub-bacias que estão ligadas a dados de precipitação inseridos em um determinado pluviômetro e através disso é gerado o escoamento que é direcionado para um nó associado a sub-bacia e posteriormente a um sistema de drenagem ou para outra sub-bacia seguintes que recebem a contribuição da sub-bacia a montante. Quanto aos LIDs, é possível associar um sistema para

cada sub-bacia (célula de biorretenção, telhado verde, pavimento permeável, barril de chuva) e com isso reduzir volume de escoamento superficial na sub-bacia (ROSSMAN; HUBER, 2015).

2.8.1. Precipitação

A precipitação é o principal dado de simulação no SWMM, é através dela que é feita a transformação chuva-vazão e conseqüentemente a quantificação do escoamento superficial nas sub-bacias associadas. No SWMM, o objeto *Rain Gage* (posto pluviométrico) é usado para representar uma fonte de dados de precipitação. Qualquer número de *Rain Gages* pode ser usado, se os dados permitirem, para representar a variabilidade espacial nos padrões de precipitação. Os dados de precipitação de um *Rain Gage* específico podem ser fornecidos como uma série temporal definida pelo usuário ou por meio de um arquivo de dados externo (ROSSMAN; HUBER, 2015).

Como o SWMM é um modelo dinâmico, os intervalos de tempo do evento de precipitação podem ser inseridos são da ordem de minutos, conforme o usuário desejar. O SWMM considera que o valor da precipitação associado a cada intervalo de tempo foi medido no início do intervalo correspondente, sendo a duração máxima de um evento de precipitação inserido no software limitado a 24 horas, sendo recomendada pelo manual uma discretização de até uma hora de intervalo de tempo entre os dados inseridos. O manual do SWMM recomenda que sejam utilizados dados de intervalo de tempo tão curtos quanto possível (OLIVEIRA, 2024).

2.8.2. Escoamento superficial

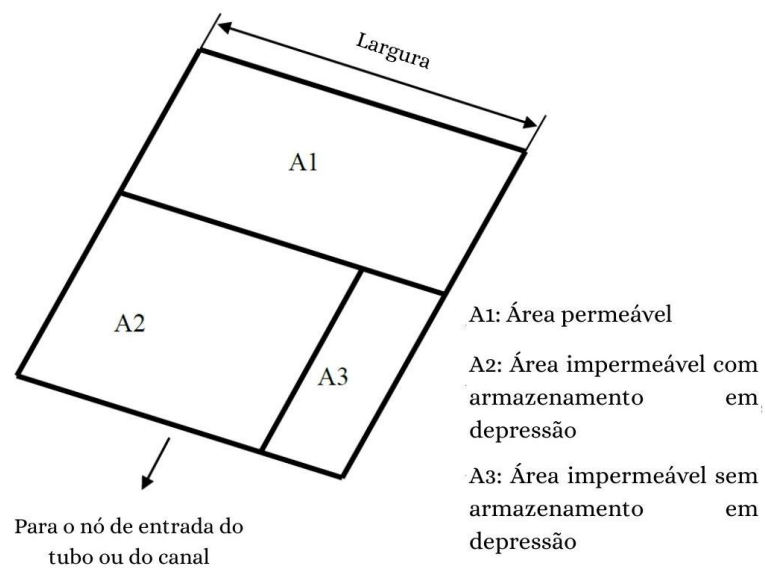
O SWMM permite que uma área de estudo seja subdividida em qualquer número de áreas de sub-bacias de forma irregular para melhor capturar o efeito que a variabilidade espacial na topografia, nas vias de drenagem, na cobertura da terra e nas características do solo tem sobre a geração do escoamento superficial. A geração de escoamento superficial é, portanto, computada em uma base de sub-bacia por sub-bacia.

O método usado para a geração do escoamento superficial é o reservatório não linear. Ele é aplicado com base em uma área de sub-bacia retangular idealizada com propriedades uniformes. O software utiliza uma metodologia de divisão de sub-bacias em áreas: permeáveis,

impermeáveis com armazenamento nas depressões e impermeáveis sem armazenamento nas depressões.

Nas áreas impermeáveis é considerado que não há infiltração, portanto, toda a precipitação de torna escoamento superficial, porém, é possível simular a existência de depressões na superfície que possibilitam o armazenamento de parte do escoamento. Dessa forma só há geração de escoamento na parcela impermeável da sub-bacia para valores de precipitação superior à lâmina disponível para armazenamento. Já na parcela permeável, também é possível indicar a existência de armazenamento nas depressões, porém não é possível subdividir esta área em parcelas com e sem armazenamento. Portanto, o SWMM permite que cada sub-bacia tenha uma sub-área permeável e outra impermeável sobre a qual as equações são resolvidas (Figura 23).

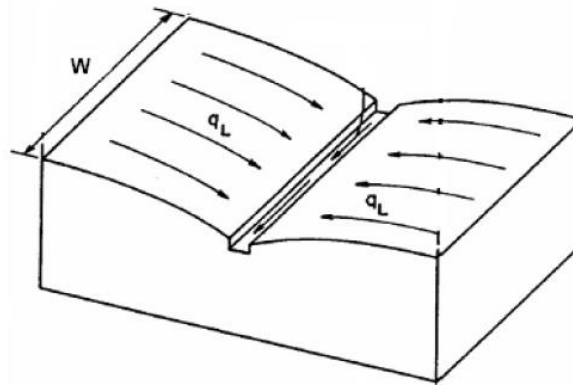
Figura 23 – Subdivisão das áreas da bacia no SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman e Huber (2015).

O SWMM usa um modelo de reservatório não linear para estimar o escoamento superficial produzido pela chuva em uma sub-bacia através da conceituação de uma sub-bacia como uma superfície retangular que tem uma inclinação uniforme S e uma largura W que drena para um único canal de saída (Figura 24). O escoamento superficial é gerado pela modelagem da sub-bacia como um reservatório não linear (ROSSMAN; HUBER, 2015).

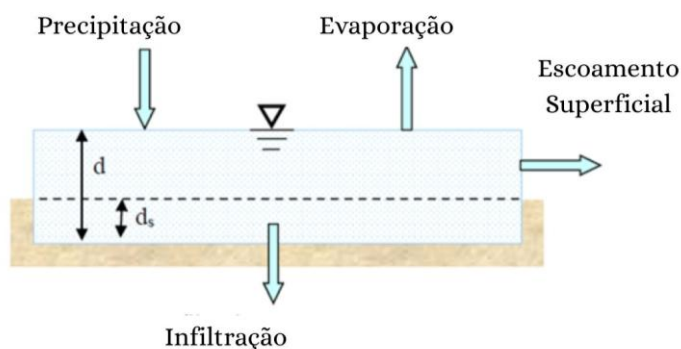
Figura 24 – Modelo conceitual de bacia utilizado pelo SWMM



Fonte: Rossman e Huber (2015).

Nessa representação, a sub-bacia recebe o volume resultante da precipitação e perdas por evaporação e infiltração. O excesso líquido se acumula sobre a superfície da sub-bacia até uma profundidade d . A água acumulada acima da profundidade de armazenamento de depressão d_s pode se tornar vazão de escoamento q (Figura 25). O armazenamento de depressão leva em conta as abstrações iniciais da precipitação, como o armazenamento na superfície, a interceptação por telhados planos e vegetação e o umedecimento da superfície (ROSSMAN; HUBER, 2015).

Figura 25 – Representação de uma sub-bacia no SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman e Huber (2015).

O modelo trabalha com a consideração de que o fluxo através da superfície da sub-bacia se comporte como se fosse um fluxo uniforme dentro de um canal retangular de largura W , considerada grande em relação à profundidade de escoamento, altura $d-d_s$ e inclinação S . Desse modo a equação de Manning pode ser usada para expressar a taxa de fluxo volumétrico do escoamento Q , resultando na Equação 12.

$$Q = \frac{1,49}{n} WS^{\frac{1}{2}}(d - d_s)^{\frac{5}{3}} \quad (12)$$

Após os refinamentos da Equação 12 para o escoamento da sub-bacia, esta é resolvida individualmente para cada subárea. Ao final de cada passo de tempo, os fluxos de escoamento superficial para cada subárea são combinados para determinar o fluxo total de escoamento de toda a sub-bacia que é direcionado para o nó ou para o canal. Algumas considerações são feitas para a resolução de cada sub-bacia individualmente pelo SWMM (ROSSMAN; HUBER, 2015):

- A mesma taxa de precipitação e evaporação se aplica a cada subárea;
- A taxa de infiltração é sempre zero para as subáreas impermeáveis;
- Valores diferentes de armazenamento de depressão podem ser atribuídos à área permeável e à área impermeável, onde, por definição, d_s é zero para a área impermeável sem armazenamento de depressão.
- Valores diferentes da rugosidade de Manning podem ser usados para as áreas permeáveis e impermeáveis.
- Os mesmos valores de W e S se aplicam a todas as subáreas.

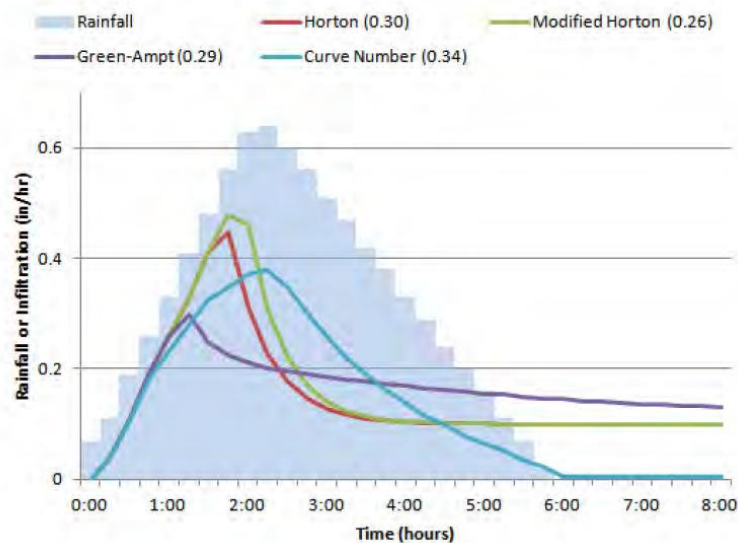
2.8.3. Infiltração

Ao longo das décadas foram desenvolvidos diversos modelos para representação do processo de infiltração da água no solo, estes que dependem das características do solo e do volume de água previamente infiltrada durante o curso de um evento de precipitação. Visto que não há consenso entre qual o melhor modelo de infiltração o SWMM permite que o usuário opte entre quatro dos métodos mais usados: o método de Horton e um método de Horton modificado, o método Green-Ampt e o método da Curva-Número (método SCS). Independentemente do método de infiltração adotado, os parâmetros que definem o método são altamente dependentes do tipo e da condição do solo que está sendo infiltrado.

O Serviço de Conservação de Recursos Naturais – NRSC classificou a maioria dos solos em quatro grupos hidrológicos de solos, sendo estes denominados: A, B, C e D, dependendo de suas capacidades de infiltração. Os solos arenosos e considerados bem drenados são classificados no grupo A; os solos argilosos e mal drenados são classificados no grupo D, ou seja, a taxa de infiltração dos solos reduz de A para D (ROSSMAN; HUBER, 2015).

Mediante um estudo comparativo apresentado por Rossman e Huber (2015) é possível observar que ao modelar a infiltração de uma sub-bacia relativamente plana no SWMM, com solo caracterizado no grupo B. As curvas contendo os valores de escoamento superficial gerados para cada um dos métodos de infiltração, para uma mesma precipitação, se encontram apresentados na Figura 26.

Figura 26 – Comparativo entre os métodos de infiltração aceitos pelo SWMM.



Fonte: Rossman e Huber (2015).

Para esse teste os parâmetros de infiltração foram escolhidos para que cada método produzisse aproximadamente a mesma quantidade de escoamento superficial para a precipitação de projeto e, ainda assim, estivesse dentro das faixas normais apresentadas no manual do SWMM. Embora quantidades semelhantes de escoamento superficial sejam produzidas, os métodos apresentam padrões de infiltração nitidamente diferentes ao longo do tempo. Esses padrões são influenciados não apenas pelos parâmetros escolhidos para cada método, mas também pelo padrão temporal da intensidade da chuva que ocorre durante um evento (ROSSMAN; HUBER, 2015).

2.8.4. Sistemas LID

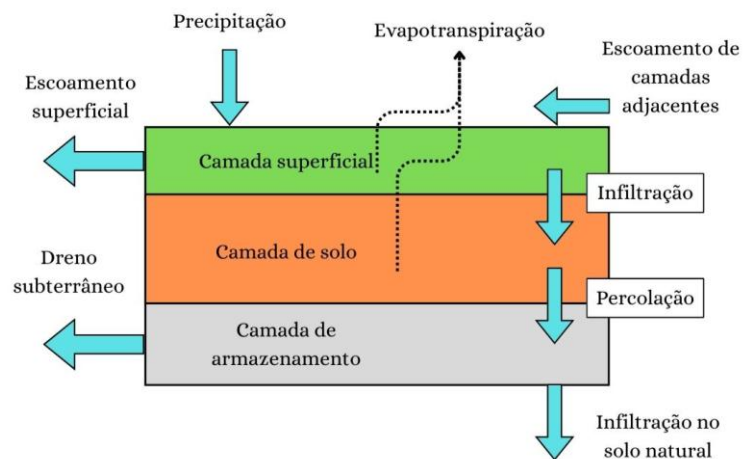
No SWMM é possível modelar uma série de sistemas LID, sendo estes: células de biorretenção, jardins de chuva, telhados verdes, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, blocos de pavimentos intertravados, barris de chuva ou microrreservatórios,

desconexão de telhados e valas vegetadas. Visto que neste trabalho foram modelados apenas pavimentos permeáveis e jardim de chuva, serão descritas apenas os processos envolvidos na modelagem destes pelo SWMM.

2.8.4.1. Jardim de chuva (célula de biorretenção)

Conceitualmente, uma célula de biorretenção no SWMM pode ser representada por uma série de camadas horizontais que recebem e perdem volume de água devido aos processos de escoamento superficial, precipitação e infiltração, conforme mostrado na Figura 27.

Figura 27 - Representação de célula de biorretenção no SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman e Huber (2015).

A camada superficial recebe tanto a chuva direta quanto o escoamento superficial capturado de outras áreas. Ela perde um volume de água por meio da infiltração na camada de solo abaixo dela, pela evapotranspiração da água acumulada e por qualquer escoamento superficial que possa ocorrer na camada. A camada de solo, abaixo da camada superior, contém uma mistura de solo projetada que deve suportar o crescimento da vegetação. Ela recebe a infiltração da camada superficial e perde água por evapotranspiração e por percolação na camada de armazenamento abaixo dela. A camada de armazenamento, a mais profunda das três, é composta por brita, seixo ou outro material granular. Ela recebe a percolação da zona de solo acima dela e perde água por infiltração para o solo natural subjacente e por escoamento por meio de um sistema de drenagem inferior de tubo perfurado, caso haja (ROSSMAN; HUBER, 2016).

Conforme Rossman e Huber (2015), para a modelagem do desempenho hidrológico desse tipo de sistema de controle LID no SWMM, são feitas as seguintes suposições de modo a auxiliar na complexidade dos cálculos:

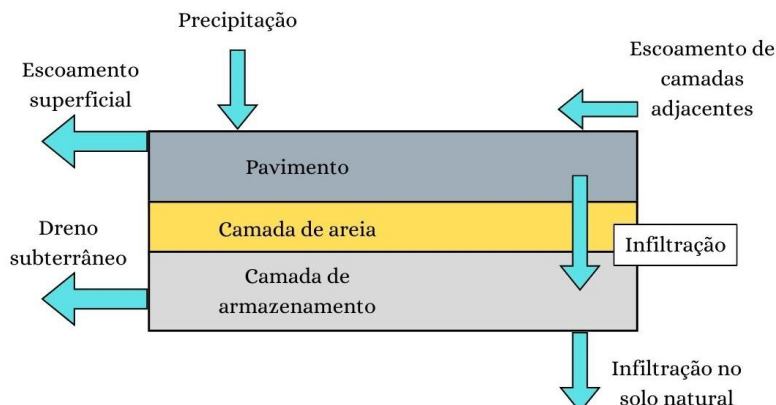
- A área da seção transversal da unidade permanece constante em toda a sua profundidade;
- O fluxo através da unidade é unidimensional na direção vertical;
- O influxo para a unidade é distribuído uniformemente sobre a superfície superior;
- O teor de umidade é uniformemente distribuído por toda a camada do solo;
- As forças matriciais dentro da camada de armazenamento são insignificantes, de modo que ela atua como um simples reservatório que armazena água de baixo para cima.

Sob essas premissas, a unidade LID pode ser modelada resolvendo-se um conjunto de equações simples de continuidade de fluxo. Cada equação descreve a mudança no conteúdo de água em uma determinada camada ao longo do tempo como a diferença entre as taxas de fluxo de água de entrada e saída que a camada vê, expressa como volume por unidade de área por unidade de tempo.

2.8.4.2. Pavimento permeável

O SWMM trata o sistema LID de pavimento permeável consistindo em uma camada superior de concreto ou asfalto permeável, uma camada de assentamento composta com filtro de areia opcional e uma camada de armazenamento composta por brita ou seixo na parte inferior, que pode conter um sistema contendo dreno subterrâneo (Figura 28). A camada superficial recebe a contribuição da precipitação e escoamento superficial de camadas adjacentes, as camadas de assentamento e armazenamento recebem a água percolada das camadas superiores e perdem água por infiltração para a camada mais inferior, sendo a camada de armazenamento perdendo água para o solo natural subjacente (ROSSMAN; HUBER, 2016).

Figura 28 - Representação de pavimento permeável no SWMM



Fonte: Adaptado de Rossman e Huber (2015).

No SWMM a camada de pavimento é parametrizada por sua espessura (D_4), porosidade (ϕ_4) e permeabilidade K_4 . Um sistema de pavimentação de blocos intertravados teria o mesmo funcionamento do proposto na Figura 30, mas com um parâmetro adicional (F_4) que representa a fração da área de superfície ocupada pelos blocos de pavimentação impermeáveis e em que a porosidade e a permeabilidade se referem ao material utilizado para preencher as juntas entre os blocos. Para sistemas contínuos, F_4 assume o valor de zero.

2.8.5. Discretização dos parâmetros de entrada no SWMM

Para a modelagem das sub-bacias presentes na rede de microdrenagem no SWMM são necessários diversos parâmetros de entrada que devem ser inseridos individualmente para cada uma das sub-bacias traçadas, sendo estes:

- Posto de precipitação (Prec): Inserção de dados de chuva de projeto através de série temporal;
- Área (A) da sub-bacia em hectares;
- Largura do Escoamento na Superfície da Sub-bacia (W), o valor desta largura pode ser calculado utilizando diversas fórmulas empíricas, sendo as mais utilizadas as Equações 13 e 14.

$$W = \frac{K_c \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left(1 - \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right) \right) \quad (13)$$

$$K_c = 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (14)$$

- Declividade (Decl.) da sub-bacia em porcentagem;
- Percentual de Área Impermeável da sub-bacia (% Imperv);
- Coeficiente de Rugosidade de Manning das Áreas Permeável (N-Perv) e impermeável (N-Imperv);
- Armazenamento nas Depressões das Áreas Permeável (D-Perv) e impermeável (D-Imperv): volume de armazenamento nas depressões existentes nas áreas permeável e impermeável em milímetros;
- Sistema LID (LID) inserido na sub-bacia;
- Largura do Escoamento na Superfície do Controle LID (W-LID);
- Percentual de Área Permeável (% Perm-LID) e Impermeável Tratado pelo Controle LID (% Imp-LID).
- Nós (PV): Inserção manual de nós representando Poços de visita do sistema de microdrenagem, contendo cota de tampa e cota de fundo e indicando de qual sub-bacia recebe contribuição;
- Link (TUBO): Linha representando os tubos com dados de diâmetro, material, cotas a montante e jusante;

Já os LIDs possuem parâmetros específicos de entrada, sendo estes:

- Altura do aterro/berma, em mm: Desnível do LID em relação a via. Este espaço é utilizado pelo SWMM como área de armazenamento e detenção de escoamento.
- Fração do volume da vegetação, em %: Porcentagem da camada superficial ocupada por vegetação.
- Rugosidade da superfície/Número de Manning: Coeficiente de Manning adimensional que relaciona a rugosidade do material, viscosidade e velocidade do escoamento;
- Inclinação da superfície, em %: Inclinação da superfície em contato com o escoamento superficial;

- Espessura das camadas, em mm: Espessura das camadas de solo, brita, areia, e quantas outras existirem;
- Porosidade das camadas, em %: Taxa de porosidade das camadas do LID, obtida mediante ensaios de campo/laboratório.
- Condutividade, em mm/h: Condutividade das camadas do LID, obtida mediante ensaios de campo/laboratório.
- Índice de vazios: índice de vazios adimensional das camadas do LID, obtido mediante ensaios de campo/laboratório.
- Taxa de infiltração, em mm/h: Taxa de infiltração da água nas camadas do LID, obtida mediante ensaios de campo/laboratório.

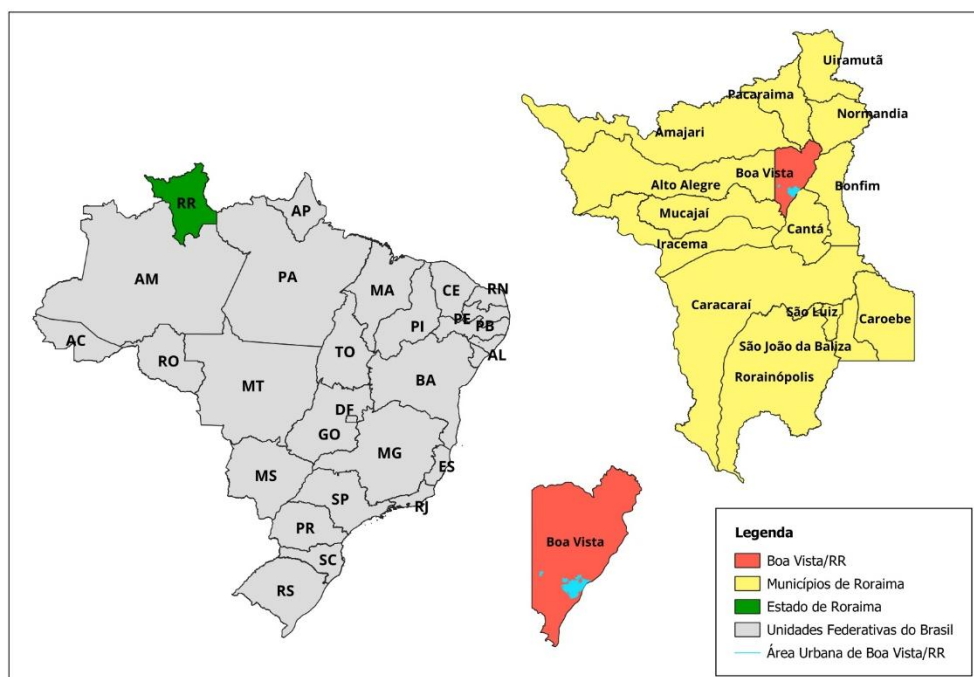
3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a presente pesquisa será efetuado o projeto de um sistema de drenagem urbana com técnicas compensatórias de drenagem (LIDs) através do método apresentado na literatura e posteriormente será feita a modelagem hidrológica do sistema com auxílio do software SWMM, para efeito de comparação e verificação dos resultados.

3.1. LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA

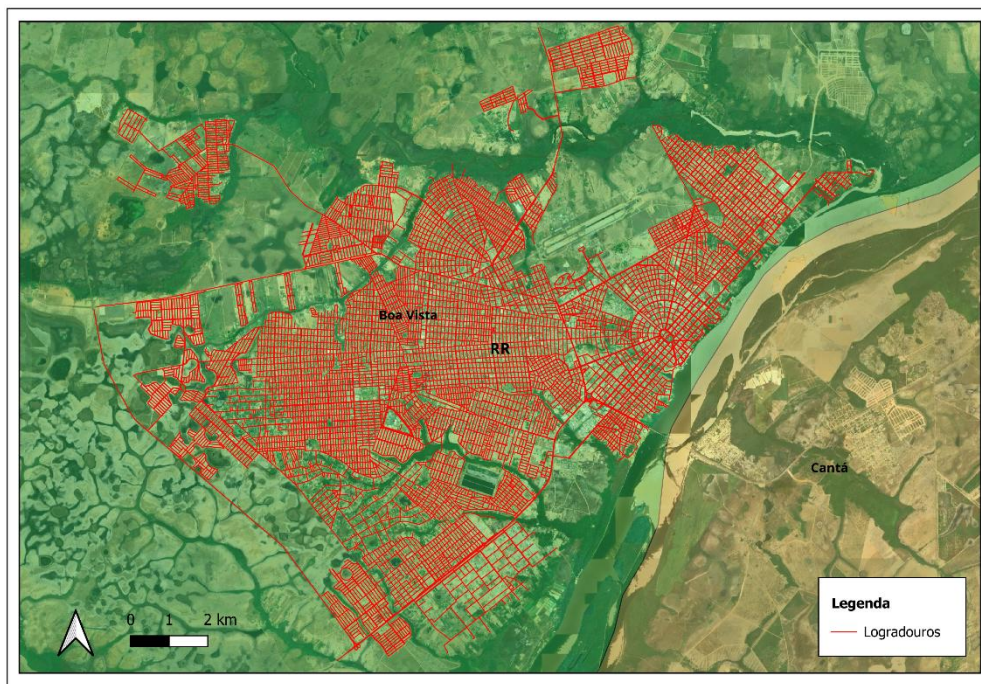
A pesquisa foi realizada na cidade de Boa Vista, capital de Roraima (Figura 29 e Figura 30), localizada no extremo Norte do Brasil. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023), o estado abriga uma população de 634.805 habitantes, abrigando cerca de 413.486 habitantes na capital que é o maior centro urbano do estado. Ao longo dos últimos 20 anos a população total de Boa Vista teve seu número dobrado se comparado com o ano de 2000, quando a cidade possuía uma população de cerca de 197.098 habitantes, demonstrando assim uma alta taxa de crescimento demográfico (IBGE, 2000).

