



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA (CT)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL (DECA)
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANA LETÍCIA LOPES RODRIGUES DA SILVA

**ANÁLISE CUSTO-EFICIÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE
BAIXO IMPACTO EM ESTACIONAMENTOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO
EM HOTEL NO BAIRRO DE CABO BRANCO, EM JOÃO PESSOA - PB**

João Pessoa - PB

Outubro de 2024

ANA LETÍCIA LOPES RODRIGUES DA SILVA

**ANÁLISE CUSTO-EFICIÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE
BAIXO IMPACTO EM ESTACIONAMENTOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO
EM HOTEL NO BAIRRO DE CABO BRANCO, EM JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Bacharela em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares

João Pessoa - PB

Outubro de 2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Ana Letícia Lopes Rodrigues da.
Análise custo-eficiência da implantação de dispositivos de baixo impacto em estacionamentos urbanos: um estudo de caso em hotel no bairro de Cabo Branco, em João Pessoa - PB / Ana Letícia Lopes Rodrigues da Silva. - João Pessoa, 2024.
88 f. : il.

Orientação: Leonardo Vieira Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. LID. 2. drenagem sustentável. 3. SWMM. 4. simulação hidrológica. 5. dispositivos de baixo impacto. I. Soares, Leonardo Vieira. II. Título.

UFPB/CT

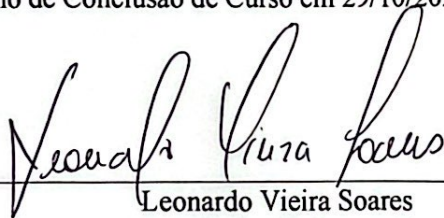
CDU 662.997(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANA LETÍCIA LOPES RODRIGUES DA SILVA

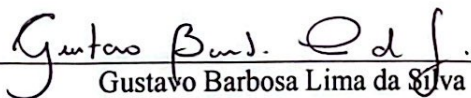
**ANÁLISE CUSTO-EFICIÊNCIA DA IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE
BAIXO IMPACTO EM ESTACIONAMENTOS URBANOS: UM ESTUDO DE CASO
EM HOTEL NO BAIRRO DE CABO BRANCO, EM JOÃO PESSOA-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso em 29/10/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Gustavo Barbosa Lima da Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Aos meus pais, Albério e Ana Cláudia, que me ensinaram que a educação é o caminho, e aos meus irmãos, Lucas e Lucy, que, de mãos dadas, o trilharam comigo. Desejo viver todas as jornadas com vocês.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, para entender o que vem a seguir, preciso explicar que a graduação em Engenharia Civil nunca foi um sonho para mim. Quando criança, não conseguia me visualizar em uma profissão específica; sempre ansiava pela felicidade, onde quer que ela estivesse. No entanto, se a Letícia mais nova soubesse dos encontros que a formação acadêmica lhe proporcionaria, dos amigos que faria, dos ensinamentos que os professores lhe passariam e do crescimento profissional e pessoal que teria, com certeza teria sonhado com a graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal da Paraíba desde a infância.

Sabendo disso, agradeço aos meus pais, Albério e Ana Cláudia, que abdicaram de seus sonhos, mudaram de cidade e se sacrificaram de todas as formas para que eu e meus irmãos tivéssemos a melhor educação possível. Obrigada pelo colo, pelo incentivo, por serem exemplo e pelo amor; eu não seria nada sem vocês. Aos meus irmãos, Lucas e Lucy, vocês são os melhores companheiros desta vida. Agradeço por me ensinarem a dividir: os brinquedos, o lanche, o quarto, as angústias, as alegrias e a vida. Não me imagino em um mundo sem vocês. À tia Dida, que cuidou de mim à sua maneira, o meu sincero agradecimento. À Anne: o maior acerto de Lucas foi ter lhe trazido para a família, obrigada pela força e pela amizade.

Agradeço aos meus avós: Antônio "Passate" (*in memoriam*), que mimou a sua primeira neta como pôde e prometeu dar o primeiro tijolo da construção da minha primeira obra – me entristece não ter dado tempo; Antônia Lacerda, que sempre ofereceu amor e cuidado – sua neta é “louca” pela senhora; e Antônio Rodrigues, que me intitulou "engenheira" desde o dia 1 da graduação – construo açude até no deserto, se for da sua vontade. À toda a minha família: vocês são essenciais.

Também, agradeço aos amigos que a UFPB me deu, em especial à “panelinha” (Igor Melo, Júlio, Larissa, Maria Fernanda, Maria Helena, Michael e Rayane) sem vocês seria muito mais difícil. Obrigada por dividirem as madrugadas, os desesperos, os intervalos, os conhecimentos, os anseios, as lágrimas, as risadas e a vida – foi uma alegria viver a formação com cada um de vocês.

Em especial, agradeço à Larissa e à Rayane, as minhas irmãs de vida, por acreditarem em mim quando nem eu mesma acreditei, vocês são os maiores presentes que recebi da Engenharia Civil.

A Michael, por ser um amigo fiel e presente, agradeço por todo o apoio ao longo da graduação.

Às minhas amigas de infância, Anadélia e Samara, e àquelas que me ajudaram a sobreviver ao ensino médio: Isabella, Giulia e Rafaelly – agradeço pelo apoio constante. À minha madrinha Edla, sou grata pelo amor e pela presença.

Aos meus colegas de trabalho e gestores, representados por Amanda, Bárbara, Dayara, Felipe, Henrik, Ítalo Brilhante, Ítalo Santana, Thomaz e Tiago, agradeço por tornarem o processo de aprendizado mais leve e por acreditarem no meu potencial.