Figura 29 – Mapa de localização da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 30 – Mapa da área urbana de Boa Vista/RR



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No ano de 2016 a cidade contava com quatro zonas urbanas, sendo estas: zona norte, zona sul, zona leste e zona oeste, além de possuir 56 bairros registrados, dos quais 75% dos habitantes se encontrava nos bairros da zona oeste (SANTIAGO, 2016). A capital possui a característica de ser uma das poucas cidades planejadas do Brasil, entretanto ainda é sujeita as consequências das ocupações desordenadas, bem como de uma expansão urbanística sobre áreas impróprias, de forma que a população está sujeita a problemáticas como inundações e alagamentos (JÚNIOR; JÚNIOR, 2023).

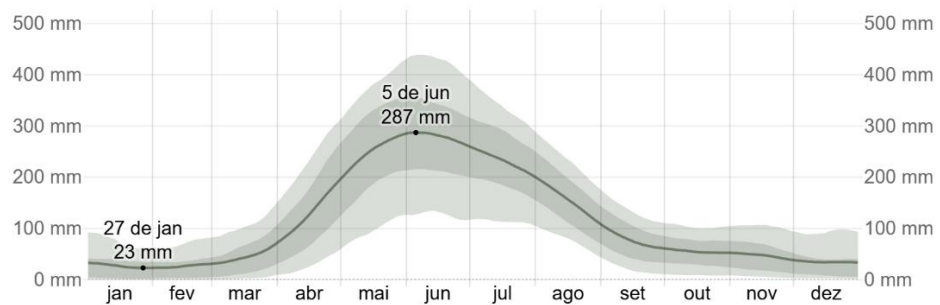
3.1.1. Aspectos Gerais

Embora Roraima possua um relevo bastante variado, de forma abrangente o relevo presente é de predominância plana. Em termos hidrográficos o estado está localizado na bacia amazônica e sua capital possui uma extensa e complexa rede de cursos d'água, tendo o rio Branco como principal da localidade. Caracterizada por variações dos climas equatorial e tropical a capital possui duas estações bem definidas, sendo uma seca e outra chuvosa.

De acordo com Júnior e Júnior (2023) a idade possui cerca de 15 bacias hidrográficas urbanizadas e/ou em processo de urbanização, consequência da acelerada expansão urbana que ocorre desde o ano de 1988, com a criação do Estado de Roraima.

Segundo dados do *Weather Spark* (s.d.) o período chuvoso na capital tem uma duração de 4,5 meses apenas, com 7,5 meses de estação seca, porém a capital conta com um alto índice pluviométrico, cerca de 1.783 mm/ano, tendo periodicamente a ocorrência de chuvas de curta duração e alta intensidade, mesmo no período seco. O mês mais chuvoso em Boa Vista é junho, com média de 282 milímetros, enquanto fevereiro é o mês com menor quantidade de chuva, com uma média de 26 milímetros (Figura 31).

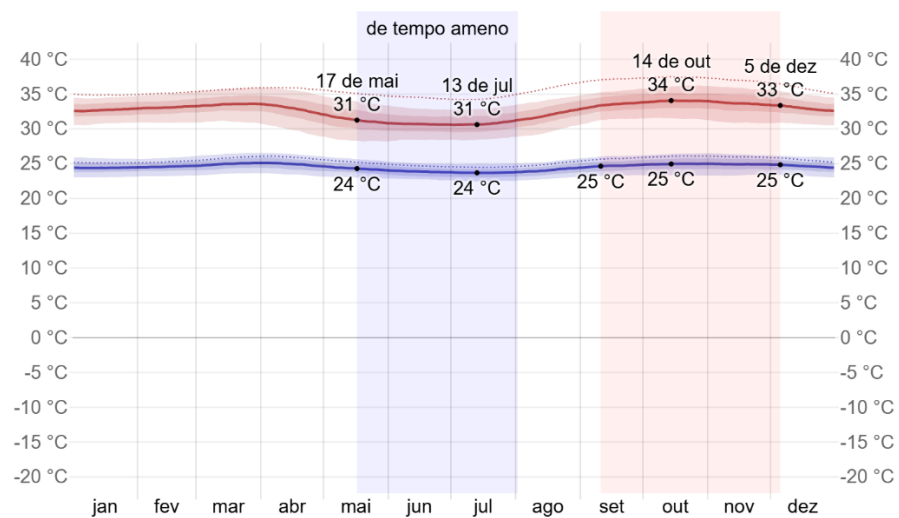
Figura 31 – Chuva mensal média em Boa Vista-RR



Fonte: Weather Spark (2025).

Já as temperaturas em Boa Vista podem chegar em média a 34°C em outubro, considerado o mês mais quente, e cair até em média 24°C em julho, o mês mais frio do ano (Figura 32).

Figura 32 – Temperaturas máximas e mínimas médias em Boa Vista-RR



Fonte: Weather Spark (2025).

As chuvas convectivas presentes na capital geram diversas consequências, sendo a principal o alagamento de ruas e avenidas da área urbana do município. O regime hidroclimático é fator preponderante a ser considerado no processo de uso e ocupação da cidade de Boa Vista, devido ao período distinto de altas pluviosidades do restante da Amazônia e do Brasil. Sem um planejamento urbano adaptado às condições climáticas da região, somado à impermeabilização, desmatamento, retificação de canais, dentre outros, a população se torna exposta a riscos de inundação e alagamentos constantes.

É válido citar que, devido a sua localização no hemisfério norte do planeta, o regime climático da capital de Roraima difere do restante da Amazônia, pois quando no Sul a pluviosidade é baixa, parte significativa do Estado encontra-se em período chuvoso.

Em áreas com baixos relevos, caso este da Região Amazônica, torna problemas como enxurradas e deslizamentos de encostas não tão frequentes como em outras regiões do país. Todavia, a baixa topografia da região de Roraima faz com que a água precipitada tenha um tempo de escoamento maior, potencializando alagamentos. Eventos como este dificultam a locomoção nas vias, danificam imóveis, podendo ser ainda vetor de doenças de veiculação hídrica (JÚNOR; JÚNIOR, 2023).

3.2. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA

Para o projeto foi escolhida a área correspondente ao loteamento Caburá 4, localizado na região oeste da capital de Boa Vista-RR, conforme destacado em vermelho na Figura 27. A área corresponde a um espaço em expansão da cidade, não sendo ainda habitada, estando o local em processo de venda de terrenos. A localidade possui cerca de 1.200 lotes de terra e cerca de 302.791,16 m² de área total, aproximadamente 30,28 ha (Figura 33 a Figura 35).

Figura 35 – Planta do loteamento localizada sobre imagem de satélite do Google.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A região prevista para o loteamento é uma região predominantemente lacustre, cercada por um curso d'água intermitente que abastece dois lagos sazonais, um no centro do loteamento e outro ao lado da área do loteamento (Figuras 36 e 37), caracterizados como Área de Proteção Permanente – APP.

Figura 36 – Lago sazonal no centro do loteamento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 37 -Lago sazonal ao lado do loteamento.

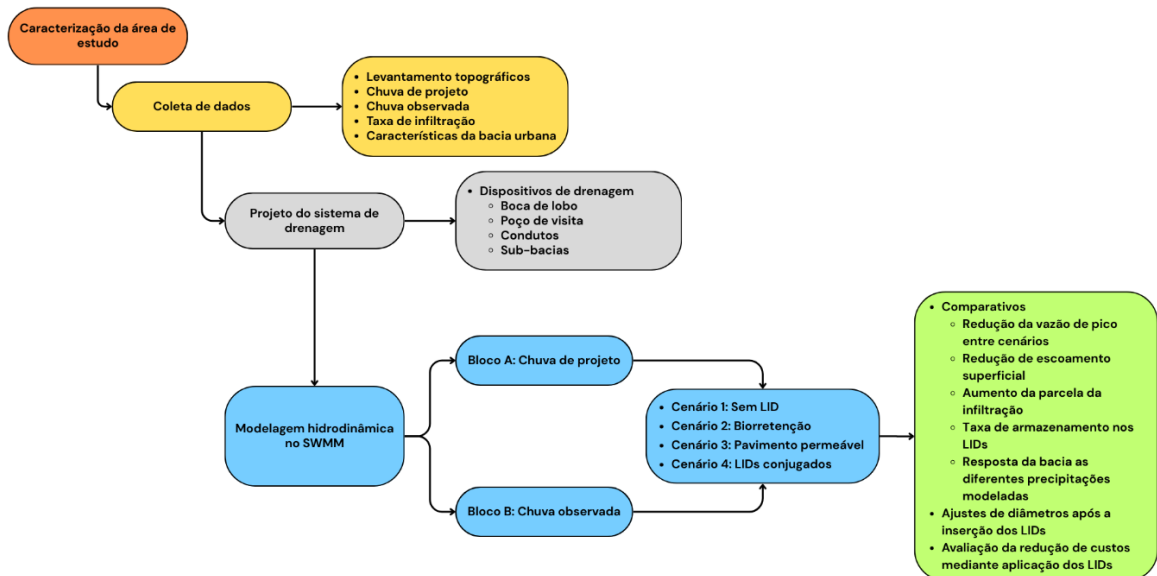


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.3. DIAGRAMA DAS ETAPAS DE PESQUISA

A pesquisa foi realizada através das etapas apresentadas no fluxograma da Figura 38.

Figura 38 – Fluxograma das etapas de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.4. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O levantamento topográfico da área de estudo consistiu na primeira etapa de campo, logo após a delimitação da área de pesquisa, onde foi feita a coleta de dados sobre a elevação do solo e outros pontos de interesse como galerias pluviais, bueiros existentes e cursos d'água. O levantamento foi efetuado com o auxílio de drone e tecnologias de georreferenciamento. Com tais dados foi possível a criação das curvas de nível da área de estudo, que serviram como base para o traçado das tubulações e localização dos componentes do sistema de drenagem. Mediante o levantamento topográfico da área foi possível identificar pontos baixos e altos no terreno, além da direção do fluxo de água devido as declividades das sub-bacias além da identificação por escala de cores da profundidade das áreas da bacia.

As pranchas dos projetos contendo as curvas de nível do terreno, flechas de direção de fluxo de água e as elevações da área de estudo estão contidas nos APÊNDICES I, J e K.

3.5. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

Para a cidade de Boa Vista, três equações IDF já foram formuladas, sendo elas as fórmulas de Tischer (2015), Carvalho (2007) e Brands (2023), possuindo respectivamente o formato das seguintes equações:

$$i = \frac{813,87 * Tr^{0,21}}{(t + 9,52)^{0,72}} \quad (15)$$

$$i = \frac{951,57 * Tr^{0,21}}{(t + 12)^{0,72}} \quad (16)$$

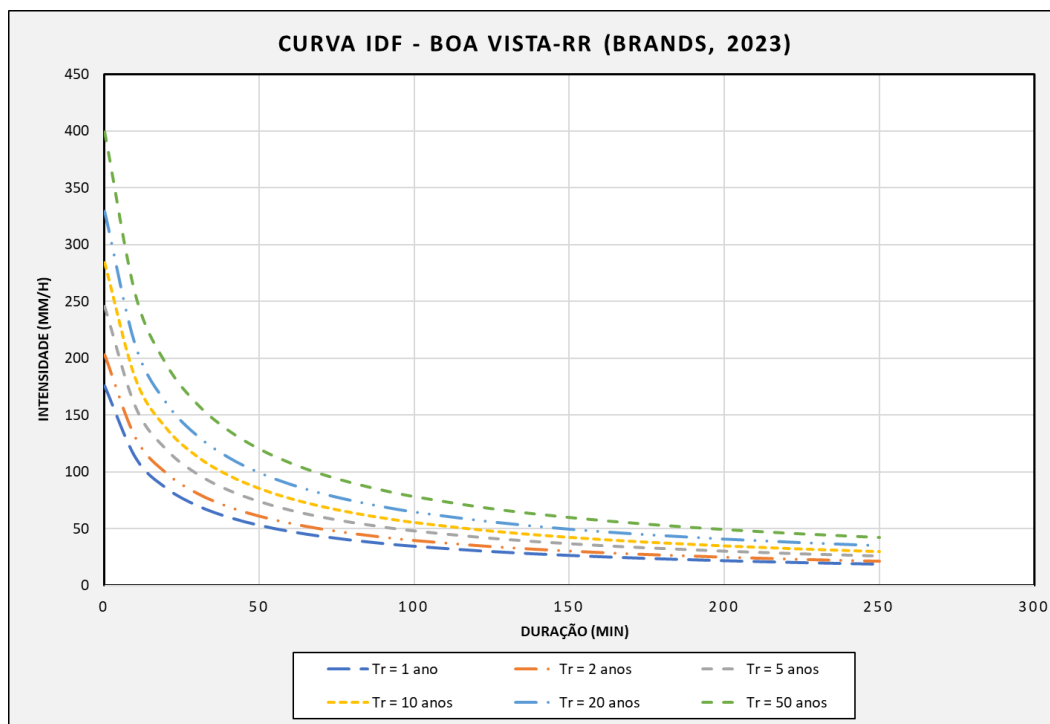
$$i = \frac{1026,68 * Tr^{0,21}}{(t + 11,63)^{0,72}} \quad (17)$$

Onde:

- Tr – período de retorno, em anos;
- t – duração da chuva, em minutos;
- i – intensidade de chuva, em mm/h.

De modo a obter maior representatividade para a pluviosidade recente da localidade foi adotada a equação mais recente, a saber a equação elaborada por Brands (2023). A Figura 39 apresenta a curva I-D-F da equação de Brands (2023) para diferentes períodos de retorno (Tr), sendo estes, 2, 5, 10, 20 e 50 anos.

Figura 39 – Curvas I-D-F para a equação de Brands.

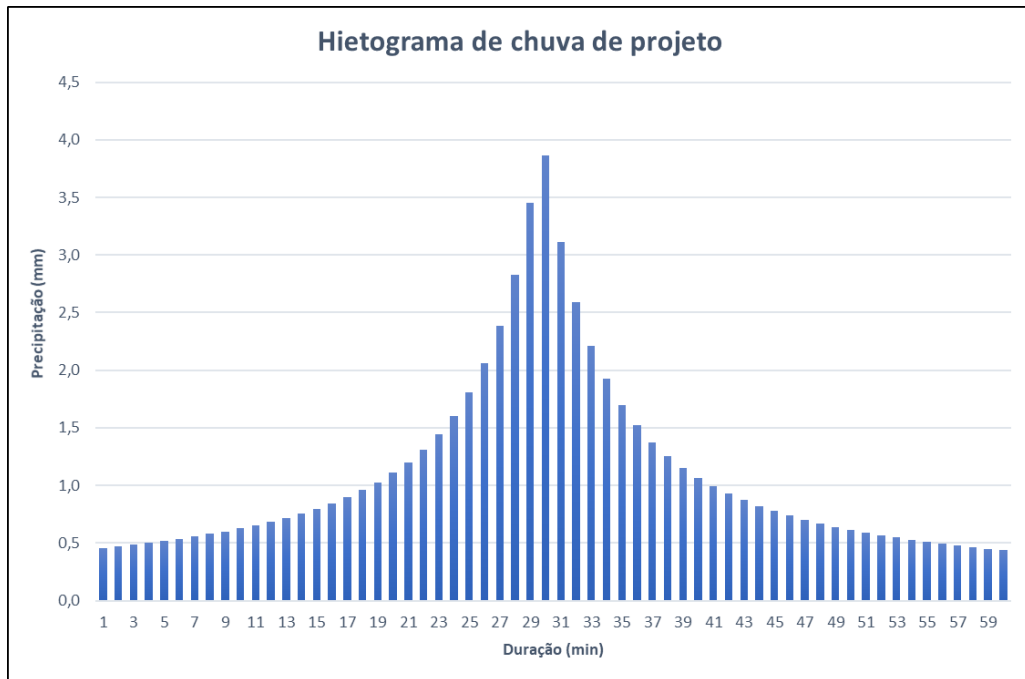


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme recomendado pelo Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da PMSP (2012) será adotado um $Tr = 5$ anos, visto que para obras de microdrenagem são adotados valores de Tr entre 2 a 10 anos. Quanto ao tempo de duração da chuva de projeto usualmente é adotado um valor igual ao tempo de concentração da bacia de contribuição, porém visto que todas as bacias possuem valores de t_c muito pequenos foi adotado uma duração da chuva de uma hora.

A distribuição da chuva de projeto ao longo do tempo foi obtida através da intensidade de precipitação calculada pela equação I-D-F de Brands (2023), para um tempo de retorno de 5 anos e uma duração de chuva de 60 minutos e distribuída em intervalos de tempo (discretização temporal) de 1 minuto, adotando-se o método dos blocos alternados (Figura 40).

Figura 40 – Chuva de projeto

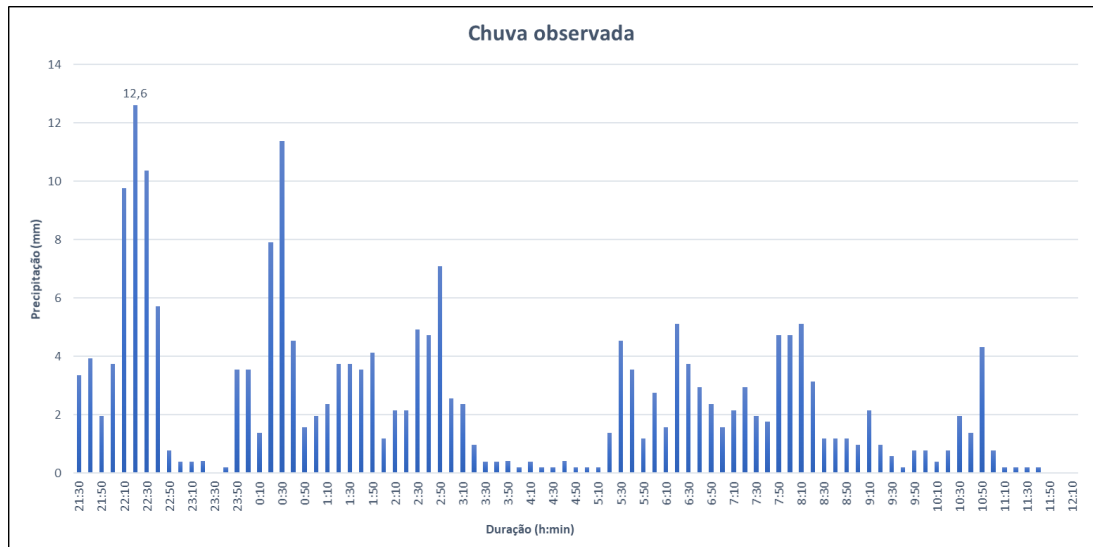


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Além da chuva de projeto, foram utilizados dados de um evento extremo de chuva observado coletados por uma estação pluviométrica do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN). Através da inserção de dados de um evento extremo de precipitação observado foi possível avaliar o desempenho na resposta das intervenções propostas na redução do volume de escoamento e do pico de vazão no lote quando submetidas a ocorrência de chuvas com um maior tempo de duração e uma distribuição variada ao longo do tempo. Os dados de chuva analisados foram coletados pela estação pluviométrica localizada no bairro Jardim Olímpico em Boa Vista-RR, precipitação essa ocorrida em 08 de março de 2025.

A escolha desta estação se deve ao fato que dentre as existentes na região urbana da cidade essa apresenta maior registro contínuo de dados coletados e que se encontra mais próxima da localidade da área de pesquisa. A precipitação escolhida foi um dos eventos de chuva extremos mais próximo cronologicamente da data da pesquisa e que gerou maiores impactos nos bairros periféricos da capital, conforme apresentado anteriormente. A discretização da chuva observada foi de 10 minutos, que é a discretização disponibilizada pelo CEMADEN, e com uma duração de 14 horas e 30 minutos (tempo de duração real da chuva), com uma precipitação acumulada de 216,11 mm, conforme pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 – Chuva observada – Evento extremo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.6. TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SOLO

O estudo da taxa de infiltração do solo é uma etapa fundamental para a definição das características hidráulicas da área de pesquisa, influenciando diretamente a escolha e o dimensionamento das técnicas de drenagem sustentável. Essas informações são essenciais para a correta inserção de dados de entrada durante a modelagem hidrológica no SWMM e garantir a precisão dos resultados obtidos. Para o dimensionamento de sistemas de infiltração como o jardim de chuva (biorretenção) é relevante a análise do solo local, ainda que as taxas de infiltração do solo onde será aplicado o sistema não se enquadre no recomendável o mesmo deve ser projetado para desempenhar a função de estrutura de armazenamento temporário das águas recolhidas.

Conforme proposto pelo Manual de Drenagem Urbana da Pensilvânia, o solo utilizado para constituir as camadas do jardim deve ser o mesmo presente na região. A principal característica do solo a ser analisada para o dimensionamento de um sistema de biorretenção é a taxa de infiltração, obtida através de ensaio de infiltração, sendo o mais comum o método dos anéis concêntricos (BERNARDO, 2006). Com a realização do ensaio é possível obter o volume de água infiltrado no solo em um determinado período de tempo, assim a taxa de infiltração é obtida através da seguinte equação.

$$I = VI / t \quad (18)$$

Onde:

- I – taxa de infiltração, em mm/h;
- VI – volume infiltrado acumulado durante o ensaio, em mm;
- t – tempo total do ensaio, em h;

Conforme proposto por Guerra (1996 apud MOLINARI; VIEIRA, 2004) a metodologia dos anéis concêntricos pode ser adaptada de modo que o segundo anel seja removido e o anel interno substituído por um tubo de PVC de 30 cm de diâmetro, sendo fixado no solo com 10 centímetros abaixo do nível do terreno. Devido a limitação da obtenção dos anéis para a execução do ensaio, foi utilizada a segunda metodologia para o ensaio de infiltração. Foram realizados no local cinco ensaios em dias distintos, com condições de umidade do solo perceptíveis semelhantes, sendo estes três ensaios na condição seca e dois ensaios na condição saturada para conferência se os valores se mostrariam aproximados (Tabela 2).

Tabela 2 – Taxas de infiltração obtidas mediante ensaios de campo.

Nº DO ENSAIO	CONDIÇÃO DE UMIDADE APARENTE	TAXA DE INFILTRAÇÃO (MM/H)
ENSAIO 1	SECO	117,13
ENSAIO 2	SECO	107,85
ENSAIO 3	SECO	125,14
ENSAIO 4	SATURADO	56,75
ENSAIO 5	SATURADO	61,62

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Foram calculadas as taxas de infiltração para cada ensaio e obtida a média aritmética dos ensaios para cada condição (Tabela 3).

Tabela 3 – Taxa de Infiltração média do solo na condição de umidade aparente.

CONDIÇÃO DE UMIDADE APARENTE	TAXA DE INFILTRAÇÃO (MM/H)
SECO	116,71
SATURADO	59,18

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para a modelagem no SWMM são necessários duas taxas de infiltração, na condição seca e na condução saturada, desse modo foi utilizado o valor da taxa de infiltração média na condição seca para a modelagem das áreas dos lotes e a condição saturada para modelagem da camada de armazenamento dos sistemas LIDs, visando se trabalhar os sistemas na situação mais crítica.

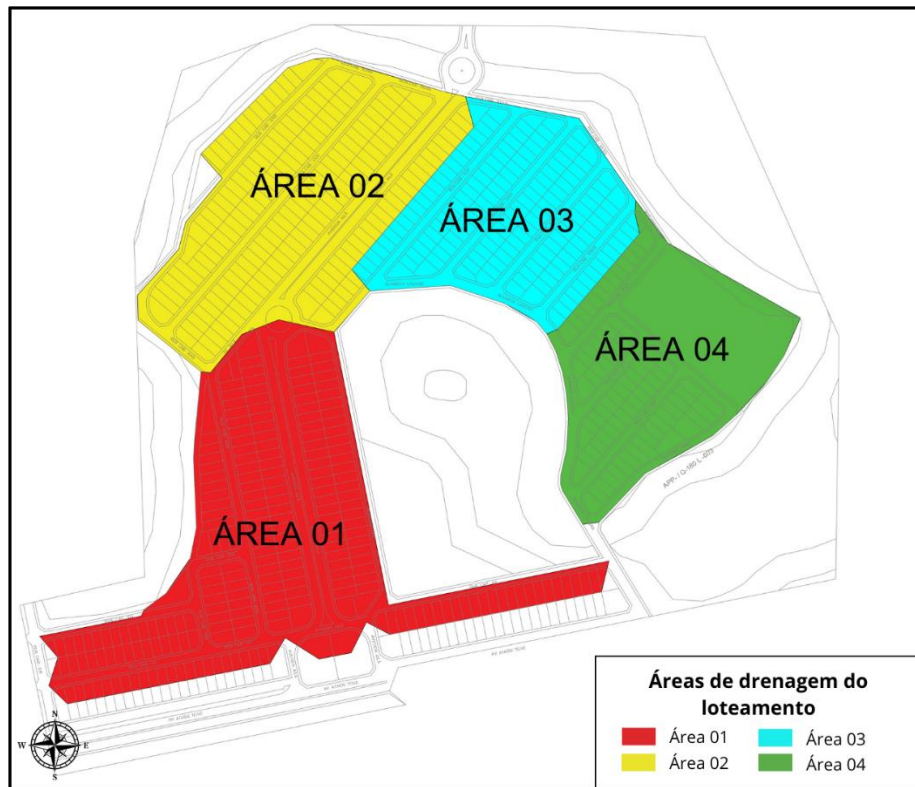
3.7. SISTEMA DE MICRODRENAGEM

Na área de estudo foi projetado um sistema de microdrenagem para coletar e conduzir adequadamente o escoamento de águas pluviais advindo dos lotes existentes. Visto que não há normativas para dimensionamento de sistemas de drenagem urbana no Brasil foram utilizados as recomendações e métodos de dimensionamento de redes de drenagem contidos no Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo (2012). Foram considerados parâmetros como o comprimento crítico de sarjetas, estabelecido entre 50 e 100 metros, conforme a área da sarjeta, declividade da via e a rugosidade do material. Para a definição da localização das bocas de lobo (BLs), foi respeitado esse limite, além da configuração topográfica e do padrão viário do loteamento.

A distância máxima entre poços de visita (PVs) foi adotada conforme recomendação do manual, sendo de no máximo 60 metros em trechos retilíneos, ou menor quando houver mudanças de direção, variações de declividade ou conexões com bocas de lobo. A rede projetada é composta por bueiros simples tubulares de concreto (BSTC), e a declividade mínima adotada para os condutos foi de 0,5%, conforme recomendado para garantir o escoamento autolimpante e evitar sedimentações indesejadas.

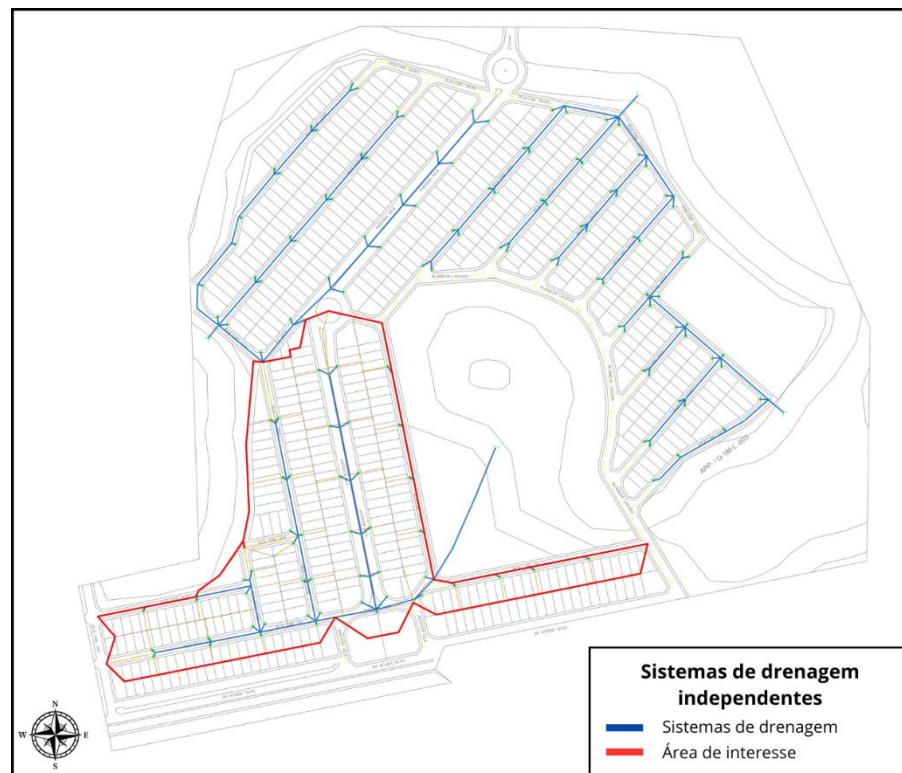
Ao serem traçadas as áreas de contribuição da bacia foi observado que por estar em uma área entre sub-bacias naturais o loteamento possui quatro áreas de drenagem quanto a sua topografia (Figura 42) o que permitiu que fossem projetados quatro sistemas de drenagem independentes. De modo a simplificar o processo de modelagem, visto que o loteamento possui características de uso e ocupação do solo uniformes em todos os locais de drenagem, será modelado apenas a rede de drenagem correspondente a área 1 (Figura 43), e seus resultados serão tomados como verdadeiros para todo o loteamento.

Figura 42 – Áreas de drenagem do loteamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 43 – Redes de drenagem do loteamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As áreas impermeáveis e coeficientes de escoamento foram definidos a partir do uso e ocupação do solo proposto pelo projeto de urbanização do loteamento. Os dados gerais da rede de drenagem e assim como o número de dispositivos são apresentados na Tabela 4.

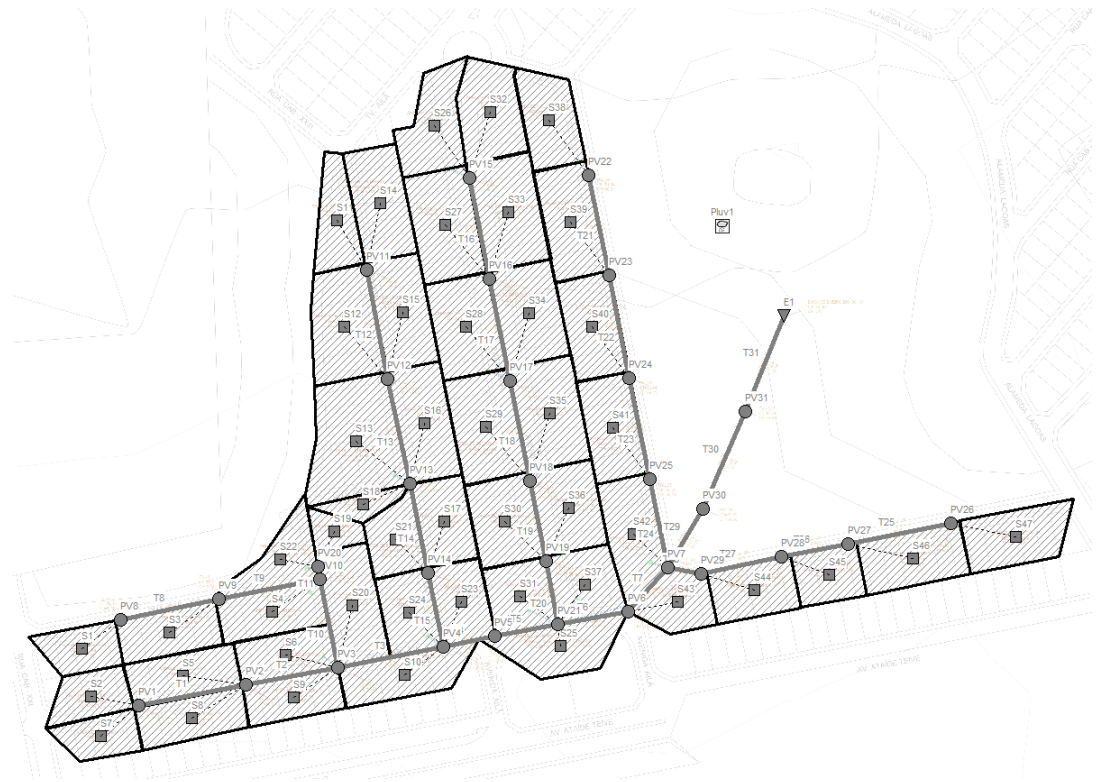
Tabela 4 – Dados gerais rede de drenagem 01.

DADO	VALOR
COTA ALTA (M)	83,886
COTA BAIXA (M)	79,800
TR (ANOS)	5,00
COMPRIMENTO (M)	525,9
DECLIVIDADE (%)	4,09
TC CALCULADO (MIN)	15,8
TC ADOTADO (MIN)	60,0
Nº SUB-BACIAS	47
Nº BOCAS DE LOBO	50
Nº POÇOS DE VISITA	31
Nº CONDUTOS	31

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 44 apresenta a interface do SWMM já com as sub-bacias, dispositivos e tubulações modelados.

Figura 44 – Loteamento modelado no SWMM



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.7.1. Parâmetros de entrada no SWMM

Os parâmetros de entrada no SWMM adotados para cada sub-bacia se encontram apresentados nos APÊNDICES A, B e C do presente trabalho, assim como os valores de diâmetros dos tubos, cotas dos PVs, cotas dos tubos, comprimentos dos trechos, cotas das bocas de lobo, áreas de contribuição e tempos de concentração das áreas de contribuição dos PVs. Estas tabelas foram incluídas ao final do trabalho para documentar os dados utilizados no dimensionamento do sistema convencional de microdrenagem, que também servirá de base comparativa para as simulações com dispositivos LID.

3.8. SISTEMAS DE CONTROLE LID

Para a modelagem dos dispositivos de controles LID no SWMM são necessários alguns parâmetros relacionados às dimensões da estrutura, características físicas dos materiais que compõem as camadas e características hidrológicas/hidráulicas das camadas. Para esta modelagem foram utilizados tanto valores de parâmetros adotados em trabalhos técnicos

anteriores como o de Oliveira (2024), Sangalli (2021), Castro (2011) e os valores recomendados por Rossman e Huber (2016), tendo sido adotados valores médios, conforme apresentado nas Tabelas 5 e 6. Devido às características urbanísticas do loteamento foram adotados os sistemas LID de biorretenção (jardim de chuva) e pavimento permeável.

Tabela 5 – Parâmetros de entrada do LID no SWMM - Biorretenção

Célula de biorretenção (Jardim de chuva)		
Parâmetro	Unidade	Valor adotado
Camada superficial		
Altura do aterro/berma	mm	300,0
Fração do volume da vegetação	-	0,10
Rugosidade da superfície (Manning)	-	0,15
Inclinação da superfície (porcentagem)	-	1,00
Camada de solo		
Espessura	mm	750,0
Porosidade (fração de volume)	-	0,53
Capacidade de Campo (fração de volume)	-	0,20
Ponto de Murcha (fração de volume)	-	0,10
Condutividade	mm/h	95,25
Inclinação da Condutividade	-	10,0
Altura de Sucção	mm	76,20
Camada de armazenamento		
Espessura	-	450,0
Índice de vazios	-	0,625
Taxa de infiltração	mm/h	59,18
Fator de entupimento	-	0,00
Camada de dreno*		
*Não foi adotado dreno		

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 6 – Parâmetros de entrada do LID no SWMM – Pavimento permeável

Pavimento permeável

Parâmetro	Unidade	Valor adotado
Camada superficial		
Altura do aterro/berma	mm	0,00
Fração do volume da vegetação	-	0,0
Rugosidade da superfície (Manning)	-	0,15
Inclinação da superfície (porcentagem)	-	1,50
Camada de solo		
Espessura	mm	150,0
Porosidade (fração de volume)	-	0,53
Capacidade de Campo (fração de volume)	-	0,20
Ponto de Murcha (fração de volume)	-	0,10
Condutividade	mm/h	95,25
Inclinação da Condutividade	-	10,0
Altura de Sucção	mm	76,20
Camada de armazenamento		
Espessura	-	150,0
Índice de vazios	-	0,96
Taxa de infiltração	mm/h	59,18
Fator de entupimento	-	0,00
Camada de pavimento		
Espessura	mm	150,0
Índice de vazios	-	0,17
Fração da superfície impermeável	-	0,0
Permeabilidade	mm/h	100,0
Fator de entupimento	-	0,0
Intervalo de regeneração	dias	0,0
Fração de regeneração	-	0,0
Camada de dreno*		
*Não foi adotado dreno		

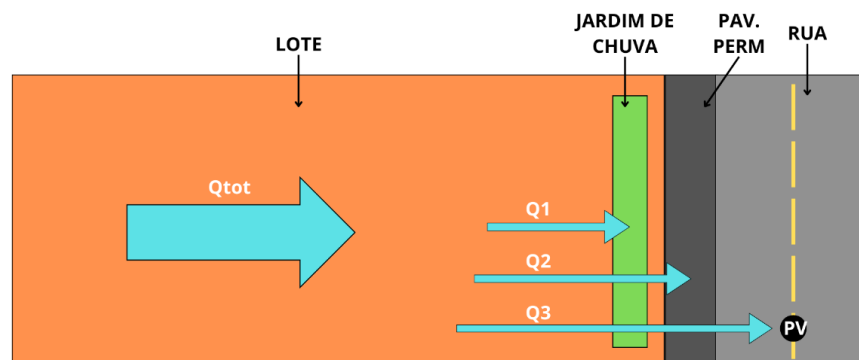
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Vale destacar que devido à ausência de ensaios práticos em laboratório com sistemas reais de LID para este trabalho, os valores adotados foram aqueles recomendados por outros

trabalhos anteriores, visto que o objetivo aqui não é a calibração, mas a comparação de eficiência hidrológica entre a existência ou não de tais sistemas LID em um loteamento qualquer.

O pavimento permeável foi considerado como sendo adotado nas áreas de calçadas previstas no projeto urbanístico do loteamento, substituindo o pavimento convencional de concreto. As vias voltadas para o tráfego de veículos foram consideradas como mantendo o revestimento impermeável convencional. Já as unidades de biorretenção foram modeladas ocupando 5% da área dos lotes e recebendo o escoamento apenas destes, enquanto o pavimento permeável foi modelado de forma a receber apenas o escoamento das vias. Cada sub-bacia foi ligada a um sistema LID individual, responsável por receber o escoamento apenas desta. O esquema do funcionamento dos dispositivos e da sub-bacia podem ser observados na Figura 45.

Figura 45 – Esquema de direcionamento do escoamento dos lotes modelados



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme indica a figura, a vazão total (Q_{tot}) corresponde a todo o escoamento superficial gerado na bacia, parte deste escoamento é direcionado e absorvido pelo sistema de biorretenção (Q_1) dentro do próprio lote, a parte que não é absorvida pelo jardim é direcionada para o pavimento permeável (Q_2) e outra parcela que não é absorvida nem pelo jardim nem pelo pavimento (Q_3) é direcionada para o sistema de drenagem convencional

3.9. SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS

Para avaliar o desempenho hidráulico e hidrológico do sistema de drenagem urbana estudado, foram desenvolvidas no presente trabalho oito modelagens computacionais no

SWMM. As simulações foram organizadas de forma a abranger tanto as condições de projeto (chuva sintética obtida por equação IDF de Boa Vista – RR) quanto condições reais observadas (evento de precipitação medido por estação pluviométrica), permitindo uma análise comparativa entre o comportamento do sistema em cenários distintos. A estrutura de modelagem foi organizada em dois blocos principais:

- **Bloco A:** Cenários com chuva de projeto (condições críticas)
- **Bloco B:** Cenários com chuva observada (condições reais).

Em cada bloco foram simulados quatro sub-cenários:

- **Cenário 1:** Sistema existente sem implantação de medidas LID – utilizado como referência para comparação;
- **Cenário 2:** Sistema com jardins de chuva implantados em área correspondente a 5% da área dos lotes;
- **Cenário 3:** Sistema com pavimento permeável implantado na área correspondente a calçada do loteamento;
- **Cenário 4:** Sistema com combinação de jardins de chuva + pavimento permeável.

A escolha por essa estrutura de várias simulações foi feita para possibilitar a comparação do desempenho hidráulico e hidrológico do sistema em uma situação crítica de projeto, onde a chuva ocorre com alta intensidade e curta duração, e em um cenário de chuva real que apresenta uma distribuição temporal mais espaçada e maior duração. Com isso é possível avaliar a eficiência de cada solução LID individualmente, bem como o efeito combinado das técnicas, permitindo identificar quais medidas proporcionam maior redução de vazão de pico, volume escoado e velocidades no sistema. Por fim foi possível quantificar possíveis benefícios secundários, como redução de diâmetros necessários para os condutos e menor ocorrência de sobrecargas.

Essa abordagem permitiu comparar diretamente as diferenças de desempenho entre chuva de projeto e chuva real para o mesmo arranjo de LIDs, verificar a eficácia individual e combinada das medidas de drenagem sustentável e o impacto sobre variáveis hidráulicas, como vazão de pico, volume total, velocidades e diâmetros necessários.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção foram obtidos a partir das simulações descritas abrangendo cenários com e sem a aplicação de técnicas de drenagem sustentável (LIDs) sob condições de chuva de projeto e chuva observada. A análise foi conduzida de forma a comparar o desempenho hidráulico e hidrológico do sistema de drenagem urbana, considerando variáveis como vazão de pico, volume total escoado, velocidades máximas nos condutos e possibilidade de redimensionamento da rede.

Inicialmente é apresentada a avaliação da redução da vazão de pico dos hidrogramas, redução essa causada pelos dispositivos LID aplicados, além da análise da redução do volume total escoado pelo sistema de microdrenagem. Por conseguinte, é apresentada a comparação dos cenários, inicialmente para o evento de precipitação do Bloco A e posteriormente do Bloco B. Por conseguinte, será discutido acerca da redução da velocidade média máxima da água nos condutos e a avaliação da redução dos diâmetros dos tubos do sistema de microdrenagem devido as intervenções LID. Finalmente, é apresentado o orçamento do sistema de drenagem convencional para os cenários com e sem LID e verificado a redução nos custos para o sistema de drenagem convencional e aumento do valor total da obra.

4.1. COMPARAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO

Mediante a modelagem da rede no SWMM foram gerados hidrogramas em cada um dos nós do sistema para cada um dos cenários, tornando possível com o auxílio do *Excel* efetuar a comparação dos hidrogramas de projeto, obtidos para a chuva de projeto, em qualquer um dos nós da rede (Bloco A). A modelagem revelou diferenças significativas entre o cenário de referência (Cenário 1 – sem LID) e aqueles que incorporaram medidas de drenagem sustentável (Cenários 2, 3 e 4). De modo a analisar individualmente os efeitos da aplicação dos sistemas LIDs foi efetuada a comparação de forma isolada dos cenários, sendo obtidos três gráficos comparativos dos Cenários 1-2, 1-3 e 1-4.

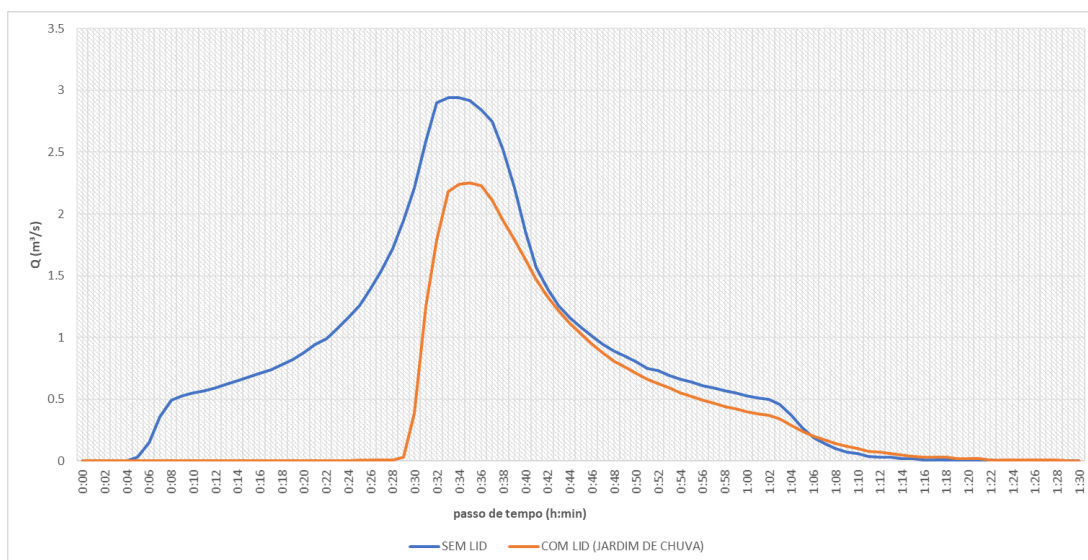
De modo a analisar o maior hidrograma de projeto e a maior vazão de pico da rede os hidrogramas comparados foram aqueles gerados para o exutório do sistema (nó E1). De modo a simplificar a análise dos resultados são apresentados apenas os comparativos dos hidrogramas gerados pela chuva de projeto (Bloco A), visto que devido a variabilidade temporal da chuva observada vários picos ocorrem no hidrograma dos cenários advindos do Bloco B. Porém, para

que fosse observado os efeitos dos sistemas LID no amortecimento do hidrograma gerado por um evento observado de precipitação é apresentada uma análise condensada ao final do presente item.

4.1.1. Cenário 1-2

Ao efetuar a comparação dos hidrogramas de projeto para os cenários 1 (sem LID) e 2 (apenas com o sistema de biorretenção, este ocupando 5% da área dos lotes) para o exutório da rede (nó E1) foi possível observar uma redução da vazão de pico devido a aplicação da estrutura de biorretenção (jardim de chuva), conforme indica a Figura 46.

Figura 46 – Comparação de hidrogramas de projeto dos Cenários 1 e 2



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A vazão de pico (Q_p) do hidrograma referente a cenário 1 (sem LID) ocorre no instante de 33 minutos e atinge um valor de $2,94 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto a vazão de pico para o cenário 2 ocorre no instante de 35 minutos e atinge um valor de $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$, uma redução de aproximadamente 23,47% (Tabela 7). Além disso é possível observar um atraso da vazão de pico (cerca de 2 minutos), embora não muito considerável. O que mais se destaca, porém é o atraso de cerca de 20 minutos no início do escoamento do cenário 2 em comparação com o cenário 1, indicando que após o início da chuva o sistema de biorretenção absorveu bem o escoamento superficial antes de atingir seu limite e o a água finalmente chegar ao sistema de microdrenagem.

Tabela 7 – Redução da vazão de pico – Cenários 1-2

Cenário	Qp (m³/s)	Qp/Ab (l/s.ha)
Sem LID	2,94	362,07
Com LID	2,25	277,08
Reduc (%)	23,47	84,97

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Mediante os valores obtidos para a vazão de pico nos cenários foram elaborados coeficientes/indicadores de vazão máxima por área da bacia (Qp/Ab) com o objetivo de analisar a vazão de pico gerada por área da bacia com e sem dispositivos LID, conforme a terceira e a quarta coluna da Tabela 7. Considerando toda a área do loteamento o coeficiente Qp/Ab foi de 362,07 l/s.ha para o cenário sem LID contra 277,08 l/s.ha no cenário com LID (biorretenção), demonstrando uma redução de vazão igual a 84,97 l/s a cada hectare.

Em relação à redução do volume total escoado é possível observar que a implementação do LID reduziu consideravelmente o volume. Para o cenário sem LID o volume total escoado foi de 1964,61 m³ enquanto após a aplicação do jardim de chuva foi reduzido para 1128,86 m³, uma redução de cerca de 42,54% no volume de escoamento superficial, conforme indica a Tabela 8.

Tabela 8 - Redução do volume total escoado - Cenário 1-2

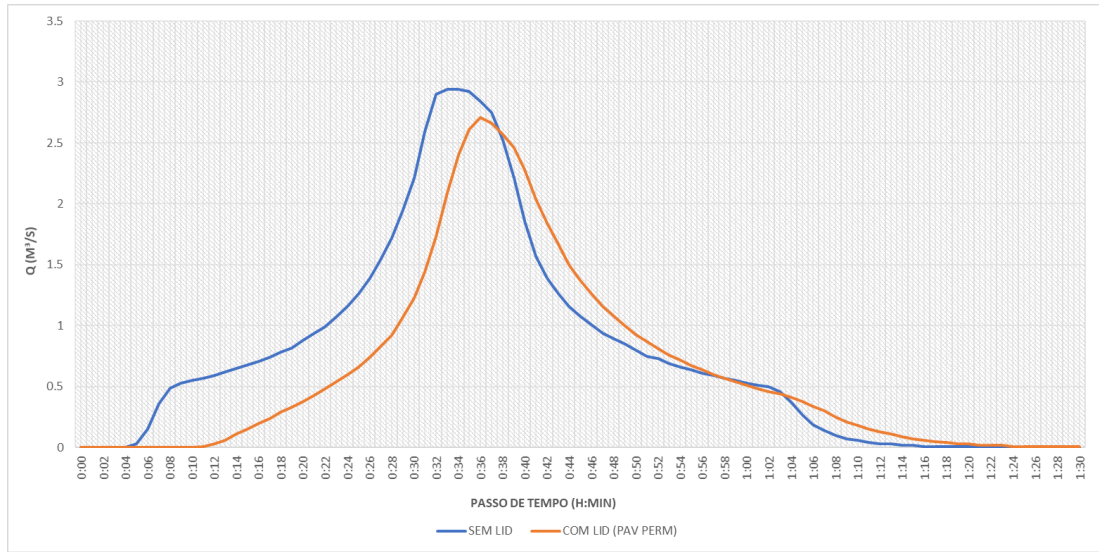
Volume total (m³)	
Sem LID	1.964,61
Com LID	1.128,86
Reduc (%)	42,54

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.1.2. Cenário 1-3

Comparando os cenários sem LID (cenário 1) e cenário apenas com o pavimento permeável aplicado (cenário 3), sem nenhum outro sistema LID é possível também observar um amortecimento do hidrograma (Figura 47), porém menor que para o cenário 2.

Figura 47 – Comparação de hidrogramas de projeto dos cenários 1 e 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A vazão de pico gerada pelo cenário 3 atingiu o valor de 2,71 m³/s no instante de 36 minutos, cerca de três minutos após o instante de 33 minutos (momento em que o sistema sem LID atinge sua vazão de pico de 2,94 m³/s), um atraso também desprezível. Esta redução representa um valor de cerca de 7,82% de diminuição na vazão de pico devido à aplicação do pavimento permeável, uma redução também não tão expressiva (Tabela 9). Também é possível observar o atraso no início do escoamento superficial, cerca de 6 minutos de atraso, indicando a controle na fonte do escoamento pelo sistema de pavimento permeável nos instantes iniciais de precipitação, porém não tanto quanto no cenário anterior (cenário 2).

Tabela 9 - Redução da vazão de pico – Cenários 1-3

Cenário	Qp (m³/s)	Qp/Ab (l/s.ha)
Sem LID	2,94	362,07
Com LID	2,71	333,74
Reduc (%)	7,82	28,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Já o coeficiente de vazão de pico gerada por área do loteamento (Qp/Ab) para os cenários 1 e 3 foi de 333,74 l/s.ha, apresentando uma redução de 28,33 l/s.ha devido a aplicação

do pavimento permeável no loteamento, menor do que a redução na taxa observada no cenário anterior.

Na Tabela 10 é possível verificar que houve uma redução no volume total escoado na rede devido a aplicação do pavimento permeável, onde o volume passou de 1.964,61 m³ do cenário sem LID para 1.641,31 m³, representando uma redução de cerca de 16,45%, menor que o verificado no cenário 2.

Tabela 10 - Redução de volume escoado - Cenários 1-3

Volume Total (m³)	
Sem LID	1.964,61
Com LID	1.641,31
Reduc (%)	16,45

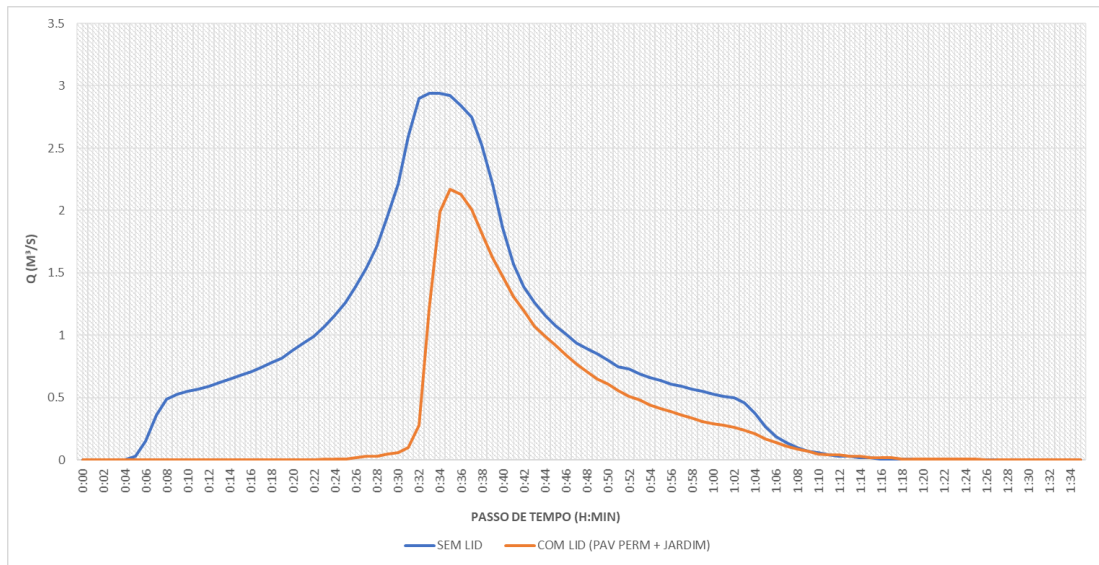
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

É válido citar que, enquanto os sistemas de biorretenção foram modelados para receber o escoamento dos loteamentos (que possuem maior área de contribuição) o pavimento permeável foi modelado para receber apenas o escoamento das vias, fazendo com que o mesmo não possua a mesma eficiência do cenário 2 já que foi modelado com uma proposta distinta.

4.1.3. Cenário 1-4

O comparativo dos cenários 1-4 conta ainda com os hidrogramas dos cenários sem LID e com LID, porém no cenário 4 as duas ferramentas LID (jardim de chuva e pavimento permeável) foram modeladas de forma a serem conjugadas e atuarem juntas no sistema. Inicialmente é possível observar o amortecimento do hidrograma (Figura 48), conforme esperado, porém com valores maiores que nos cenários anteriores, onde os sistemas LID estavam separados.

Figura 48 – Comparação de hidrogramas de projeto dos cenários 1 e 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O atraso no pico do hidrograma para o cenário 4 foi de cerca de 2 minutos, seguindo o padrão dos demais cenários, porém com uma maior redução da vazão máxima que passou do valor de 2,94 m³/s (cenário sem LID) para 2,17 m³/s (cenário com os LIDs conjugados), este pico ocorrendo no instante de 35 minutos. Esta redução representa cerca de 26,19% de diminuição na vazão máxima (Tabela 11), valor próximo ao obtido no cenário 2. Já o início do escoamento apresentou um atraso em relação ao cenário 1 de 18 minutos, tempo semelhante ao ocorrido no cenário 2 e maior que no cenário 3. Isso demonstra novamente que as ferramentas LID controlaram o escoamento na fonte durante uma boa parcela do tempo após o início do evento de precipitação.

Tabela 11 - Redução da vazão de pico – Cenários 1-4

Cenário	Qp (m ³ /s)	Qp/Ab (l/s.ha)
Sem LID	2,94	362,07
Com LID	2,17	267,27
Reduc (%)	26,19	94,83

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A taxa de redução da vazão de pico por área do loteamento (Q_p/Ab) para os cenários 1 e 4 foi a maior dentre as demais apresentando um valor de 94,83 l/s.ha, demonstrando que a conjugação dos LIDs propostos possui maior efetividade do que estes aplicados isoladamente.

Do mesmo modo o volume total escoado sofreu uma redução, cerca de 52,37%, mais da metade do valor sem LID, sendo diminuído de 1.964,61 m³ para 935,67 m³ (Tabela 12) escoados superficialmente pelo sistema e captados pela rede de drenagem convencional.

Tabela 12 - Redução de volume escoado - Cenários 1-4

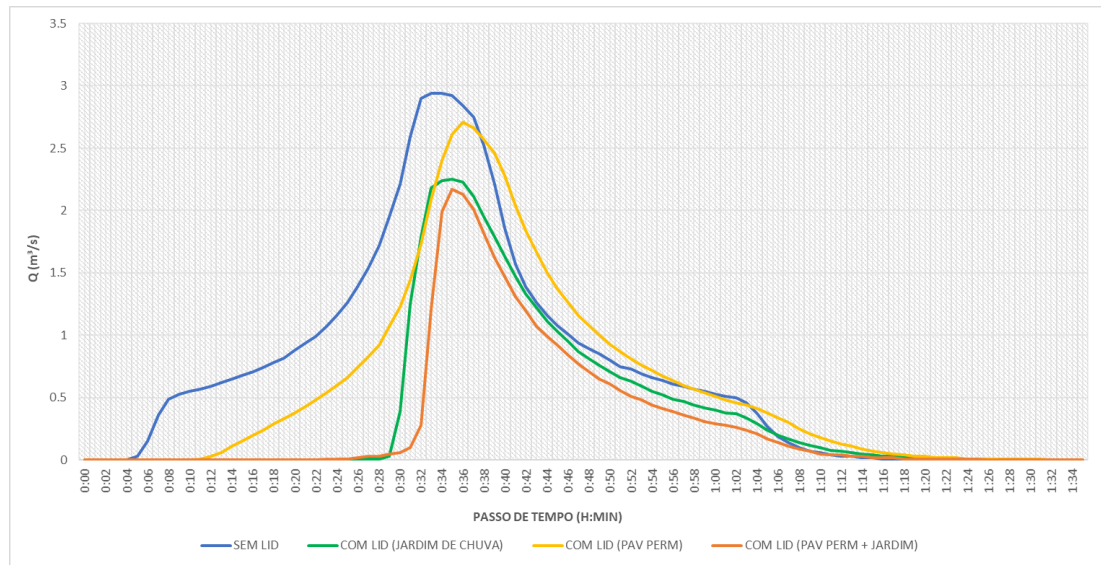
Volume total (m ³)	
Sem LID	1.964,61
Com LID	935,67
Reduc (%)	52,37

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.1.4. Cenários geral

Ao efetuar o comparativo dos quatro cenários juntos (Figura 49) é possível perceber a eficiência das alternativas LID aplicadas no amortecimento do hidrograma de projeto. Analisando as curvas geradas foi possível perceber que o cenário 4 (sistema com LIDs conjugados) apresentou resultados numericamente próximos ao cenário 2 (sistema apenas com biorretenção) mostrando que embora o pavimento permeável contribua para a redução da vazão máxima do sistema, redução do volume escoado e atraso no início do escoamento após a precipitação, este não se apresentou tão viável quanto o jardim de chuva quando submetidos aos mesmos parâmetros hidrológicos e hidráulicos.

Figura 49 – Comparativo de Hidrogramas de projeto – Cenários geral



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De modo resumido, todas as configurações de sistemas LID aplicadas apresentaram redução da vazão de pico do hidrograma em comparação ao sistema sem técnicas LID aplicadas, atraso no momento da vazão máxima e retardo do início do escoamento superficial, indicando armazenamento temporário inicial nos dispositivos.

Além disso, foi observado que os efeitos da conjugação dos LIDs para este caso não são cumulativos numericamente, onde os valores de redução de vazão, volume e atraso no hidrograma não se somam, mas passam a funcionar como um novo tipo de sistema distinto dos anteriores, não a soma de dois sistemas.

4.2. COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

Mediante as oito simulações realizadas no SWMM foram gerados relatórios gerais pelo próprio software dos valores resultantes da simulação para cada parcela do balanço hídrico da rede modelada, dessa forma foram elaboradas tabelas e gráficos comparativos que sintetizam os principais resultados obtidos para as condições de chuva de projeto e chuva real. Esses resultados incluem o balanço hidrológico das sub-bacias, discriminando variáveis como volume total precipitado sobre a bacia, perdas por infiltração, armazenamento final nos sistemas LID e volume de escoamento superficial, além da variação percentual entre os cenários com e sem a adoção das técnicas LID. A apresentação conjunta dos dados permitiu identificar padrões de

desempenho e quantificar a eficiência relativa dos jardins de chuva, do pavimento permeável e da combinação de ambos.

A análise dos resultados no presente trabalho inicialmente foi dividida entre os Blocos A e B e posteriormente são comparados os resultados gerais entre as chuvas de projeto e a chuva observada.

4.2.1. Bloco A

Os resultados gerais para os cenários simulados com a chuva de projeto (Bloco A) estão contidos na Tabela 13 que apresenta os valores das parcelas do balanço hídrico mediante o modelo de Horton para transformação chuva-vazão, onde foram quantificadas as parcelas da precipitação que foram convertidas em infiltração, escoamento superficial e que ficaram armazenados nos dispositivos LID. De modo a auxiliar na compreensão dos resultados foram elaborados gráficos comparativos dos cenários para cada um dos indicadores contidos na Tabela 13.

Para cada um dos cenários do Bloco A foi precipitado um total de 66,46 mm de chuva sobre a bacia. No cenário 1, sem LID, foi observado uma infiltração de 13,29 mm de chuva, cerca de 20% da chuva, enquanto 53,17 mm escoou superficialmente, um valor estimado de 80% da quantidade precipitada, ou seja, um escoamento superficial quatro vezes maior que a parcela da infiltração.

Tabela 13 - Resultados gerais SWMM – Modelagem Bloco A

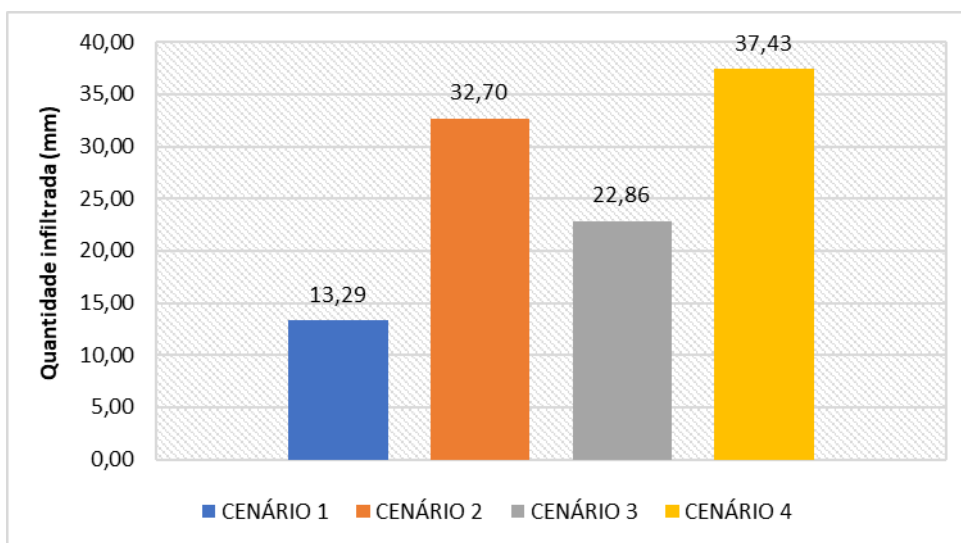
Indicador	Sem LID		Com LID	
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
Total precipitado (mm)	66,46	66,46	66,46	66,46
Infiltração (mm)	13,29	32,70	22,86	37,43
Escoamento superficial (mm)	53,17	28,18	42,26	22,24
Armazenamento final no LID (mm)	-	9,21	2,68	11,73
% da chuva infiltrada	20,00	49,20	34,40	56,32

Coef. de escoamento (%)	80,00	42,40	63,59	33,46
% Armazenada No LID	-	13,86	4,03	17,65
Redução do escoamento superficial (%)	-	42,50	20,52	58,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao analisar parcela da água precipitada que foi infiltrada (Figura 50) foi observado que a maior quantidade infiltrada se encontra no cenário com os LIDs combinados (cenário 4) onde 56,32% da chuva foi infiltrado no solo, cerca de 37,46 mm, porém o cenário 2, apenas com o sistema de biorretenção aplicado, mostrou-se tão eficiente quanto no processo de infiltração permitindo que 49,20% da precipitação fosse infiltrada, cerca de 32,70 mm. O cenário 3, apenas com o pavimento permeável teve uma eficiência na infiltração um pouco abaixo, onde 34,40% da água precipitada penetrou no solo, um valor de 22,86 mm.

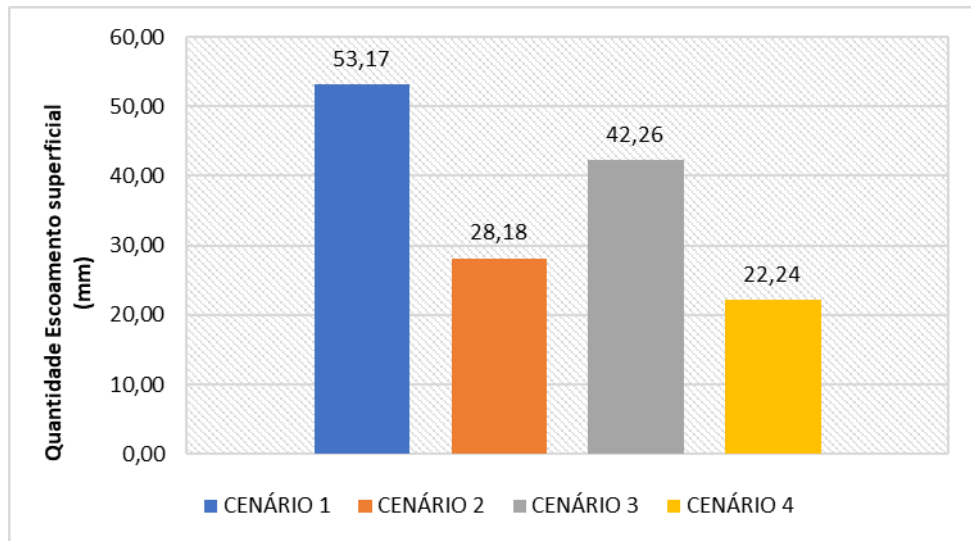
Figura 50 – Comparativo quantidade de água infiltrada no solo – Bloco A



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quanto a parcela da precipitação que foi convertida em escoamento superficial (Figura 51), conforme o esperado, os valores para o cenário 4 se mostraram menores, seguidos dos cenários 2 e 3, que obtiveram valores de 22,24 mm, 28,18 mm e 42,26 mm respectivamente. O cenário 4 apresentou uma transformação precipitação em escoamento superficial de 33,46%, uma redução de mais da metade em comparação com o cenário 1.

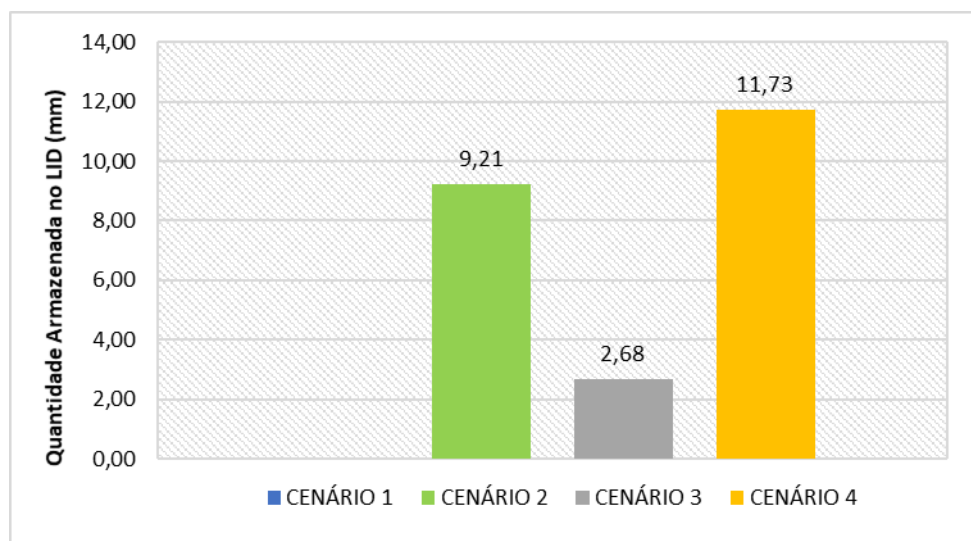
Figura 51 – Comparativo quantidade de escoamento superficial gerado – Bloco A



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A parcela do balanço hídrico armazenada nos LIDs (Figura 52) se mostrou mais eficiente nos cenários 4 e 2 para a chuva de projeto, cerca de 11,73 mm (17,65%) e 9,21 mm (13,86%) respectivamente, enquanto o cenário 3 (apenas com o pavimento permeável) quando comparado aos demais cenários se mostrou de baixa eficiência na capacidade de armazenamento para a chuva modelada no Bloco A, armazenando apenas 2,68 mm, cerca de 4,03% da quantidade precipitada.

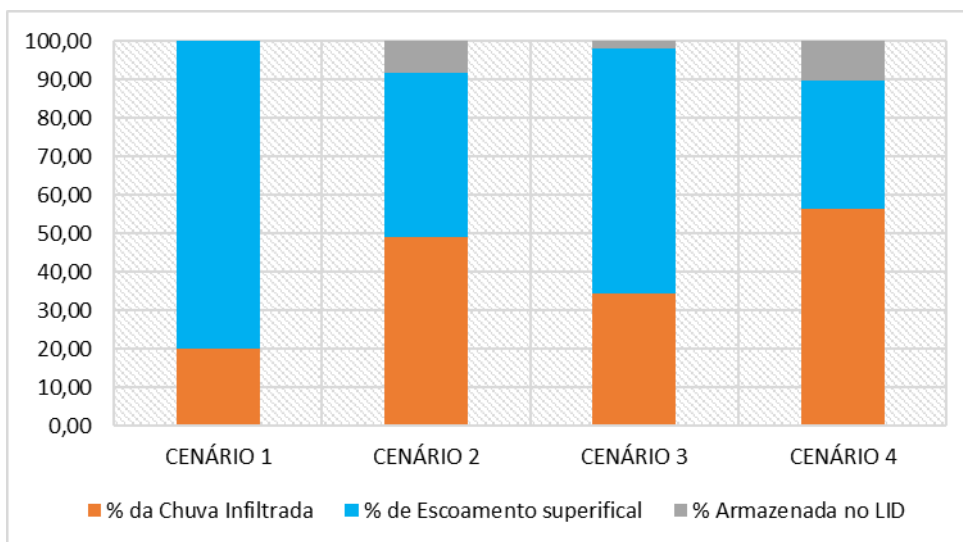
Figura 52 – Comparativo de quantidade de água armazenada nos LIDs – Bloco A



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 53 demonstra um comparativo visual da porcentagem das parcelas da precipitação convertidas em infiltração, escoamento superficial e armazenada nos dispositivos LID.

Figura 53 – Comparativo de porcentagem de água transformada em infiltração, escoamento ou armazenada no LID – Bloco A

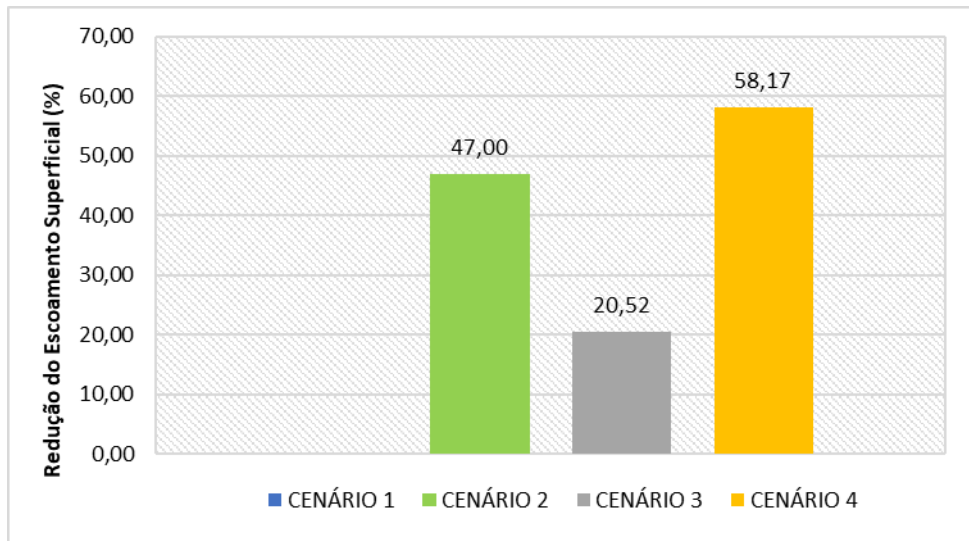


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Dentre outros dados já discutidos é possível perceber que o cenário 3 foi o que apresentou menor desempenho na redução do escoamento superficial e também no armazenamento nos dispositivos de pavimento permeável, em relação ao cenário 1, e que o cenário 4 foi o que apresentou melhor desempenho, seguido do cenário 2, o que demonstra que apenas o sistema de biorretenção foi suficiente para reduzir a maior parte do escoamento superficial e armazenar uma maior parcela do volume de água precipitado.

Na Figura 54 é apresentada a porcentagem de redução do escoamento superficial para cada um dos cenários, demonstrando assim que o cenário 4 obteve uma redução de 58,17%, mais da metade, da água escoada pela superfície no cenário 1, enquanto no cenário 2 houve uma redução de 47,00%, também relevante visto que este cenário conta apenas com a biorretenção. A redução total do escoamento no cenário com os LIDs conjugados em comparação ao cenário sem LID mostra que o uso conjunto destas técnicas tem efeito sinérgico, ou seja, melhor que a soma dos dois isolados.

Figura 54 – Comparativo de redução de escoamento superficial – Bloco A



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Através das análises foi percebido que o sistema contendo apenas jardim de chuva reduziu o escoamento superficial em quase metade, mesmo ocupando apenas 5% da área dos lotes. Isso demonstra que mesmo uma implantação parcial nos loteamentos já apresentou um impacto relevante hidrológicamente. Quanto ao pavimento permeável, este apresentou desempenho mais modesto, com redução de 20,5%, demonstrando que ele permite a infiltração no início da precipitação, mas satura com maior velocidade.

4.2.2. Bloco B

Do mesmo modo foram modelados os cenários para a chuva observada (Bloco B), cujos resultados gerais para os cenários simulados podem ser observados na Tabela 14 que quantifica as parcelas do balanço hídrico efetuado pelo modelo. Do mesmo modo do que foi feito para o bloco anterior, foram elaborados gráficos comparativos dos cenários para cada um dos indicadores da Tabela 14.

Para todos os cenários do Bloco B foi precipitado um total de 216,11 mm de chuva sobre a bacia urbana modelada, um valor maior que o triplo precipitado no Bloco A. No cenário sem os dispositivos LID, foi observada uma infiltração de 43,22 mm de chuva e um escoamento superficial de 172,89 mm, percentualmente falando os valores se mantiveram os mesmos do Bloco A com 20% e 80% respectivamente.

Tabela 14 - Resultados gerais SWMM – Modelagem Bloco B

Bloco B - Chuva observada

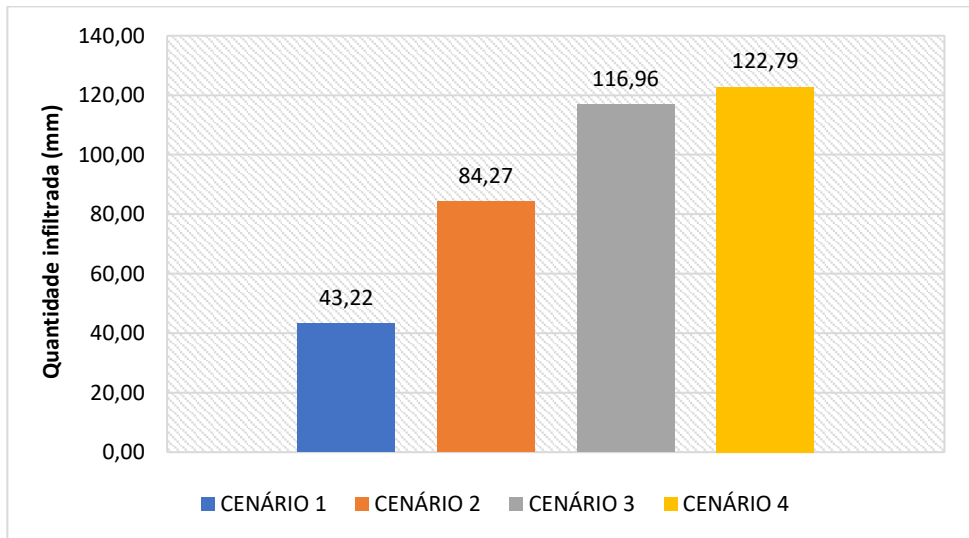
Indicador	Sem LID		Com LID	
	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4
Total precipitado (mm)	216,11	216,11	216,11	216,11
Infiltração (mm)	43,22	84,27	116,96	122,79
Escoamento superficial (mm)	172,89	97,27	90,62	57,50
Armazenamento final no LID (mm)	-	38,24	9,96	40,81
% da chuva infiltrada	20,00	38,99	54,12	56,82
Coef. de escoamento (%)	80,00	45,01	41,93	26,61
% Armazenada No LID	-	17,69	4,61	18,88
Redução do escoamento superficial (%)	-	43,74	47,59	66,74

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Conforme demonstra a Figura 55, a quantidade de água infiltrada pelo sistema com a presença de LIDs conjugados (cenário 4) é maior que nos demais cenários, onde cerca de 56,82% da chuva foi infiltrada (122,76 mm), porém o sistema com apenas o pavimento permeável de técnica LID (cenário 3) de mostrou tão eficiente quanto na infiltração permitindo que 54,12% da água fosse infiltrada (116,96 mm), enquanto o sistema de biorretenção (cenário 2) ficou logo atrás com 38,99% da precipitação infiltrada, um valor de 84,27 mm.

Dessa forma foi verificado que para a precipitação modelada no Bloco B, ou seja, a chuva real observada, a técnica de pavimento permeável apresentou uma melhor eficiência na quantidade de água infiltrada do que para a chuva de projeto modelada no Bloco A.

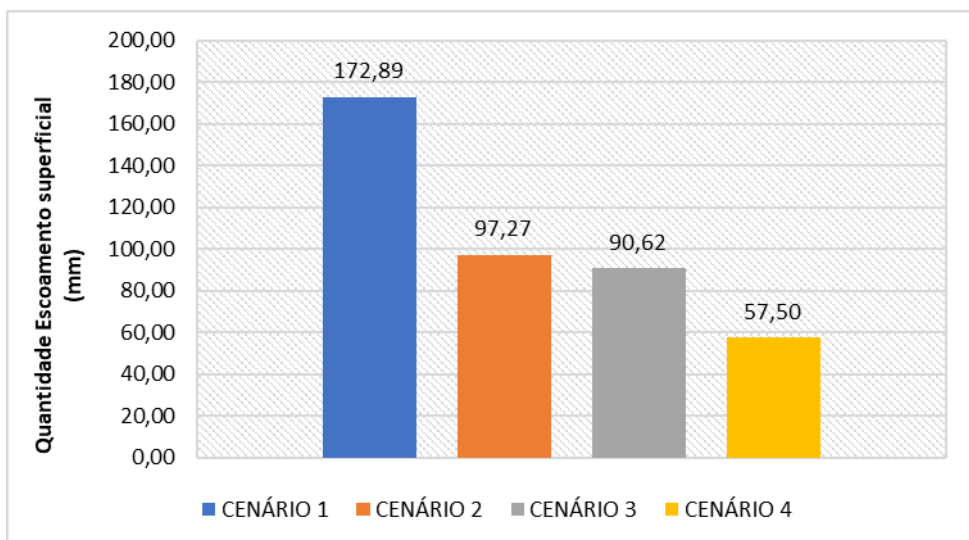
Figura 55 – Comparativo quantidade de água infiltrada no solo – Bloco B



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em consoante ao gráfico anterior, a Figura 56 demonstra que o volume de escoamento superficial foi menor respectivamente nos cenários 4, 3 e 2 com valores de 57,50 mm (26,61% da precipitação), 90,62 mm (41,93%) e 97,27 mm (45,01%). É válido notar que a redução do escoamento superficial tanto da biorretenção quanto no pavimento permeável atingiram valores próximos demonstrando que para a chuva observada o rendimento de ambos foi aproximado, mesmo com o pavimento tendo sido modelado de modo a receber uma menor contribuição que a biorretenção.

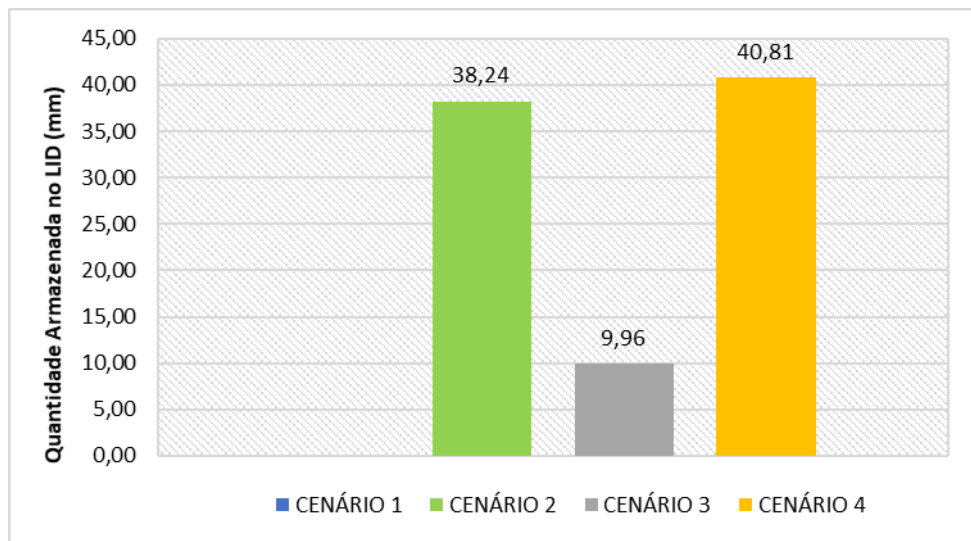
Figura 56 – Comparativo quantidade de escoamento superficial gerado – Bloco B



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A quantidade de água que ficou armazenada nos LIDs (Figura 57) foi maior no cenário 4, onde os sistemas de biorretenção e pavimento permeável estavam conjugados, cerca de 18,88% da chuva, porém atingindo valores aproximados do cenário 2, apenas com a biorretenção, aproximadamente 17,69%. O armazenamento no pavimento permeável se mostrou muito abaixo, com 4,61% da chuva armazenada, cerca de 9,96 mm.

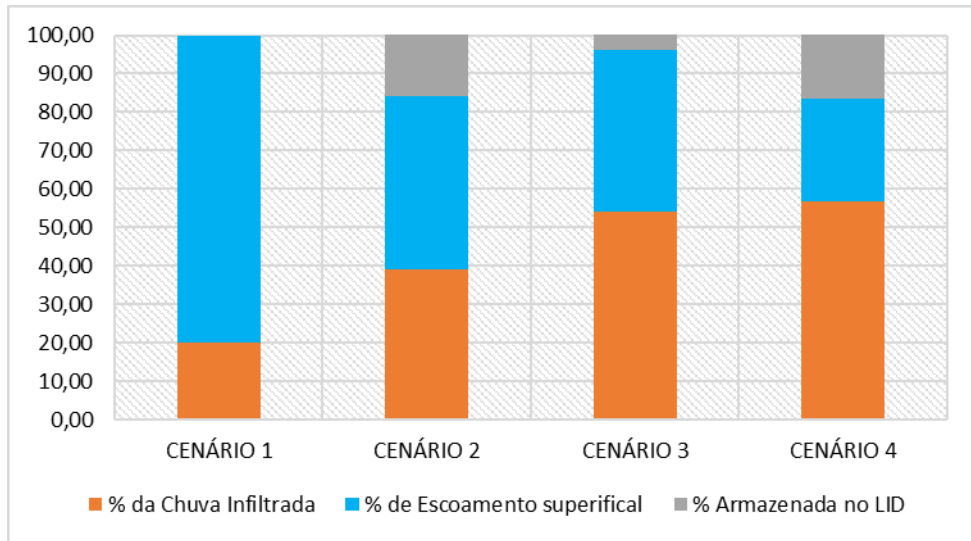
Figura 57 – Comparativo de quantidade de água armazenada nos LIDs – Bloco B



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Comparando as porcentagens das parcelas (Figura 58) fica observado que embora o pavimento permeável possua uma alta capacidade de infiltração para a chuva observada, sua capacidade de armazenamento é baixa se comparado ao sistema de biorretenção. É válido então notar que, para as condições de precipitação do Bloco B, ao se conjugar as duas técnicas LID é possível aproveitar ao máximo a maior capacidade de armazenamento da biorretenção com a alta capacidade de infiltração do pavimento permeável.

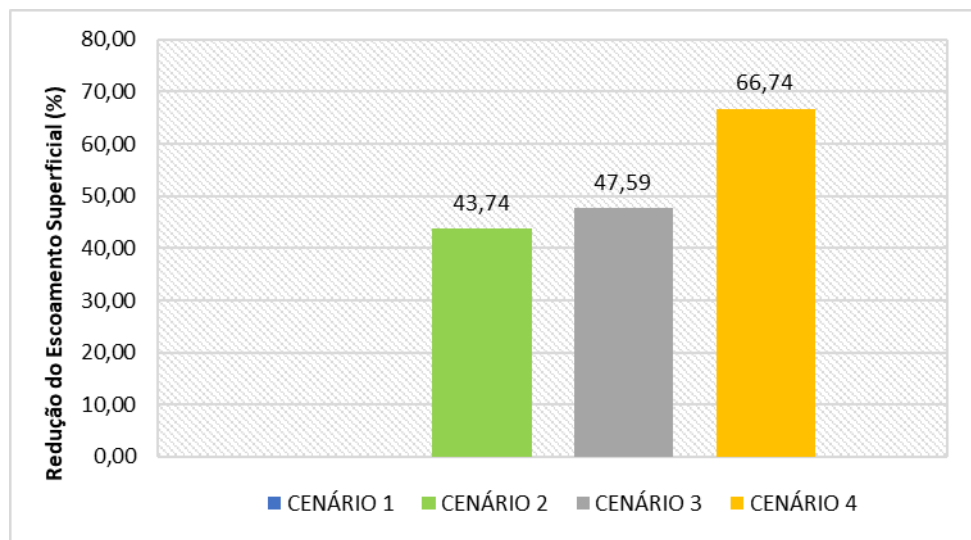
Figura 58 – Comparativo de porcentagem de água transformada em infiltração, escoamento ou armazenada no LID – Bloco B



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Figura 59 apresenta a porcentagem da redução do escoamento superficial os cenários modelados para a chuva observada, onde é possível verificar que para o sistema de LIDs conjugados a redução da parcela da água sobre a superfície foi maior, cerca de 66,74%, mais da metade do escoamento gerado no cenário sem LID.

Figura 59 – Comparativo de redução de escoamento superficial – Bloco B



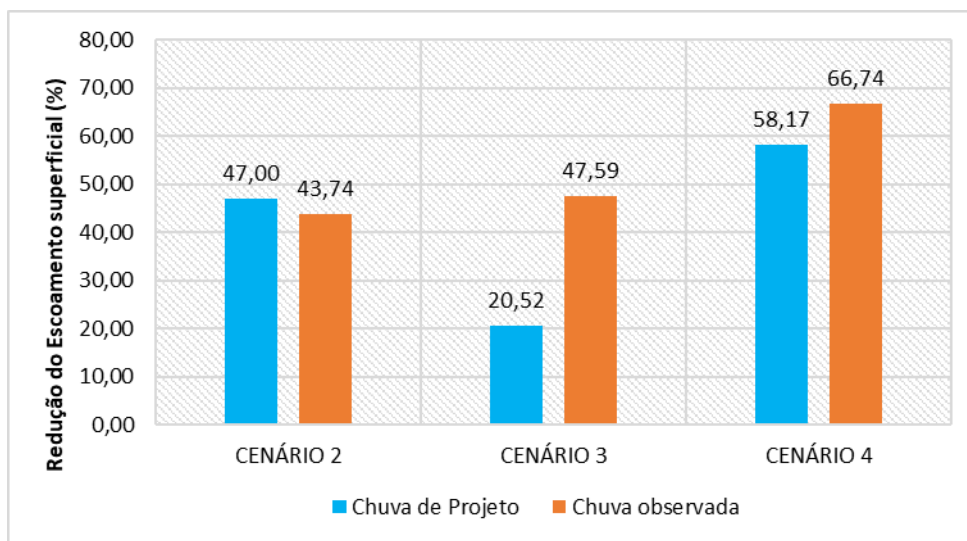
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Já os cenários com as técnicas LID separadas apresentaram valores próximos de redução do escoamento superficial em comparação ao cenário sem LID, onde houve uma redução de 47,59% para o sistema com pavimento permeável e 43,74% para a biorretenção, indicando que para a chuva observada os dois obtiveram eficiência semelhante. Para a chuva observada a biorretenção efetuou a redução devido ao maior armazenamento enquanto o pavimento se destacou pela maior infiltração.

4.2.3. Comparativo de eventos de precipitação modelados

De modo a analisar comparativamente a resposta dos cenários a cada um dos eventos de precipitação modelados (chuva de projeto e chuva observada) foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 60.

Figura 60 – Comparativo de redução do escoamento superficial entre blocos de precipitação



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Analisando os dados obtidos foi possível verificar que cada um dos cenários apresentou comportamento distinto entre os dois eventos de precipitação. O cenário combinado (jardim + pavimento) se destacou em ambos os eventos, com redução de até 66,7% na chuva real, mostrando alto desempenho mesmo sob a condição de precipitação intensa quanto sob baixa intensidade de precipitação, porém com maior chuva acumulada e maior duração de chuva. O cenário 3, com o pavimento permeável isolado, teve melhor desempenho na chuva

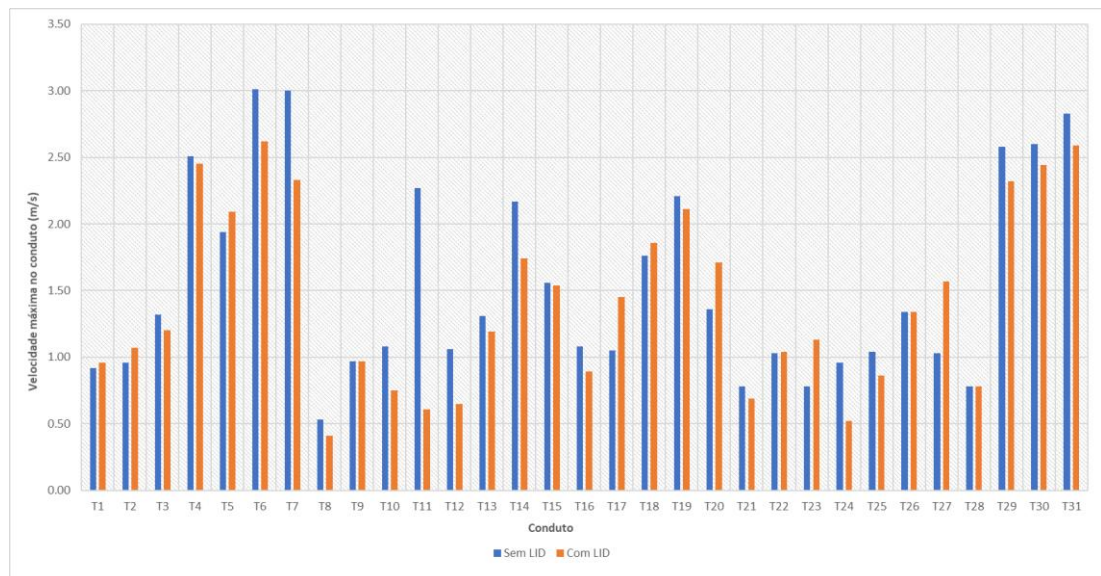
real (47,6%) do que na de projeto (20,5%), isso pode ser causado devido à chuva real ter sido mais distribuída no tempo que a chuva de projeto, permitindo mais tempo para que houvesse infiltração antes da saturação do sistema. Já o jardim de chuva (cenário 2), mesmo ocupando apenas 5% da área dos lotes, manteve boa performance em ambos os casos de precipitação

4.3. REDUÇÃO DA VELOCIDADE MÁXIMA DE ESCOAMENTO

Mediante o relatório de velocidades máximas gerado pelo SWMM após a modelagem dos cenários foi analisado trecho a trecho da rede de drenagem se houve redução dos condutos após a aplicação dos LIDs em comparação ao cenário sem LID. Como o melhor desempenho apresentado na redução do escoamento superficial e no atraso da vazão de pico e no início do escoamento foi no cenário 4 (biorretenção + pavimento) as análises a partir deste item no presente trabalho serão limitadas a este cenário.

A Figura 61 apresenta um comparativo para cada conduto da variação da velocidade máxima atingida pelo escoamento nos condutos durante a simulação, permitindo a análise se houve redução, aumento ou se a velocidade máxima se manteve igual ao cenário sem LID.

Figura 61 – Redução da velocidade máxima de escoamento em cada conduto



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A maioria dos condutos apresentou redução de velocidade máxima após a aplicação dos LIDs, sendo 19 condutos (61,2%), com a redução variando de 2% a 73% de queda, como

no caso do conduto T11. A redução média da velocidade foi de 19,13%, e trechos como o T6, T7, T10, T12, T14, T24 tiveram reduções acima de 15%, o que é um bom indicativo de modo a reduzir risco de erosão na saída do sistema, aumentar a vida útil das tubulações e evitar possíveis danos nas estruturas de drenagem. Também vale destacar que as reduções mais intensas aconteceram em trechos onde o escoamento era mais superficial ou concentrado, como os tubos T11 e T24. Tal comportamento reforça o papel dos LIDs não apenas no controle do volume e da vazão de pico, mas também na diminuição da energia do fluxo de água nos condutos.

Porém em alguns trechos houve um aumento da velocidade máxima de escoamento, sendo estes os trechos T2, T5, T17, T18, T20, T23 e T27. Isto, porém não invalida o efeito positivo dos LIDs, mas pode ser um indicador de que há o redirecionamento do volume de água para essas tubulações, possível concentração de escoamento em rotas alternativas ou a necessidade de reavaliar o dimensionamento local ou o posicionamento dos LIDs.

4.4. REDUÇÃO DE MATERIAIS E CUSTOS

Com a redução da quantidade de escoamento superficial devido a implementação dos sistemas de técnicas de biorretenção conjugado com pavimento permeável foi feito o redimensionamento dos condutos de drenagem observando os seguintes critérios:

- A redução dos diâmetros foi efetuada do montante para jusante, seguindo o sentido do escoamento;
- A redução dos diâmetros era efetuada reduzindo para o próximo diâmetro nominal comercial abaixo;
- Cada diâmetro deveria ser alterado individualmente;
- Assim que um diâmetro era alterado era efetuada uma nova simulação;
- A diâmetro final considerado para cada conduto era o menor dentre aqueles que a rede obedecesse aos seguintes critérios:
 - Não haver transbordamento dos poços de visita anteriores ou posteriores;
 - Não haver nenhum conduto com as velocidades máximas e mínimas além da permitida;
 - Escoamento funcionando como conduto livre, não sob pressão.

Dessa forma mediante diversas simulações foi possível reduzir o diâmetro de todos os condutos que obedecessem aos critérios pré-estabelecidos. De forma a verificar se também haverá a redução aparente de custos no orçamento executivo da rede projetada foi quantificado e precificado diversos itens do orçamento do sistema de drenagem antes e após a redução dos diâmetros dos tubos, para efeito comparativo.

4.4.1. Redução dos diâmetros dos condutos

Ao todo 21 dos 31 condutos tiveram seus diâmetros reduzidos, o que equivale a 68% dos condutos, enquanto os demais permaneceram com as dimensões originais, sem necessidade de alterações, conforme pode ser verificado na Tabela 15, com os valores dos diâmetros dos tubos antes e após as alterações. As reduções variaram principalmente de 0,20 m a 0,40 m em relação ao cenário sem LID, com destaque para condutos de maior porte, como os T7, T29, T30 e T31, cujo diâmetro passou de 1,20 m para 1,00 m.

Tabela 15 – Redução do diâmetro dos condutos

Conduto	DN s/ LID (m)	DN c/ LID (m)	Houve redução?
T1	0,80	0,60	SIM
T2	0,80	0,60	SIM
T3	1,00	0,80	SIM
T4	1,00	0,80	SIM
T5	1,00	0,80	SIM
T6	1,00	1,00	NÃO
T7	1,20	1,00	SIM
T8	0,60	0,60	NÃO
T9	0,80	0,60	SIM
T10	0,80	0,60	SIM
T11	1,00	0,60	SIM
T12	0,60	0,60	NÃO
T13	0,80	0,60	SIM
T14	0,80	0,80	NÃO
T15	1,00	0,80	SIM

T16	0,60	0,60	NÃO
T17	0,80	0,60	SIM
T18	0,80	0,80	NÃO
T19	0,80	0,80	NÃO
T20	1,00	0,80	SIM
T21	0,80	0,60	SIM
T22	0,80	0,60	SIM
T23	1,00	0,80	SIM
T24	1,00	1,00	NÃO
T25	0,60	0,60	NÃO
T26	0,80	0,60	SIM
T27	0,80	0,60	SIM
T28	0,80	0,80	NÃO
T29	1,20	1,00	SIM
T30	1,20	1,00	SIM
T31	1,20	1,00	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

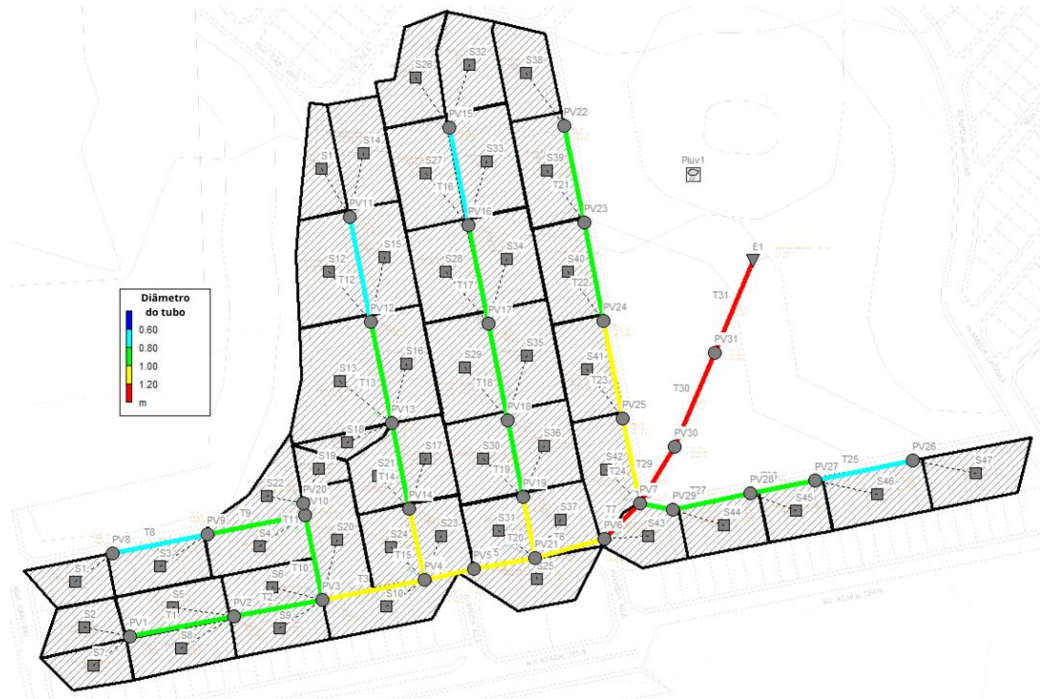
Além disso, em condutos localizados em trechos de início de rede ou que receberam menor contribuição, como os condutos T6, T12, T14, T18, T19 e T24, os diâmetros foram mantidos, o que pode indicar que o impacto das LIDs é mais expressivo nas seções com maior contribuição de escoamento superficial.

A maior redução pode ser verificada no conduto T11 que passou de um diâmetro nominal de 1.000 mm para 600 mm, o menor diâmetro usual possível para tubos principais, visto que os condutos de 400 mm são aplicados apenas em tubos de ligação entre bocas de lobo e poços de visita/caixas de ligação pluvial. A redução média dos diâmetros nos condutos que foram redimensionados após a implantação dos LIDs foi de aproximadamente 22%, indicando que em média, os condutos que sofreram alteração ficaram 22% menores, o que pode representar uma economia potencial de materiais e maior eficiência hidráulica devido à redução do volume e da vazão máxima causada pelas soluções sustentáveis.

Abaixo é possível verificar através de uma faixa de cores geradas pelo SWMM os tubos que tiveram seus diâmetros modificados ou mantidos, onde a cor ciano representa os tubos com diâmetro nominal (DN) igual a 0,6 m, a cor verde os tubos com DN = 0,80 m, a cor

amarelo DN = 1,00 m e a cor vermelha tubos com DN = 1,20 m. A Figura 62 apresenta os diâmetros nominais no cenário 1, onde não existe a presença de sistemas LID enquanto a Figura 63 apresenta os DNs no cenário 4, com os sistemas LID conjugados.

Figura 62 – Faixa de variação dos diâmetros nominais dos tubos – Cenário 1



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 63 - Faixa de variação dos diâmetros nominais dos tubos – Cenário 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Dessa forma é possível analisar visualmente a redução dos diâmetros apresentada na Tabela 15, com a ausência dos tubos de 1,20 m de DN no cenário com LIDs conjugados chamando a atenção, além de que os trechos com DN maiores ou iguais a 1,00 m foi reduzido de 12 trechos para metade do valor original, ou seja, 6 trechos.

4.4.2. Avaliação do aumento de custos de execução da obra

Devido a redução do diâmetro dos condutos de drenagem foi avaliada a possibilidade da redução de custos que a aplicação dos LIDs para a execução da obra. Esta avaliação foi feita através da elaboração de duas planilhas orçamentárias para os itens de insumos e serviços de drenagem urbana convencional nos cenários sem e com LIDs (apenas os cenários 1 e 4).

Devido a disparidade de preços entre os valores fornecidos pela base de preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI para Roraima e a realidade local, onde os valores tendem a ser mais caros do que os tabelados, para alguns itens dos orçamentos foram elaboradas composições de custo utilizando tanto as composições do próprio SINAPI como cotações de preço com fornecedores locais. Todas as composições se

encontram detalhadas no APÊNDICE D. O mês de referência do SINAPI utilizado para os orçamentos foi abril de 2025, com composições e custos para Roraima.

Visto que o objetivo do trabalho é observar apenas as variações de custo final no orçamento dos serviços de drenagem os demais itens comumente presentes em orçamentos de loteamento como Serviços Preliminares, Canteiro de Obras, Administração da obra, Terraplenagem, Pavimentação, Urbanização e Sinalização não foram orçados, tendo sido feito apenas o quantitativo e orçamento dos insumos e serviços relacionados a drenagem urbana.

Para o orçamento foram quantificados e precificados 18 itens relacionados aos serviços de execução de obras de drenagem, conforme apresentado os orçamentos dos cenários com e sem LID no APÊNDICE E. As memórias de cálculo dos volumes de escavação e escoramento contínuo se encontram no APÊNDICE F, enquanto as memórias de cálculo geral de drenagem se encontram no APÊNDICE G. O cálculo dos Benefícios e Despesas Indiretas - BDI assim como os índices adotados se encontram no APÊNDICE H.

Para o cenário sem a aplicação dos LIDs, apenas com o sistema de drenagem convencional o valor foi de R\$ 2.154.339,53 sendo este um valor esperado para o porte da obra do loteamento ao qual o sistema foi projetado. Já para o cenário com a aplicação de LIDs conjugados o valor orçado foi de R\$ 1.794.551,40 apresentando uma redução para a execução sistema de drenagem convencional de R\$ 359.788,13 cerca de 16,70% de redução. Ambos os valores são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Custo de execução apenas da drenagem convencional

CUSTO SEM LID	CUSTO COM LID
R\$ 2.154.339,53	R\$ 1.794.551,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em ambos os orçamentos os itens de maior custo foram o fornecimento e assentamento dos tubos de concreto, o que devido a redução dos diâmetros poderia apresentar uma redução maior no valor total da drenagem, entretanto como apenas os diâmetros foram reduzidos enquanto os comprimentos dos tubos foram mantidos a redução nos custos totais não foi expressiva quando se poderia ter como hipótese.

De modo a comparar os custos totais do sistema contendo o LID foi estimado o valor da execução dos LIDs baseado nos coeficientes de custo/metro quadrado apontados pela literatura. Conforme apresentado por Borges e Alves (2018), Dourado e Silva (2020), Almeida

(2021) e a tabela de insumos e composições do SINAPI (2025) o valor estimado para a execução do jardim de chuva (biorretenção) é de 172,14/m² enquanto os custos para a execução do pavimento permeável são de R\$ 69,09/m². Utilizando o custo médio entre os valores foi possível determinar a estimativa de custos para a execução dos LIDs para o presente projeto, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Custos de execução dos LIDs

DISPOSITIVO	CUSTO (R\$/m²)	ÁREA DO LID (m²)	VALOR TOTAL (R\$)
Biorretenção	172,14	4060,00	698.888,40
Pavimento permeável	69,09	7247,00	500.695,23
TOTAL			R\$ 1.199.583,63

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A Tabela 18 apresenta o valor final de execução da drenagem sem e com os LIDs, já com o cenário 4 somados os custos do sistema convencional e a estimativa de custos dos LIDs.

Tabela 18 – Custos totais de execução do sistema de drenagem

CENÁRIO	CUSTO TOTAL	AUMENTO
SEM LID	R\$ 2.154.339,53	-
COM LID	R\$ 2.994.135,03	R\$ 839.795,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quando estimado e somado o valor da execução dos LIDs ao valor de execução do sistema convencional é possível notar que a aplicação dessas técnicas de drenagem sustentável encarece a obra em cerca de R\$ 839.795,50 um aumento de 38,98% nos custos totais. Entretanto, hidrologicamente falando é possível analisar este valor como quantidade investida por redução de vazão, onde foi criada uma relação de custo/eficiência medido em R\$/m³ indicando quanto de valor monetário é necessário para reduzir um metro cúbico de escoamento superficial, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Relação custo/eficiência dos LIDs

VOLUME ABATIDO (m³)	VALOR INVESTIDO (R\$)	CUSTO/EFICIÊNCIA (R\$/m³)
935,67	839.795,50	897,53

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para o sistema de biorretenção conjugado com pavimento permeável projetado a relação custo/eficiência indica que devem ser investidos R\$ 897,53 para cada 1 m³ de volume escoado reduzido.

Assim a relação custo/eficiência mostra que para cada valor investido na implantação dos LIDs projetados é abatido um determinado volume do escoamento superficial, apresentando que mesmo que o custo da implantação dos LIDs possa ser alto, haverá ganho quanto a parte hidrológica na otimização do sistema de drenagem convencional, que recebe menos volume e na redução das vazões de pico, do escoamento superficial e consequentemente dos alagamentos urbanos.

5. CONCLUSÕES

Devido a urgência cada vez maior que os eventos hidrológicos extremos de precipitação tem causado no país, se fazem necessários cada vez mais estudos acerca de novos métodos de gestão das águas pluviais urbanas, principalmente aqueles que priorizam o controle do escoamento na fonte, sendo essa a proposta dos sistemas de drenagem sustentáveis, compostos por dispositivos de baixo impacto, os LIDs. Desse modo o presente trabalho se mostra relevante ao demonstrar a eficiência da aplicação dos sistemas LID compostos por dispositivos de biorretenção e pavimentos permeáveis, especificamente para um caso de um loteamento real em Boa Vista-RR. Ao se comparar os hidrogramas de projeto gerado para os diferentes cenários de modelagem dos dispositivos foi possível verificar que os sistemas conjugados apresentam uma alta redução no escoamento superficial, com o cenário 4 apresentando a maior redução de 52,37%. Entretanto ao observar a aplicação isolada dos dispositivos é percebido que o jardim de chuva isoladamente possui a maior contribuição na redução do escoamento superficial para o cenário de precipitação de projeto (cerca de 42,54%), fazendo com que sua aplicação isolada, sem o pavimento permeável, já possua alta eficiência, reduzindo assim custos de implantação advindos da inserção do segundo dispositivo LID.

Ao se comparar os resultados para os dois tipos de precipitação modelada foi observado que por ser melhor distribuída no tempo, ou seja, possuir uma maior duração, a chuva observada produziu melhor resultado na redução da vazão de pico e escoamento superficial e no aumento do volume de água armazenada no LIDs, fazendo com que o pavimento permeável tenha tempo de absorver, armazenar e infiltrar mais volume de água. Assim podemos afirmar que para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbano é recomendável sempre a comparação entre a resposta do sistema projetado tanto para a chuva de projeto como para chuvas intensas observadas garantindo que os dispositivos projetados funcionem bem em chuvas reais, não só de projeto. Assim se o município usar apenas uma equação IDF para dimensionar drenagem, pode correr o risco de subestimar ou superestimar a real eficácia dos LIDs, dependendo do tipo de chuva. Este resultado trás implicações para o dimensionamento urbano já que para a maioria dos casos de projeto de drenagem urbana os sistemas são dimensionados apenas para chuvas de projeto, sem a devida verificação para chuvas reais.

A modelagem permitiu verificar que os sistemas LID atenuam não só o volume e a vazão de pico, mas também a energia do fluxo de água, representada pela redução na velocidade de escoamento da água nos condutos. Mesmo antes da redução dos diâmetros após a inserção

dos LIDs, os dispositivos causaram reduções relevantes de velocidade, fortalecendo o argumento da eficácia hidráulica destas soluções sustentáveis.

Para auxiliar no controle da vazão de pico gerada para cada loteamento foi determinado o valor dos indicadores de “vazão de pico específica”, medidos em l/s.ha, que tem por objetivo indicar tanto para os responsáveis pelo planejamento dos loteamentos em Boa Vista, como para o poder público municipal a vazão de pico máxima gerada para esse tipo de sistema por hectare de loteamento executado, visando a criação de novas normativas e políticas públicas de redução de alagamentos. Para o cenário com os dispositivos conjugados o indicador de vazão de pico específica se mostrou eficiente com um valor de 94,83 l/s.ha.

A aplicação das técnicas LID também pôde contribuir de forma significativa para o redimensionamento de sistemas de drenagem urbana, permitindo a utilização de condutos com menores diâmetros em grande parte da rede, onde 68% dos condutos tiveram seus diâmetros reduzidos, representando uma economia de R\$ 359.788,13 na execução dos dispositivos de drenagem convencional. Já no valor global de execução da obra, considerando o valor da execução dos LIDs foi verificado que embora o valor da obra seja encarecido em 38,98%, sendo não tão atrativo do ponto de vista financeiro a curto prazo, o indicador custo/eficiência determinado apresentou um valor de R\$ 897,53/m³ demonstrando que cada valor acrescido na obra tem por objetivo o abatimento do volume de escoamento superficial, evitando problemas de alagamentos a longo prazo na área do loteamento.

É válido afirmar diante dos resultados do presente estudo que a aplicação destes dispositivos LID para os cenários proposto se mostrou bastante eficiente no sentido hidrológico da bacia urbana, entretanto os resultados obtidos nesta pesquisa são limitados aos parâmetros e às condições adotadas tanto para o loteamento escolhido quanto para os dispositivos LID na construção do modelo no SWMM, se fazendo necessários novos estudos em diferentes áreas da capital para que os resultados obtidos sejam representativos de cada localidade da região urbana de Boa Vista.

Como sugestão para pesquisas futuras estão a adoção de parâmetros diferentes para os dispositivos LID, sendo alteradas suas dimensões e materiais para a verificação do funcionamento em demais condições de solo, precipitação e declividade, assim como a adoção de diferentes combinações de LIDs como telhados verdes, bacias de retenção e trincheiras de infiltração, além disso também é proposto a construção do orçamento executivo específico dos LIDs adotados para que o valor total de custo de execução da obra possa ter maior representatividade global para Boa Vista.

REFERÊNCIAS

- ACIOLI L. A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. Dissertação de Mestrado, (2005) UFRGS – IPH, 2005.
- ALMEIDA, Lizane; SERRA, Juan Carlos Valdés. **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. Revista da FAE, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017. Disponível em: <<https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/113/435>>. Acesso em: 23 out. 2024.
- ALMEIDA, Mayara Reis de. **Análise da viabilidade de implantação de jardim de chuva para manejo de águas pluviais no Instituto Federal do Espírito Santo campus Vitória**. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Instituto Federal do Espírito Santo – IFES. 2021.
- ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; SZÉLIGA, Marcos Rogério; ENOMOTO, Carolina Ferreira. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. 2000.
- ANDRADE, F. **Infiltração e água no solo**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba, 2014. Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/fandrade/teaching/files/aula_6_infiltrao.pdf> Acesso em 15 fev 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 6416:2015: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 25 p.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BORBA, Andreilcy Alvino et al. **Desastres naturais no Brasil e no mundo: uma análise holística com ênfase nos impactos dos eventos hidrológicos e meteorológicos**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 73718-73740, 2020.
- BORGES, MARILIA CANDIDA PINTO; ALVES, ALBUQUERQUE. **ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL NA REGIÃO**. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília – UNB. 2018.
- BRANDS, Alexandre Gustavo et al. **Avaliação dos impactos do regime de precipitação atual no Sistema de Drenagem Urbana de Boa Vista-RR**. Dissertação de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2023. **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 9 abr. 2025.
- BRASIL. Marinha do Brasil. **MB instala novo pluviógrafo em Ladário (MS) e reforça estudos na região**. 2017. Disponível em: < <https://www.marinha.mil.br/noticias/mb-instala-novo-pluviografo-em-ladario-ms-e-reforca-estudos-na-regiao>>. Acesso em: 03 fev. 2025.
- BRAY, B. et al. **RAIN GARDEN GUIDE**. London: Ciria, 2011. Disponível em: <

<https://raingardens.info/wp-content/uploads/2012/07/UKRainGarden-Guide.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2024.

BUTLER, D.; DAVIES, J. **Urban drainage**. 3. Ed. London: Spon Press, 2011.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de textos, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI: insumos e composições, junho/2025**. Brasília, DF: Caixa/IBGE, 2025. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 15 ago. 2025.

Canteiros centrais – Arborização deixa a cidade mais bonita e agradável. **RR Interativo**. Roraima, janeiro. 2014. Seção CIDADE. Disponível em: <<https://rrinterativo.com.br/canteiros-centrais-arborizacao-deixa-a-cidade-mais-bonita-e-gradavel/>>. Acesso em: 19 fev. 2025.

CAROLINA: **A STUDY OF WATER QUALITY, WATER QUANTITY, AND SOIL MEDIA**. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, 2006.

CARVALHO, Reinaldo Gama de. **Obtenção da curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de chuvas intensas para a bacia hidrográfica do Igarapé Murupu, Boa Vista-RR**. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2007.

CASTRO, T. Q. “Avaliação do desempenho experimental de pavimentos permeáveis para o município de Goiânia, Goiás.” Goiania, 2011.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p. (Water Resources and Environmental Engineering).

COLLISCHONN, W. DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH. Porto Alegre, 2013.

COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14102009-182636/en.php>

CREDIT VALLEY CONSERVATION. **Stormwater Management Criteria**. Credit Valley Conservation Authority, Mississauga. 38p, 2012.

DOD – UNITED STATES DEPARTMENT OF DEFENSE. **Low impact development**. Washington, 2004.

DOURADO, Luana Soares; SILVA, Marcela Andrade. **Jardim de chuva como técnica compensatória: um estudo no município de Goiânia**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. 2020.

DOS SANTOS, Valéria Carneiro; DAS NEVES, Marllus Gustavo FP. **CALIBRAÇÃO DO MODELO SWMM PARA UM TELHADO CERÂMICO.**

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias – unidade 1 – a bacia hidrográfica.** disponível em: <https://planejamento.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/planejamento_manejo_e_gestao_unidade_1.pdf> Acesso em: 08 fev 2022.

FLETCHER, T. D. et al. (2014). “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and GALLOWAY, Gerald et al. **THE GROWING THREAT OF URBAN FLOODING.** EUA: University Of Maryland e Texas A&m University, 2018.

Forte chuva alaga ruas e casas em vários bairros de Boa Vista. **G1**, Boa Vista, março. 2025. Seção RORAIMA. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2025/03/08/forte-chuva-alaga-ruas-e-casas-em-varios-bairros-de-boa-vista.ghtml>>. Acesso em: 09 abr. 2025.

G1. **Um mês de enchentes no RS: veja cronologia do desastre.** G1, 29 maio 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/29/um-mes-de-enchentes-no-rs-veja-cronologia-do-desastre.ghtml>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

HESS, Amanda Jean. **MONITORING OF EVAPOTRANSPIRATION AND INFILTRATION IN RAIN GARDEN DESIGNS.** 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Villanova University, Villanova, 2014.

ICLEI BRASIL Brasil. Módulo 4: **Manejo de Águas Pluviais – explorando opções.** In. **Kit de Treinamento SWITCH: Gestão Integrada das Águas na cidade do futuro.** São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.switchtraining.eu/portugues/>. Acesso em: 12 fev 2022.

IGNATIEVA, M.; STEWART, G.; MEURK, C. **Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology.** Landscape Review. 2008; 12:61-73.

_____. Censo Demográfico 2000. **Características da população e dos domicílios – Resultado do Universo.** Rio de Janeiro, 2000

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022 – Panorama do Censo 2022.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em 07 jul. 2024.

Jardins de chuva melhoram o escoamento das águas e trazem beleza para a capital paulista. **Prefeitura Municipal de São Paulo.** São Paulo, outubro. 2023. Secretaria Municipal das Subprefeituras. Disponível em: <<https://capital.sp.gov.br/web/subprefeituras/w/noticias/356074>>. Acesso em: 19 fev. 2025.

JÚNIOR, Antônio Carlos Ribeiro Araújo; JÚNIOR, Stélio Soares Tavares. **EXPANSÃO URBANA E FATORES DE RISCO À INUNDAÇÃO EM BOA VISTA–RR. Ra’e Ga**, v. 44, p. 139-153, maio 2018. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/328067951.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2023

LIMA, L. S. de. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de**

modelagem dinâmica. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011

LIONG, S. Y. et al. **Computer-aided catchment calibration model.** Advances in Engineering Software, v. 17, 147-154 pp. 1993.

LIPTAN, Tomas; MURASE, Robert K. **Watergardens as Stormwater Infrastructure in Portland, Oregon.** 2017. Disponível em: <<https://www.portlandoregon.gov/bes/article/41627>>. Acesso em: 21 fev 2022.

LOURENÇO, R. R. A.; **SISTEMAS URBANOS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS.** Dissertação (Mestrado). Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em Construção Urbana. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra, 2014.

MARINHO FILHO, Gilberto Milhomem et al. **Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades.** Revista de Ciências Ambientais, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2012. Disponível em: <<https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/268>>. Acesso em: 07 mar. 2024.

MELBOURNE WATER. **Introduction to WSUD.** 28 September 2017. Disponível em: <<https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/stormwater-management/introduction-wsud>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

MELLO, Fernanda Barbosa Gomes. **Comparativo de custos de implantação de pavimento convencional e pavimento permeável.** 2022.

MELO, T. A. T et al. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para manejo das águas pluviais urbanas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014.

MELO, T. A. T. **JARDIM DE CHUVA: SISTEMA DE BIORRETENÇÃO COMO TÉCNICA COMPENSATÓRIA NO MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2011.

MIGUEZ, Marcelo. **Drenagem Urbana - Do Projeto Tradicional à Sustentabilidade.** GEN LTC, 2015.

MOLINARI, D. C.; VIEIRA, A. F. G. **Considerações preliminares sobre a capacidade de infiltração de água no solo no Distrito Industrial II Manaus (AM).** In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., 2004, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: UFSM, 2004. 16 p.

MONTE, Benício Emanuel Omena et al. **Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis.** RBRH, v. 21, n. 1, p. 152-167, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbrh/a/S96LJwXfz7GKqDGjxTK84rJ/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 22 jan. 2024.

MORAES, Jorge M. et al. **Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 1, p. 61-70, 2003. Disponível em: <https://abr.h3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/37/ea2d4101b880b05d15b74a4d9c6a84>

dc_d45df4743c90a5175db8d43178c5e667.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.

MOTTA, L. D. A. **Procedimentos de projeto viário em pavimentos permeáveis com base na abnt nbr 16.416/2015 – comparação entre blocos permeáveis e convencionais.** Dissertação (Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2019. 97 f.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Inundações atingem 250 milhões de pessoas por ano no mundo, calcula ONU.** 26 jun. 2013. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/63046-inunda%C3%A7%C3%B5es-atingem-250-milh%C3%B5es-de-pessoas-por-ano-no-mundo-calcula-onu>>. Acesso em: 03 fev. 2025.

NASCIMENTO, Ana Carolina Borges do. **Dimensionamento de canal usando software Storm Water Management Model (SWMM).** 2020. n°1 f.67. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental.) – Faculdade de Tecnologia. Universidade Estadual de Campinas. Limeira, 2020.

NSTC - **United States Federal Council for Science and Technology.** Disponível em: <<https://www.whitehouse.gov/ostp/nstc/>> Acesso em: 15 jan 2022.

NUNES, Marcus. **Dimensionamento de boca de lobo para drenagem urbana.** Portal do Projetista, 26 set. 2016. Disponível em: <<https://portaldoprojetista.com.br/dimensionamento-de-boca-de-lobo-para-drenagem-urbana/>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

OHNUMA JUNIOR, A. A. **Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, C. A. **Avaliação do desempenho de estruturas de baixo impacto para o manejo de águas pluviais em lotes residenciais urbanos.** 2024. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2024.

ORGUEL. **QUAIS SÃO AS VANTAGENS DO TELHADO VERDE?.** 2016. Disponível em: <<https://orguel.com.br/quais-sao-vantagens-telhado-verde/>>. Acesso em: 03 fev. 2025.

PAIVA COUTINHO, Artur. **Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife.** 2011.

POMPÊO, Cesar Augusto. **DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.** Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Florianópolis, v. 5, n. 1, p.15-23, jan/mar. 2000.

POMPÊO, Cesar Augusto. **Drenagem urbana sustentável.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PREFEITURA DE LOUVEIRA. **Canalização do Córrego Sapezal alia responsabilidade ambiental e infraestrutura na rotatória da Atilio Biscuola.** 28 ago. 2023. Disponível em: <<https://louveira.sp.gov.br/conteudo/canalizacao-do-corrego-sapezal-alia-responsabilidade-ambiental-e-infraestrutura-na-rotatoria-da-atilio-biscuola>>. Acesso em: 04 fev. 2025.

Prefeitura Municipal de Boa Vista. Disponível em: <<https://rrinterativo.com.br/canteiros-centrais-prefeitura-de-boa-vista-investe-na-manutencao-e-ornamentacao-de-plantas/>> Acesso em: 25 jul 2022.

RAFAEL-MIÑOPE, Willians Franklin et al. **Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura.** Iteckne, v. 19, n. 1, p. 46-60, 2022. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-17982022000100046&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 fev. 2025.

ROCCO, Domenic. **A Risk-Based Approach for Sizing Stormwater Infiltration BMPs.** Watershed Management Program PA DEP Southeast Region. Filadelfia, Pennsylvania, 2009.

ROCHA, Maria de Jesus Delmiro; PEREIRA, Silvano Porto; LIMA, Iran Eduardo. **Integração do SWMM e ferramentas SIG para modelagem hidrológico-hidráulica de bacia complexa.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 26, n. 3, p. 451-459, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/zrPY3fsHmvkPMGChsgcTZYh/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 08 fev. 2024.

ROCHA, Nayda. **PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA (GOIÂNIA - GO) UTILIZANDO O SWMM – STORM WATER MANAGEMENT MODEL.** 2013. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Meio Ambiente, Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/2927/5/Disserta%c3%a7%cc3%a3o%20-%20Nayda%20Rocha.pdf>. Acesso em: 20 fev.2025.

Roraima registra piores enchentes dos últimos 35 anos. **G1**, São Paulo, junho. 2011. Seção BRASIL. Disponível em: <<https://g1.globo.com/brasil/noticia/2011/06/roraima-registra-piores-enchentes-dos-ultimos-35-anos.html>>. Acesso em: 03 fev. 2025.

ROSA, et al., **Técnicas urbanísticas para mitigação da impermeabilização.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2015. 30 pp.

ROSSMAN, L.; M. SIMON. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-22/030, 2022

ROSSMAN, L.; W. HUBER. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume I - Hydrology.** U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-15/162A, 2015.

ROSSMAN, L. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume II – Hydraulics.** U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-17/111, 2017.

ROSSMAN, L; W. HUBER. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality.** U.S. EPA Office of Research and Development, Washington, DC, EPA/600/R-16/093, 2016.

SAATKAMP, Gabriela de Almeida. **Jardim de chuva: estudo comparativo de um sistema**

de biorretenção de uma bacia de amortecimento pluvial. 2019.

SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais da cidade de São Paulo: volume 3 – Aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos.** São Paulo: SMDU, 2012. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivo_s/manual-drenagem_v3.pdf> Acesso em: 11 abr. 2025.

SANDER, Carlos et al. **INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS EM CANAIS FLUVIAIS EM ÁREAS URBANIZADAS: REDE DE DRENAGEM DO IGARAPÉ CARANÃ, BOA VISTA-RR.** Boa Vista: Acta Geográfica, 2012. Disponível em: <<https://revista.ufr.br/index.php/actageo/article/view/900/741>>. Acesso em: 17 nov. 2024.

SANTIAGO, Isaque. BV tem 56 bairros, alguns desconhecidos. **Folha de Boa Vista**, Roraima, 13 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.folhabv.com.br/cotidiano/bv-tem-56-bairros-alguns-desconhecidos/>>. Acesso em 10 jul. 2024.

SANTINI JUNIOR, Mauricio Antonio. **MODELAGEM HIDRÁULICA/HIDROLÓGICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL COM A UTILIZAÇÃO DO SWMM INTEGRADO AO SIG: O EXEMPLO DE ILHA SOLTEIRA-SP.** 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Faculdade de Engenharia - Unesp, Ilha Solteira, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153972>> Acesso em: 20 fev. 2025.

SEPF - SECRETARIA MUNICIPAL DE ECONOMIA, PLANEJAMENTO E FINANÇAS. **Levantamento Topográfico Planimétrico Cadastral da Cidade de Boa Vista-RR.** Boa Vista, 2020. Escala 1:10.000. Disponível em: <https://boavista.rr.gov.br/storage/paginas/mapa-cartografico/BASE_GERAL_2020.pdf>. Acesso em 08 ago. 2024.

SHARKEY, Lucas John. **THE PERFORMANCE OF BIORETENTION AREAS IN NORTH SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>> Acesso em: 23 fev 2022.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas.** Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.9-18, maio 2012.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas.** Rbrh – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p.9-18, maio 2012.

SOUZA, S. A. Medidas Estruturais Extensivas. In. MENDES, H. C., de MARCO, G; ANDRADE, J. P. M.; SOUZA, S. A.; MACEDO, R. F. In. **Reflexões sobre impactos das inundações e propostas de políticas de públicas mitigadoras.** Trabalho de conclusão da disciplina “Hidrologia Física” do Programa de Pós-graduação em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 196 pp. SUSDRAIN. Disponível em: <<https://www.susdrain.org>>. Acesso em: 15 fev 2022.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. **Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. [s.l: s.n.].

SANGALLI, N. C. R. **MODELAGEM HIDROLÓGICA DE UM MÓDULO EXPERIMENTAL DE PAVIMENTO PERMEÁVEL POROSO UTILIZANDO O EPA SWMM**. Dissertação. 2021.

TATSCH, Jônatan. **Hidrometeorologia**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 2020. Disponível em: <<https://lhmet.github.io/hidrometeobook/>>. Acesso em: 03 fev. 2025.

TBN2NET. **SWMM LID Control - Precipitation & Evapotranspiration**. Disponível em: <https://tbn2net.com/help/SOLIDOS/SwmmLidControlPP.html>. Acesso em: 20 fev. 2025.

TISCHER, L. P. **Equações de Chuvas Intensas no Estado de Roraima**. Universidade Federal de Roraima, Boa Vista-RR, 2015.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan/mar 2002.

_____. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997.

_____. **Drenagem urbana**. Ciência e cultura, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

_____. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.

_____; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na América do Sul**. Ed. dos Autores, 2003.

_____. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH: Editora da UFRGS, 2005.

TZIAMPOU, N.; et al. **Fluid transport within permeable pavement systems: a review of evaporation processes, moisture loss measurement and the current state of knowledge: A review of evaporation processes, moisture loss measurement and the current state of knowledge**. Construction And Building Materials, v. 243, p. 118 – 179, 2020.

UN HABITAT - UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **World Cities Report 2024: Cities and Climate Action**. Nairobi: UN-Habitat, 2024. Disponível em: <https://unhabitat.org/sites/default/files/2024/11/wcr2024_-_full_report.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2025.

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. **ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA DE MARINÓPOLIS**. Faculdade de Engenharia - Unesp Câmpus de Ilha Solteira. 2020. Disponível em: <<https://www.feis.unesp.br/#!/departamentos/fitossanidade-engenharia-rural-e-solos/irrigacao/extensao6768/fotosestacao2/>>. Acesso em: 03 fev. 2025.

UN-HABITAT - UNITED NATIONS HABITAT. **Sustainable urbanization: local actions for urban poverty reduction, emphasis on finance and planning: Governance Council**, 16–20 April, Nairobi, Kenya, 2007.

UNITED NATIONS – DESA - World Urbanization Prospects, the 2011 Revision. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York 2012. Disponível em: <http://esa.un.org/unup/Maps/maps_overview.htm> Acesso em 20 fev 2022.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater detention for drainage, water quality and CSO management**. New Jersey: Practice-Hall, 1990.

_____. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p. 1993.

WARWICK, J. J.; TADEPALLI, P. **Efficacy of SWMM Application**. ASCE – Journal of Water Planning and Management, v. 117, n. 3, May/June, 1991, 352-366 pp. 1991.

WEATHERSPARK. **Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Boa Vista (Roraima, Brasil) durante o ano**. WeatherSpark, [s.d.]. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/28818/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Boa-Vista-Roraima-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 01 ago. 2025.

WOODS BALLARD, B. et al. **The SuDS Manual**. Londres: Ciria, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – DADOS DE ENTRADA DE SUB-BACIAS NO SWMM

Figura 64 – Dados de entrada das sub-bacias

Dados iniciais												
Cota alta (m):	83,886											
Cota baixa (t):	79,8											
TR (anos):	5											
L (m):	525,9	L (km):	0,5259									
Δh (m):	4,086											
tc:	15,78	tc adot.:	15,78									
i:	132,71	mm/H:										

$$K_c = 0,282 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$$

$$I_e = \frac{K_c \times \sqrt{A}}{1,12} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c} \right)^2} \right) \right)$$

BRANDS, 2023

$$i = \frac{1026,68 \cdot T_r^{0,21}}{(t + 11,63)^{0,72}}$$

$$t_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385}$$

Sub-bacias	A (m²)	A (ha)	W (m)	P (m)	Kc	Cota alta (m)	Cota baixa (m)	Δh (m)	L (m)	S (%)	C (adm)	100C
1	1100	0,11	11	220,50	1,874828	83,135	83,042	0,093	88,2	0,11	0,8	80
2	1200	0,12	12	225,37	1,834656	83,132	82,839	0,293	90,1	0,33	0,8	80
3	1500	0,15	13	252,45	1,838141	83,604	83,132	0,472	101	0,47	0,8	80
4	1600	0,16	14	259,55	1,829828	83,772	83,441	0,331	104	0,32	0,8	80
5	1700	0,17	15	260,19	1,779571	83,441	83,108	0,333	104	0,32	0,8	80
6	1500	0,15	13	248,67	1,810618	83,587	83,256	0,331	99,5	0,33	0,8	80
7	1100	0,11	11	225,37	1,916235	83,108	82,742	0,366	90,1	0,41	0,8	80
8	1600	0,16	15	236,62	1,668171	83,256	82,948	0,308	94,6	0,33	0,8	80
9	1400	0,14	12	249,96	1,88389	83,402	83,069	0,333	100	0,33	0,8	80
10	1800	0,18	18	234,58	1,559207	83,402	83,219	0,183	93,8	0,20	0,8	80
11	1400	0,14	25	144,12	1,086199	82,292	81,944	0,348	57,6	0,60	0,8	80
12	2400	0,24	34	206,87	1,190806	83,033	82,292	0,741	82,7	0,90	0,8	80
13	3400	0,34	42	243,41	1,177194	83,886	82,75	1,136	97,4	1,17	0,8	80
14	2000	0,2	30	191,92	1,210192	82,292	81,966	0,326	76,8	0,42	0,8	80
15	2000	0,2	30	191,69	1,208742	82,75	82,106	0,644	76,7	0,84	0,8	80
16	2100	0,21	31	196,49	1,209149	83,322	82,549	0,773	78,6	0,98	0,8	80
17	1500	0,15	29	161,03	1,172493	83,512	83,005	0,507	64,4	0,79	0,8	80
18	500	0,05	9	131,72	1,661177	83,998	83,322	0,676	52,7	1,28	0,8	80
19	600	0,06	17	104,80	1,206521	83,998	83,711	0,287	41,9	0,68	0,8	80
20	2100	0,21	30	199,61	1,228349	83,772	83,402	0,37	79,8	0,46	0,8	80
21	1200	0,12	22	151,20	1,230865	83,751	83,322	0,429	60,5	0,71	0,8	80
22	1400	0,14	17	195,23	1,471403	83,998	83,604	0,394	78,1	0,50	0,8	80
23	1400	0,14	27	156,37	1,178524	83,682	83,341	0,341	62,5	0,55	0,8	80
24	1400	0,14	27	156,37	1,178524	83,512	83,219	0,293	62,5	0,47	0,8	80
25	1800	0,18	23	202,47	1,345778	83,219	82,991	0,228	81	0,28	0,8	80
26	1800	0,18	23	201,95	1,342322	81,978	81,942	0,036	80,8	0,04	0,8	80
27	2400	0,24	38	200,44	1,153793	82,224	81,953	0,271	80,2	0,34	0,8	80
28	2100	0,21	34	189,89	1,168535	82,628	81,998	0,63	76	0,83	0,8	80
29	2300	0,23	34	201,44	1,184489	83,005	82,433	0,572	80,6	0,71	0,8	80
30	1900	0,19	37	175,16	1,133202	83,236	82,993	0,243	70,1	0,35	0,8	80
31	1500	0,15	31	157,96	1,15014	83,219	82,998	0,221	63,2	0,35	0,8	80
32	2000	0,2	36	182,27	1,149342	82	81,953	0,047	72,9	0,06	0,8	80
33	2400	0,24	37	202,53	1,165824	81,998	81,941	0,057	81	0,07	0,8	80
34	2100	0,21	34	189,64	1,166996	82,433	81,977	0,456	75,9	0,60	0,8	80
35	2300	0,23	35	200,20	1,177197	82,993	82,35	0,643	80,1	0,80	0,8	80
36	1900	0,19	36	176,13	1,139477	83,034	82,93	0,104	70,5	0,15	0,8	80
37	1600	0,16	34	161,17	1,136249	83,034	82,991	0,043	64,5	0,07	0,8	80
38	1700	0,17	29	174,80	1,195545	82	81,941	0,059	69,9	0,08	0,8	80
39	2000	0,2	29	195,91	1,235352	81,995	81,938	0,057	78,4	0,07	0,8	80
40	1800	0,18	28	182,47	1,212842	82,503	81,975	0,528	73	0,72	0,8	80
41	1900	0,19	31	183,95	1,190069	83,005	82,408	0,597	73,6	0,81	0,8	80
42	1900	0,19	26	197,90	1,280319	83,016	82,969	0,047	79,2	0,06	0,8	80
43	1400	0,14	24	144,38	1,088158	82,983	82,964	0,019	57,8	0,03	0,8	80
44	1500	0,15	27	163,59	1,191133	82,983	82,94	0,043	65,4	0,07	0,8	80
45	1200	0,12	29	140,14	1,140829	82,953	82,829	0,124	56,1	0,22	0,8	80
46	1900	0,19	29	187,51	1,2131	82,966	82,699	0,267	75	0,36	0,8	80
47	1900	0,19	30	184,46	1,193368	82,859	82,215	0,644	73,8	0,87	0,8	80

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

APÊNDICE B – DADOS DE ENTRADA DE POÇOS DE VISITA NO SWMM

Figura 65 – Dados de entrada dos PVs

PV	CT (m)	Recob (m)	Diâmetro rede (m)	CF (m)	Máx. Prof. (m)
1	83,12	1,00	0,40	81,62	1,50
2	83,26	1,00	0,40	81,76	1,50
3	83,40	1,00	0,40	81,90	1,50
4	83,34	1,00	0,40	81,84	1,50
5	83,17	1,00	0,40	81,67	1,50
6	82,99	1,00	0,40	81,49	1,50
7	83,00	1,00	0,40	81,50	1,50
8	83,16	1,00	0,40	81,66	1,50
9	83,61	1,00	0,40	82,11	1,50
10	83,77	1,00	0,40	82,27	1,50
11	82,33	1,00	0,40	80,83	1,50
12	82,78	1,00	0,40	81,28	1,50
13	83,32	1,00	0,40	81,82	1,50
14	83,50	1,00	0,40	82,00	1,50
15	81,95	1,00	0,40	80,45	1,50
16	82,01	1,00	0,40	80,51	1,50
17	82,50	1,00	0,40	81,00	1,50
18	83,01	1,00	0,40	81,51	1,50
19	83,03	1,00	0,40	81,53	1,50
20	83,82	1,00	0,40	82,32	1,50
21	83,00	1,00	0,40	81,50	1,50
22	81,93	1,00	0,40	80,43	1,50
23	81,98	1,00	0,40	80,48	1,50
24	82,44	1,00	0,40	80,94	1,50
25	83,00	1,00	0,40	81,50	1,50
26	82,71	1,00	0,40	81,21	1,50
27	82,84	1,00	0,40	81,34	1,50
28	82,95	1,00	0,40	81,45	1,50
29	82,98	1,00	0,40	81,48	1,50
30	82,93	1,00	0,40	81,43	1,50
31	82,54	1,00	0,40	81,04	1,50
E	79,80	1,00	0,40	78,30	1,50

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

APÊNDICE C – DADOS DE ENTRADA DE REDES NO SWMM

Figura 66 – Dados de entrada dos condutos

Redes	Díâmetro(m)	Comprimento (m)	Rugosidade
1	0,4	63,17	0,015
2	0,4	51,7	0,015
3	0,4	62,37	0,015
4	0,4	30,73	0,015
5	0,4	37,18	0,015
6	0,4	43,54	0,015
7	0,4	30,28	0,015
8	0,4	58,45	0,015
9	0,4	59,83	0,015
10	0,4	52,16	0,015
11	0,4	7,06	0,015
12	0,4	64,05	0,015
13	0,4	62,47	0,015
14	0,4	53,08	0,015
15	0,4	43,37	0,015
16	0,4	59,72	0,015
17	0,4	60,37	0,015
18	0,4	59,69	0,015
19	0,4	47,63	0,015
20	0,4	37,41	0,015
21	0,4	59,5	0,015
22	0,4	60,23	0,015
23	0,4	60	0,015
24	0,4	52,29	0,015
25	0,4	60,09	0,015
26	0,4	39,83	0,015
27	0,4	47,48	0,015
28	0,4	20,58	0,015
29	0,4	40,14	0,015
30	0,4	61,48	0,015
31	0,4	59,58	0,015

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

APÊNDICE D – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS

Figura 67 – Composição – Preparo de fundo de vala até 1,5 m

Composição						
	7	LASTRO DE VALA COM PREPARO DE FUNDO, LARGURA MENOR QUE 1,5 M, COM CAMADA DE AREIA, LANÇAMENTO MANUAL, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. BASE SINAPI 94116 08/2020	M3		179,62	188,77
SINAPI	91533	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,069	39,50	42,29
SINAPI	91534	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,064	31,26	34,05
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,097	21,49	23,11
SINAPI	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,06	29,85	32,46
SINAPI-I	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M3	1	68,34	68,34

Figura 68 – Composição – Isolamento da obra

Composição						
	12	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLASTICA COM MALHA DE 5MM E ESTRUTURA DE MADEIRA PONTALETEADA	M2		22,83	24,48
SINAPI	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,34	29,42	32,00
SINAPI	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,43	22,63	24,41
SINAPI-I	4491	PONTALETE *7,5 X 7,5* CM EM PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	0,06	5,53	5,53
SINAPI-I	5061	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,01	16,23	16,23
SINAPI-I	4509	SARRAFO *2,5 X 10* CM EM PINUS, MISTA OU EQUIVALENTE DA REGIAO - BRUTA	M	0,2	2,81	2,81
SINAPI-I	7170	TELA FACHADEIRA EM POLIETILENO, ROLO DE 3 X 100 M (L X C), COR BRANCA, SEM LOGOMARCA - PARA PROTECAO DE OBRAS	M2	0,55	3,72	3,72

Figura 69 – Composição – Tubo de concreto 800 mm

Composição						
	14	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 800 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92223	M		459,95	463,08
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,1005	225,71	228,66
SINAPI	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,195	91,79	94,74
COTAÇÃO	5	TUBO DE CONCRETO ARMADO PARA AGUAS PLUVIAIS, CLASSE PA-1, COM ENCAIXE PONTA E BOLSA, DIÂMETRO NOMINAL DE 800 MM	M	1,03	370,00	370,00
SINAPI	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4489	19,32	20,82
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8979	21,49	23,11
SINAPI	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,0093	1.107,28	1.121,17

Figura 70 – Composição – Tubo de concreto 1000 mm

Composição						
	15	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1000 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92226	M		689,97	694,40
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,1409	225,71	228,66
SINAPI	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,2734	91,79	94,74
COTAÇÃO	6	TUBO DE CONCRETO ARMADO PARA AGUAS PLUVIAIS, CLASSE PA-1, COM ENCAIXE PONTA E BOLSA, DIÂMETRO NOMINAL DE 1000 MM	M	1,03	560,00	560,00
SINAPI	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6295	19,32	20,82
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,2591	21,49	23,11
SINAPI	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,0154	1.107,28	1.121,17

Figura 71 – Composição – Tubo de concreto 1200 mm

Composição						
	16	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1200 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92829	M		949,04	954,44
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,1701	225,71	228,66
SINAPI	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,3301	91,79	94,74
COTAÇÃO	7	TUBO DE CONCRETO ARMADO PARA AGUAS PLUVIAIS, CLASSE PA-1, COM ENCAIXE PONTA E BOLSA, DIÂMETRO NOMINAL DE 1200 MM	M	1,03	784,00	784,00
SINAPI	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,7601	19,32	20,82
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,5202	21,49	23,11
SINAPI	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,023	1.107,28	1.121,17

Figura 72 – Composição – Escoramento de vala

Composição	17	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO CONTÍNUO, COM PROFUNDIDADE DE 1,5 M A 4,0 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M	M2		11,05	11,26
SINAPI	88251	AUXILIAR DE SERRALHEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0612	22,81	24,58
SINAPI	88315	SERRALHEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,006	29,64	32,22
Cotação	11	PERFIL "I" OU "W" EM AÇO LAMINADO, QUAISQUER DIMENSOES	KG	0,08	26,90	26,90
Cotação	12	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 3/8" (9,53 MM) 74,69 KG/M2	KG	0,0075	14,00	14,00
Cotação	13	CHAPA DE AÇO GROSSA, ASTM A36, E = 1/4" (6,35 MM) 49,79 KG/M2	KG	0,0623	17,50	17,50
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0224	225,71	228,66
SINAPI	98750	SOLDA DE TOPO EM CHAPA/PERFIL/TUBO DE AÇO CHANFRADO, ESPESSURA=3/8". AF_06/2018	M	0,0086	123,43	128,14

Figura 73 – Composição – Tubo de concreto 400 mm

Composição	18	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 400 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92219	M		344,29	346,58
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0743	225,71	228,66
SINAPI	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,1442	91,79	94,74
COTAÇÃO	4	TUBO DE CONCRETO ARMADO PARA AGUAS PLUVIAIS, CLASSE PA-1, COM ENCAIXE PONTA E BOLSAS, DIÂMETRO NOMINAL DE 400 MM	M	1,03	280,00	280,00
SINAPI	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,332	19,32	20,82
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,664	21,49	23,11
SINAPI	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,0047	1.107,28	1.121,17

Figura 74 – Composição - PV

Composição	26	Poço de visita - PVI 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003680	UND		3.160,38	3.191,56
SICRO	0407820	Armação em aço CA-60 - fornecimento, preparo e colocação	kg	17	14,41	14,41
Composição	01	Concreto fck = 20 MPa - confecção em betoneira e lançamento manual - areia e brita comerciais BASEADA NA COMP 1107892	M³	1,67	1.029,03	1.047,70
SICRO	3103302	Fôrmas de tábuas de pinho para dispositivos de drenagem - utilização de 3 vezes - confecção, instalação e retirada	m²	15,05	79,53	79,53

Figura 75 – Composição - Boca de Lobo Simples

Composição	27	Boca de lobo simples - grelha de concreto - BLSG 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003628	UND		1.443,12	1.447,95
SICRO	P9824	Servente	h	0,1	20,04	21,63
SICRO	2009619	Alvenaria de blocos de concreto 19 x 19 x 39 cm com espessura de 20 cm - areia comercial	m²	5,68	134,95	134,95
SICRO	1109669	Argamassa de cimento e areia 1:3 - confecção em betoneira e lançamento manual - areia comercial	m³	0,09	792,80	792,80
SICRO	0407819	Armação em aço CA-50 - fornecimento, preparo e colocação	kg	4,1	12,90	12,90
Composição	01	Concreto fck = 20 MPa - confecção em betoneira e lançamento manual - areia e brita comerciais BASEADA NA COMP 1107892	M³	0,25	1.029,03	1.047,70
SICRO	1107896	Concreto fck = 25 MPa - confecção em betoneira e lançamento manual - areia e brita comerciais	m³	0,06	776,02	776,02
SICRO	3103302	Fôrmas de tábuas de pinho para dispositivos de drenagem - utilização de 3 vezes - confecção, instalação e retirada	m²	3,1	79,53	79,53

Figura 76 – Composição – Tubo de Concreto 600 mm

Composição	29	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 600 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASEADO NA COMPOSIÇÃO 92221	M		370,44	372,97
SINAPI	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,0824	225,71	228,66
SINAPI	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,16	91,79	94,74
COTAÇÃO	8	TUBO DE CONCRETO ARMADO PARA AGUAS PLUVIAIS, CLASSE PA-1, COM ENCAIXE PONTA E BOLSAS, DIÂMETRO NOMINAL DE 600 MM	M	1,03	300,00	300,00
SINAPI	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3684	19,32	20,82
SINAPI	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,7368	21,49	23,11
SINAPI	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (EM VOLUME DE CIMENTO E AREIA MÉDIA ÚMIDA), PREPARO MANUAL. AF_08/2019	M3	0,0047	1.107,28	1.121,17

APÊNDICE E – PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS

Figura 77 – Planilha orçamentária – drenagem convencional sem LID

1.6.		DRENAGEM							-	2.154.339,53
1.6.1.	SINAPI	99063	LOCAÇÃO DE REDE DE ÁGUA OU ESGOTO. AF 03/2024	M	8.073,18	9,78	BDI 1	12,14	98.008,41	
-	SINAPI	90082	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. DE 1,5 M A 2,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	-	10,16	BDI 1	12,62	-	
1.6.2.	SINAPI	90084	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARGURA ATÉ 1,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	2.210,30	9,84	BDI 1	12,22	27.009,87	
1.6.3.	SINAPI	90087	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. DE 3,0 M ATÉ 4,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (1,2 M3), LARG. DE 1,5 M A 2,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	5.862,88	9,21	BDI 1	11,44	67.071,35	
1.6.4.	SINAPI	93368	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³/POTÊNCIA: 111 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA, COM COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO. AF 08/2023	M3	6.939,46	22,12	BDI 1	27,47	190.626,97	
1.6.5.	Composição	7	LASTRO DE VALA COM PREPARO DE FUNDO, LARGURA MENOR QUE 1,5 M, COM CAMADA DE AREIA, LANÇAMENTO MANUAL, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. BASE SINAPI 94116 08/2020	M3	812,89	188,77	BDI 1	234,41	190.549,54	
1.6.6.	Composição	12	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLÁSTICA COM MALHA DE 5MM E ESTRUTURA DE MADEIRA PONTALETEADA	M2	2.606,26	24,48	BDI 1	30,40	79.230,30	
1.6.7.	Composição	17	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO CONTÍNUO, COM PROFUNDIDADE DE 1,5 M A 4,0 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M	M2	9.354,73	11,26	BDI 1	13,98	130.779,13	
-	Composição	18	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 400 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92219	M	-	346,58	BDI 1	430,38	-	
1.6.8.	Composição	29	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 600 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASEADO NA COMPOSIÇÃO 92221	M	242,31	372,97	BDI 1	463,15	112.225,88	
1.6.9.	Composição	14	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 800 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92223	M	744,78	463,08	BDI 1	575,05	428.285,74	
1.6.10.	Composição	15	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1000 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92226	M	366,89	694,40	BDI 1	862,31	316.372,92	
1.6.11.	Composição	16	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1200 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92829	M	191,46	954,44	BDI 1	1.185,22	226.922,22	
-	Composição	19	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1500 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92831	M	-	1.327,04	BDI 1	1.647,92	-	
1.6.12.	Composição	26	Poço de visita - PVI 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003680	UND	38,00	3.191,56	BDI 1	3.963,28	150.604,64	
1.6.13.	Composição	27	Boca de lobo simples - grelha de concreto - BLSG 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003628	UND	76,00	1.447,95	BDI 1	1.798,06	136.652,56	
-	Composição	28	Boca de lobo dupla - grelha de concreto - BLDG 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003636	UND	-	2.690,75	BDI 1	3.341,37	-	
-	SICRO	2003652	Caixa de ligação e passagem - CLP 06 - areia e brita comerciais	un	-	5.327,87	BDI 1	6.616,15	-	
-	SICRO	2003662	Caixa de ligação e passagem - CLP 11 - areia e brita comerciais	un	-	4.718,31	BDI 1	5.859,20	-	

Figura 78 – Planilha Orçamentária – drenagem convencional com LID

DRENAGEM										
1.6.									-	1.794.551,40
1.6.1.	SINAPI	99063	LOCAÇÃO DE REDE DE ÁGUA OU ESGOTO. AF 03/2024	M	6.678,27	9,78	BDI 1	12,14		81.074,20
-	SINAPI	90082	ESCOVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. ATÉ 1,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARG. DE 1,5 M A 2,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	-	10,16	BDI 1	12,62		-
1.6.2.	SINAPI	90084	ESCOVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (0,8 M3), LARGURA ATÉ 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	1.904,36	9,84	BDI 1	12,22		23.271,28
1.6.3.	SINAPI	90087	ESCOVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. DE 3,0 M ATÉ 4,5 M (MÉDIA MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), ESCAVADEIRA (1,2 M3), LARG. DE 1,5 M A 2,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF 09/2024	M3	4.773,91	9,21	BDI 1	11,44		54.613,53
1.6.4.	SINAPI	93368	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³/POTÊNCIA: 111 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA, COM COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO. AF 08/2023	M3	5.944,33	22,12	BDI 1	27,47		163.290,75
1.6.5.	Composição	7	LASTRO DE VALA COM PREPARO DE FUNDO, LARGURA MENOR QUE 1,5 M, COM CAMADA DE AREIA, LANÇAMENTO MANUAL, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. BASE SINAPI 94116 08/2020	M3	547,27	188,77	BDI 1	234,41		128.285,56
1.6.6.	Composição	12	ISOLAMENTO DE OBRA COM TELA PLÁSTICA COM MALHA DE 5MM E ESTRUTURA DE MADEIRA PONTALETEADA	M2	1.478,66	24,48	BDI 1	30,40		44.951,26
1.6.7.	Composição	17	ESCORAMENTO DE VALA, TIPO CONTÍNUO, COM PROFUNDIDADE DE 1,5 M A 4,0 M, LARGURA MENOR QUE 1,5 M	M2	9.354,73	11,26	BDI 1	13,98		130.779,13
-	Composição	18	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 400 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92219	M	-	346,58	BDI 1	430,38		-
1.6.8.	Composição	29	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 600 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASEADO NA COMPOSIÇÃO 92221	M	806,11	372,97	BDI 1	463,15		373.349,85
1.6.9.	Composição	14	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 800 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92223	M	452,04	463,08	BDI 1	575,05		259.945,60
1.6.10.	Composição	15	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1000 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92226	M	287,29	694,40	BDI 1	862,31		247.733,04
-	Composição	16	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1200 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92829	M	-	954,44	BDI 1	1.185,22		-
-	Composição	19	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 1500 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. BASE 92831	M	-	1.327,04	BDI 1	1.647,92		-
1.6.11.	Composição	26	Poço de visita - PVI 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003680	UND	38,00	3.191,56	BDI 1	3.963,28		150.604,64
1.6.12.	Composição	27	Boca de lobo simples - grelha de concreto - BLSG 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003628	UND	76,00	1.447,95	BDI 1	1.798,06		136.652,56
-	Composição	28	Boca de lobo dupla - grelha de concreto - BLDG 02 - areia e brita comerciais BASEADO SICRO 2003636	UND	-	2.690,75	BDI 1	3.341,37		-
-	SICRO	2003652	Caixa de ligação e passagem - CLP 06 - areia e brita comerciais	un	-	5.327,87	BDI 1	6.616,15		-
-	SICRO	2003662	Caixa de ligação e passagem - CLP 11 - areia e brita comerciais	un	-	4.718,31	BDI 1	5.859,20		-

APÊNDICE F – CÁLCULO DE ESCORAMENTO E VOLUME DE ESCAVAÇÃO

Figura 79 – Quantitativo de Escoramento e Volume de escavação – sem LID

QUANTITATIVO POR VIA												
MEMORIA DE CALCULO VOLUME ESCAVAÇÃO E ESCORAMENTO CONTINUO												
VIA	TRECHO	TUBO	LARG	EXTENSÃO	MONTANTE			JUSANTE			ESCORAMENTO CONTINUO	VOLUME ESCAVAÇÃO
		Ø	VALA		TERRENO	PROJETO	PROFUND.	TERRENO	PROJETO	PROFUND.		
RUA CAB XV	T-01	80	150	63,17	83,12	81,18	1,94	83,26	80,61	2,65	289,95	217,46
	T-02	80	150	51,70	83,26	80,61	2,65	83,40	80,29	3,11	297,79	223,34
	T-03	100	190	62,37	83,40	80,29	3,11	83,34	80,03	3,31	400,42	380,39
	T-04	100	190	30,73	83,34	80,03	3,31	83,17	79,78	3,39	205,89	195,60
	T-05	100	190	37,18	83,17	79,78	3,39	83,00	78,70	4,30	285,91	271,62
	T-06	100	190	43,54	83,00	78,70	4,30	82,39	79,48	2,91	313,92	298,23
	T-07	120	230	30,26	82,39	79,48	2,91	83,00	78,81	4,19	214,85	247,07
	T-29	120	230	40,14	83,00	78,81	4,19	82,93	78,68	4,25	338,78	389,60
	T-30	120	230	61,48	82,93	78,68	4,25	82,54	78,38	4,16	517,05	594,60
	T-31	120	230	59,58	82,54	78,38	4,16	79,80	78,10	1,70	349,14	401,51
TOTAL											3.213,70	3.219,42
RUA CAB XVI	T-08	60	110	58,45	83,16	81,16	2,00	83,61	81,14	2,47	261,27	143,70
	T-09	80	150	59,83	83,61	81,14	2,47	83,77	80,84	2,93	323,08	242,31
	TOTAL											584,35
RUA CAB XXII	T-11	80	150	7,06	83,82	82,26	1,56	83,77	80,84	2,93	31,70	23,77
	T-10	80	150	52,16	83,77	80,84	2,93	83,40	80,29	3,11	315,05	236,28
	TOTAL											346,75
RUA CAB XXIII	T-12	60	110	64,05	82,33	79,92	2,41	82,78	79,65	3,13	354,84	195,16
	T-13	80	150	62,47	82,78	79,65	3,13	83,32	81,32	2,00	320,47	240,35
	T-14	80	150	53,08	83,32	81,32	2,00	83,50	81,33	2,17	221,34	166,01
	T-15	100	220	43,37	83,50	81,33	2,17	83,34	80,03	3,31	237,67	261,43
	TOTAL											1.134,32
AV AILÃ	T-16	60	110	59,72	81,95	80,02	1,93	82,01	79,72	2,29	252,02	138,61
	T-17	80	150	60,37	82,01	79,72	2,29	82,50	79,42	3,08	324,19	243,14
	T-18	80	150	59,69	82,50	79,42	3,08	83,01	79,12	3,89	416,04	312,03
	T-19	80	150	47,63	83,01	79,12	3,89	83,03	78,88	4,15	382,95	287,21
	T-20	100	220	37,41	83,03	78,88	4,15	83,00	78,70	4,30	316,11	347,73
	TOTAL											1.691,30
RUA CAB XXV	T-21	80	150	59,50	81,93	80,01	1,92	81,50	79,80	1,70	215,39	161,54
	T-22	80	150	60,23	81,50	79,80	1,70	82,44	79,41	3,03	284,89	213,67
	T-23	100	220	60,00	82,44	79,41	3,03	83,00	79,11	3,89	415,20	456,72
	T-24	100	220	52,29	83,00	79,11	3,89	83,00	78,87	4,13	419,37	461,30
	TOTAL											1.334,84
RUA CAB XV	T-25	60	110	60,09	82,71	80,29	2,42	82,84	79,91	2,93	321,48	176,81
	T-26	80	150	39,83	82,84	79,91	2,93	82,95	79,90	3,05	238,18	178,64
	T-27	80	150	47,48	82,95	79,90	3,05	82,98	79,16	3,82	326,19	244,64
	T-28	80	150	20,58	82,98	79,16	3,82	83,00	78,87	4,13	163,61	122,71
	TOTAL											1.049,46
TOTAL											9.354,73	8.073,18

Figura 80 - Quantitativo de Escoramento e Volume de escavação – com LID

QUANTITATIVO POR VIA												
MEMORIA DE CALCULO VOLUME ESCAVAÇÃO E ESCORAMENTO CONTINUO												
VIA	TRECHO	TUBO	LARG	EXTENSÃO	MONTANTE			JUSANTE			ESCORAMENTO CONTINUO	VOLUME ESCAVAÇÃO
		Ø	VALA		TERRENO	PROJETO	PROFUND.	TERRENO	PROJETO	PROFUND.		
RUA CAB XV	T-01	60	110	63,17	83,12	81,18	1,94	83,26	80,61	2,65	289,95	159,47
	T-02	60	110	51,70	83,26	80,61	2,65	83,40	80,29	3,11	297,79	163,79
	T-03	80	150	62,37	83,40	80,29	3,11	83,34	80,03	3,31	400,42	300,31
	T-04	80	150	30,73	83,34	80,03	3,31	83,17	79,78	3,39	205,89	154,42
	T-05	80	150	37,18	83,17	79,78	3,39	83,00	78,70	4,30	285,91	214,44
	T-06	100	190	43,54	83,00	78,70	4,30	82,39	79,48	2,91	313,92	298,23
	T-07	100	190	30,26	82,39	79,48	2,91	83,00	78,81	4,19	214,85	204,10
	T-29	100	190	40,14	83,00	78,81	4,19	82,93	78,68	4,25	338,78	321,84
	T-30	100	190	61,48	82,93	78,68	4,25	82,54	78,38	4,16	517,05	491,19
	T-31	100	190	59,58	82,54	78,38	4,16	79,80	78,10	1,70	349,14	331,68
TOTAL											3.213,70	2.639,47
RUA CAB XVI	T-08	60	110	58,45	83,16	81,16	2,00	83,61	81,14	2,47	261,27	143,70
	T-09	60	110	59,83	83,61	81,14	2,47	83,77	80,84	2,93	323,08	177,70
TOTAL											584,35	321,40
RUA CAB XXII	T-11	60	110	7,06	83,82	82,26	1,56	83,77	80,84	2,93	31,70	17,43
	T-10	60	110	52,16	83,77	80,84	2,93	83,40	80,29	3,11	315,05	173,28
TOTAL											346,75	190,71
RUA CAB XXIII	T-12	60	110	64,05	82,33	79,92	2,41	82,78	79,65	3,13	354,84	195,16
	T-13	60	110	62,47	82,78	79,65	3,13	83,32	81,32	2,00	320,47	176,26
	T-14	80	150	53,08	83,32	81,32	2,00	83,50	81,33	2,17	221,34	166,01
	T-15	80	150	43,37	83,50	81,33	2,17	83,34	80,03	3,31	237,67	178,25
TOTAL											1.134,32	715,68
AV AILÃ	T-16	60	110	59,72	81,95	80,02	1,93	82,01	79,72	2,29	252,02	138,61
	T-17	60	110	60,37	82,01	79,72	2,29	82,50	79,42	3,08	324,19	178,30
	T-18	80	150	59,69	82,50	79,42	3,08	83,01	79,12	3,89	416,04	312,03
	T-19	80	150	47,63	83,01	79,12	3,89	83,03	78,88	4,15	382,95	287,21
T-20	80	150	37,41	83,03	78,88	4,15	83,00	78,70	4,30	316,11	237,09	
TOTAL											1.691,30	1.153,24
RUA CAB XXV	T-21	60	110	59,50	81,93	80,01	1,92	81,50	79,80	1,70	215,39	118,46
	T-22	60	110	60,23	81,50	79,80	1,70	82,44	79,41	3,03	284,89	156,69
	T-23	80	150	60,00	82,44	79,41	3,03	83,00	79,11	3,89	415,20	311,40
	T-24	100	220	52,29	83,00	79,11	3,89	83,00	78,87	4,13	419,37	461,30
TOTAL											1.334,84	1.047,85
RUA CAB XV	T-25	60	110	60,09	82,71	80,29	2,42	82,84	79,91	2,93	321,48	176,81
	T-26	60	110	39,83	82,84	79,91	2,93	82,95	79,90	3,05	238,18	131,00
	T-27	60	110	47,48	82,95	79,90	3,05	82,98	79,16	3,82	326,19	179,40
	T-28	80	150	20,58	82,98	79,16	3,82	83,00	78,87	4,13	163,61	122,71
TOTAL											1.049,46	609,92
TOTAL											9.354,73	6.678,27

APÊNDICE G – MEMÓRIA DE CÁLCULO GERAL DE DRENAGEM CONVENCIONAL

Figura 81 – Memória de drenagem sem LID

MEMÓRIA DE DRENAGEM																		
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q	
		-	1.6.2.	1.6.3.	1.6.4.	1.6.5.	1.6.6.	1.6.7.	1.6.9.	1.6.10.	1.6.11.	1.6.12.	1.6.13.	1.6.14.	1.6.15.	1.6.16.	1.7.	
ITEM	RUA/AVENIDA	Escavação Mec h<1,5	Escavação Mec h>1,50<3,0	Escavação Mec h>3,00<4,50	REATERRO MECANIZADO	LASTRO DE VALA COM AREIA	TELA PLASTICA LARANJA PARA SINALIZACAO	ESCORAMENTO CONTINUO	TUBULAÇÃO Ø40CM	TUBULAÇÃO Ø60CM	TUBULAÇÃO Ø80CM	TUBULAÇÃO Ø100CM	TUBULAÇÃO Ø120CM	TUBULAÇÃO Ø150CM	POÇO DE VISITA	BOCA DE LOBO SIMPLES	BOCA DE LOBO DUPLA	
		F x 1,2 x 0,80	MEMORIA DE CALCULO			G + H + I		MEMORIA DE CALCULO										
1	RUA CAB XV	0,00	917,20	2.302,22	2.825,50	225,82	960,30	3.213,70	-	-	114,87	173,82	191,46	-	11,00	22,00	-	
2	RUA CAB XVI	0,00	386,01	0,00	320,37	53,52	119,66	584,35	-	58,45	59,83	-	-	-	3,00	6,00	-	
3	RUA CAB XXII	0,00	23,77	236,28	205,49	46,19	118,44	346,75	-	-	59,22	-	-	-	3,00	6,00	-	
4	RUA CAB XXIII	0,00	406,36	456,59	718,94	112,76	317,84	1.134,32	-	64,05	115,55	43,37	-	-	5,00	10,00	-	
5	AV AILÃ	0,00	138,61	1.190,11	1.141,03	150,85	410,20	1.691,30	-	59,72	167,69	37,41	-	-	6,00	12,00	-	
6	RUA CAB XXV	0,00	161,54	1.131,69	1.115,55	132,56	464,04	1.334,84	-	-	119,73	112,29	-	-	5,00	10,00	-	
7	RUA CAB XV	0,00	176,81	545,99	612,58	91,20	215,78	1.049,46	-	60,09	107,89	-	-	-	5,00	10,00	-	
TOTAL		-	2.210,30	5.862,88	6.939,46	812,89	2.606,26	9.354,73	-	242,31	744,78	366,89	191,46	-	38,00	76,00	-	

Figura 82 – Memória de drenagem com LID

MEMÓRIA DE DRENAGEM																	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	O	P	Q
		-	1.6.2.	1.6.3.	1.6.4.	1.6.5.	1.6.6.	1.6.7.	1.6.9.	1.6.10.	1.6.11.	1.6.12.	1.6.13.	1.6.14.	1.6.15.	1.6.16.	1.7.
ITEM	RUA/AVENIDA	Escavação Mec h<1,5	Escavação Mec h>1,50<3,0	Escavação Mec h>3,00<4,50	REATERRO MECANIZADO	LASTRO DE VALA COM AREIA	TELA PLASTICA LARANJA PARA SINALIZACAO	ESCORAMENTO CONTINUO	TUBULAÇÃO Ø40CM	TUBULAÇÃO Ø60CM	TUBULAÇÃO Ø80CM	TUBULAÇÃO Ø100CM	TUBULAÇÃO Ø120CM	TUBULAÇÃO Ø150CM	POÇO DE VISITA	BOCA DE LOBO SIMPLES	BOCA DE LOBO DUPLA
		F x 1,2 x 0,80	VOL ANEXO VI			G + H + I		Verificação ANEXO VI - ESCORAMENTO									
1	RUA CAB XV	0,00	789,38	1.850,09	2.357,77	197,05	730,56	3.213,70	-	114,87	130,28	235,00	-	-	11,00	22,00	-
2	RUA CAB XVI	0,00	321,40	0,00	300,11	13,86	-	584,35	-	118,28	-	-	-	-	3,00	6,00	-
3	RUA CAB XXII	0,00	17,43	173,28	180,05	6,94	-	346,75	-	59,22	-	-	-	-	3,00	6,00	-
4	RUA CAB XXIII	0,00	342,27	373,41	604,05	90,06	192,90	1.134,32	-	126,52	96,45	-	-	-	5,00	10,00	-
5	AV AILÃ	0,00	138,61	1.014,63	998,28	126,96	289,46	1.691,30	-	120,09	144,73	-	-	-	6,00	12,00	-
6	RUA CAB XXV	0,00	118,46	929,39	939,65	79,07	224,58	1.334,84	-	119,73	60,00	52,29	-	-	5,00	10,00	-
7	RUA CAB XV	0,00	176,81	433,11	564,43	33,33	41,16	1.049,46	-	147,40	20,58	-	-	-	5,00	10,00	-
TOTAL		-	1.904,36	4.773,91	5.944,33	547,27	1.478,66	9.354,73	-	806,11	452,04	287,29	-	-	38,00	76,00	-

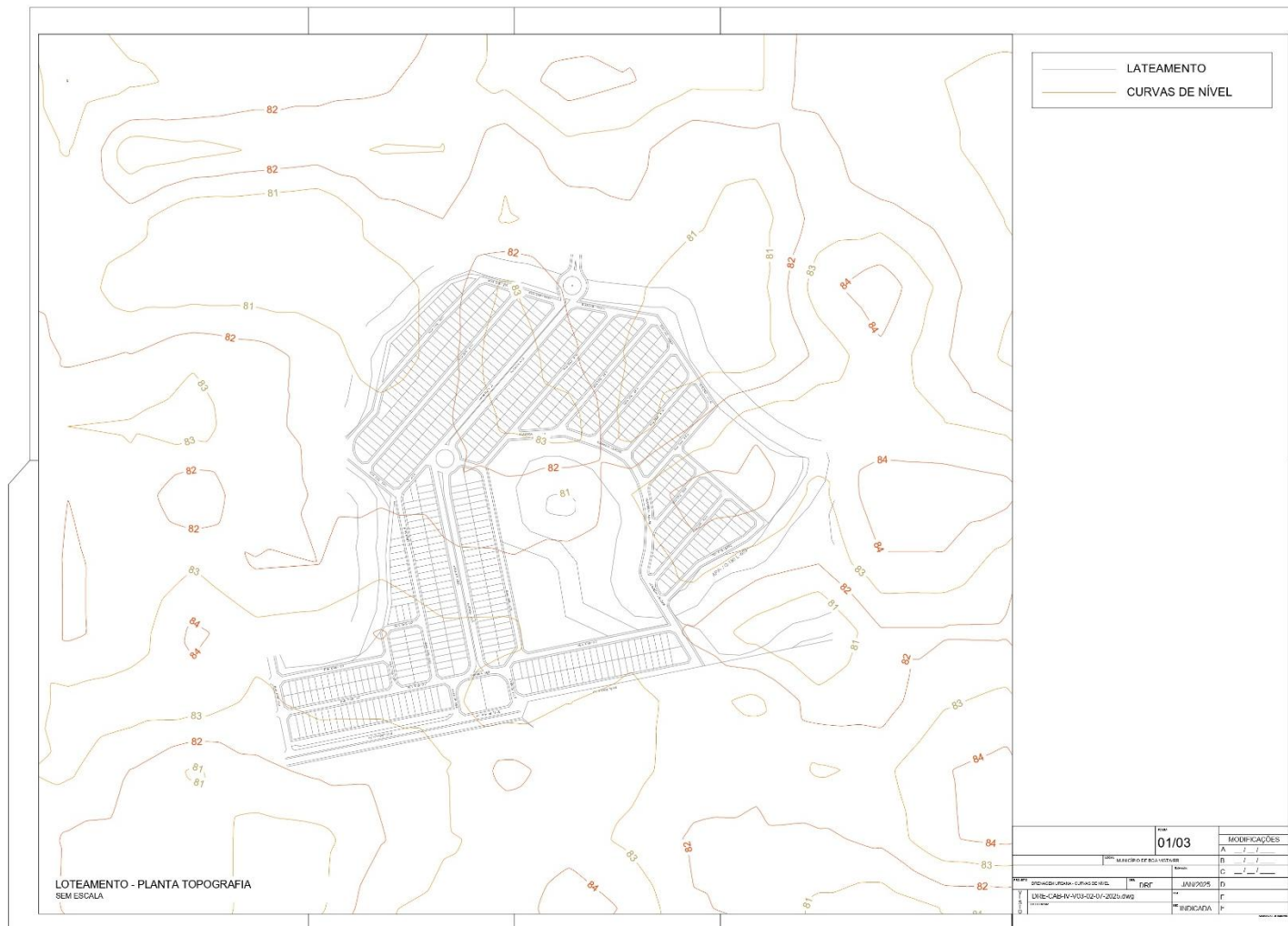
APÊNDICE H - CÁLCULO DO BDI

Figura 83 – Cálculo do BDI

BDI 1		
TIPO DE OBRA		
Construção de Praças Urbanas, Rodovias, Ferrovias e recapeamento e pavimentação de vias urbanas		
Itens	Siglas	% Adotado
Administração Central	AC	4,67%
Seguro e Garantia	SG	0,45%
Risco	R	0,56%
Despesas Financeiras	DF	1,21%
Lucro	L	8,38%
Tributos (impostos COFINS 3%, e PIS 0,65%)	CP	3,65%
Tributos (ISS, variável de acordo com o município)	ISS	3,00%
Tributos (Contribuição Previdenciária sobre a Receita Bruta - 0% ou 4,5% - Desoneração)	CPRB	0,00%
BDI SEM desoneração (Fórmula Acórdão TCU)	BDI PAD	24,18%

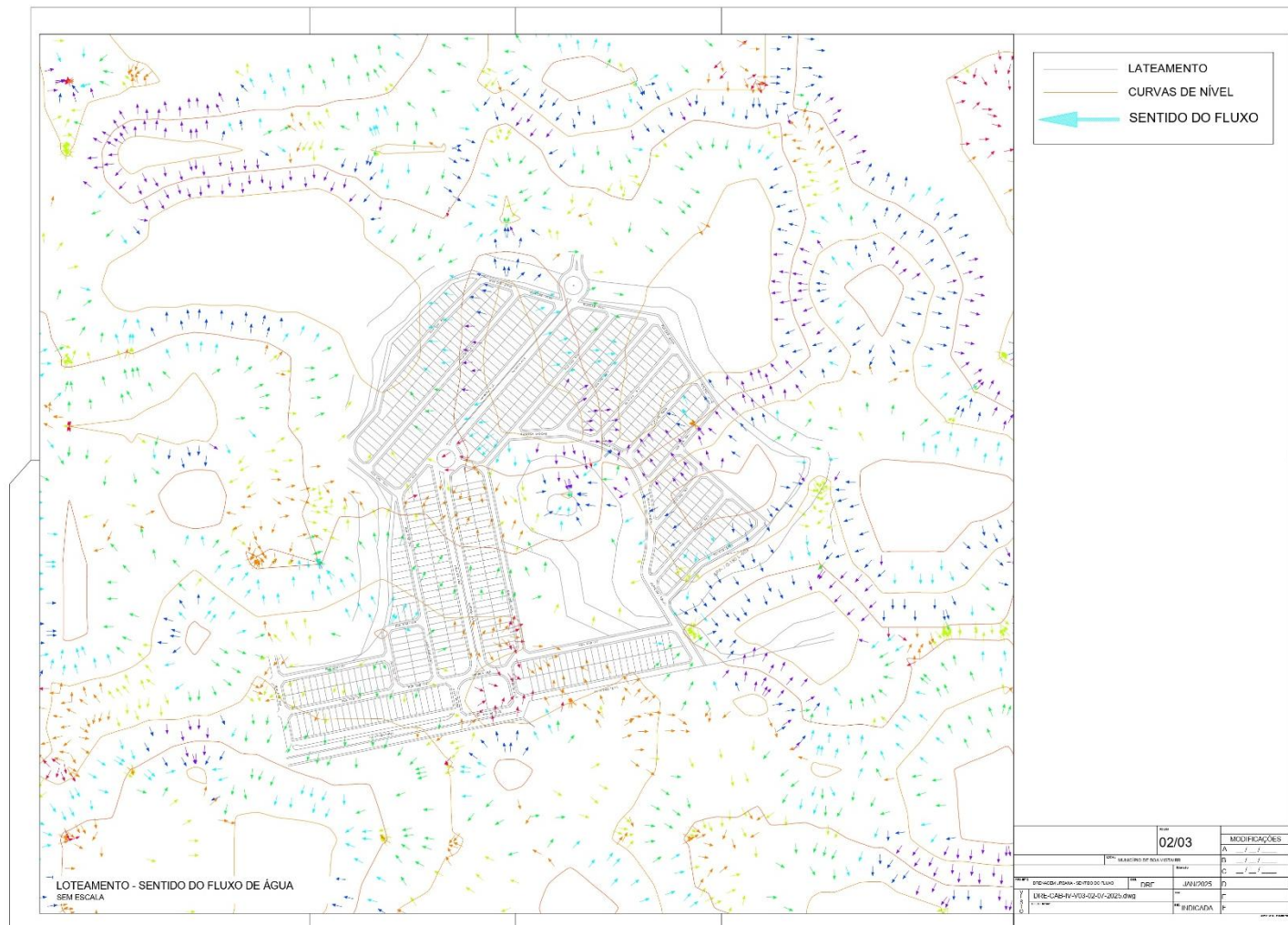
APÊNDICE I – CURVAS DE NÍVEL - TOPOGRAFIA

Figura 84 – Planta de curvas de nível do terreno



APÊNDICE J – FLECHAS DE FLUXO DE ÁGUA

Figura 85 – Planta de indicação do fluxo de água no terreno



APÊNDICE K – ELEVAÇÕES DO TERRENO

Figura 86 – Indicação de elevações do terreno por esquema de cores