Para esse agradecimento, preciso confessar que o presente Trabalho de Conclusão de Curso não nasceu de uma afinidade com a área ou com o tema – Professor Leonardo, eu escolhi a sua orientação, e o resto foi consequência. Obrigada pelos ensinamentos, pela tranquilidade e por fazer esse TCC acontecer. Possuo grande admiração pelo senhor.

À banca, por quem tenho tanto apreço: Aline, muito obrigada pelos ensinamentos e pelo carinho ao longo da minha formação; é uma honra tê-la comigo nesta última etapa. Professor Gustavo, lamento não ter tido a oportunidade de ser sua aluna, mas sou grata pela imensa ajuda na elaboração deste estudo e por aceitar compor a banca – sou admiradora do seu trabalho.

Aos que contribuíram diretamente para a realização deste trabalho: ao Laboratório de Topografia (LABTOP) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na pessoa do Professor Rafael, agradeço o apoio no estudo topográfico; à Massai, pelo auxílio e pela disponibilização de dados; e ao Hotel Ba'ra, pelo fornecimento da área de estudo e todo o suporte para a concretização deste trabalho.

À UFPB, que me possibilitou grandiosa formação, e aos meus professores de toda a vida, por me guiarem por esse caminho.

A todos, que, diretamente ou indiretamente, me acompanharam nessa jornada acadêmica, obrigada por fazerem parte de um sonho que eu não sabia que possuía.

RESUMO

A rápida urbanização e o aumento populacional têm gerado desafios significativos para o planejamento sustentável das cidades brasileiras, resultando em um crescimento descontrolado das metrópoles e na impermeabilização excessiva do solo. Os sistemas convencionais de drenagem priorizam a remoção rápida da água, frequentemente levando a escoamentos pluviais intensos, que causam inundações e danos às áreas urbanas. Para mitigar esses problemas, a abordagem da drenagem sustentável se destaca, combinando diversas técnicas de controle na fonte para restaurar as características naturais do ciclo hidrológico pré-existentes à urbanização. Nesse contexto, os Desenvolvidos de Baixo Impacto (LID's - *Low Impact Development*) propõem a integração de dispositivos de controle pluvial no ambiente urbano. Este estudo tem como objetivo analisar a eficiência isolada e integrada de três LID's no controle do escoamento superficial em um estacionamento que será reformado em um hotel localizado no Bairro de Cabo Branco, em João Pessoa-PB. Os dispositivos avaliados incluem a trincheira de infiltração, o pavimento permeável e o jardim de chuva. Para a análise, foram definidos 4 cenários de simulação, variando a aplicação das técnicas sustentáveis, que foram modelados utilizando o software *Storm Water Management Model* (SWMM), considerando as chuvas de projeto definidas. O experimento envolveu a identificação das sub-bacias, a estrutura dos LID's e a quantificação dos custos associados à sua implantação. Os resultados mostraram que todas as LID's, com exceção do cenário que integrou apenas jardim de chuva e pavimento permeável, apresentaram eficácia no controle do escoamento, sendo o pavimento permeável o mais eficiente em termos de controle da vazão e do volume. Além disso, a análise de custo total de instalação revelou que o cenário 2 que integrou trincheiras de infiltração ao cenário base, proporcionou a melhor relação de custo-eficiência, destacando a importância dos LID's para a sustentabilidade dos sistemas de drenagem e a necessidade de adaptar cada projeto às especificidades do ambiente urbano.

Palavras-chaves: LID; drenagem sustentável; SWMM; simulação hidrológica; dispositivos de baixo impacto.

ABSTRACT

Rapid urbanization and population growth have created significant challenges for the sustainable planning of Brazilian cities, resulting in uncontrolled growth of metropolises and excessive soil impermeability. Conventional drainage systems prioritize rapid water removal, often leading to intense stormwater runoff that causes flooding and damage to urban areas. To mitigate these problems, the sustainable drainage approach stands out, combining several source control techniques to restore the natural characteristics of the hydrological cycle that existed before urbanization. In this context, Low Impact Developments (LIDs) propose the integration of stormwater control devices into the urban environment. This study aims to analyze the isolated and integrated efficiency of three LIDs in controlling surface runoff in a parking lot that will be renovated into a hotel located in the Cabo Branco neighborhood of João Pessoa-PB. The devices evaluated include the infiltration trench, the permeable pavement and the rain garden. For the analysis, four simulation scenarios were defined, varying the application of sustainable techniques, which were modeled using the Storm Water Management Model (SWMM) software, considering the defined design rainfall. The experiment involved identifying the sub-basins, the structure of the LIDs and the quantification of the costs associated with their implementation. The results showed that all LIDs, with the exception of the scenario that integrated only rain gardens and permeable pavement, were effective in controlling runoff, with permeable pavement being the most efficient in terms of controlling flow and volume. In addition, the analysis of the total installation cost revealed that scenario 2 provided the best cost-efficiency ratio, highlighting the importance of LIDs for the sustainability of drainage systems and the need to adapt each project to the specificities of the urban environment.

Keywords: LID; sustainable drainage; SWMM; hydrological simulation; low impact developments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema das alterações no balanço hídrico, decorrentes da urbanização.	16
Figura 2 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia.	16
Figura 3 - Evolução da população por grau de urbanização 1950–2070 em termos absolutos e relativos.	17
Figura 4 – Crescimento das populações rural e urbana ao longo dos anos no Brasil.....	18
Figura 5 – Pavimentos permeáveis.....	22
Figura 6 - Exemplo de estrutura de uma trincheira de infiltração.	23
Figura 7 - Esquema de camadas de um jardim de chuva.....	24
Figura 8 – Representação conceitual de um controle LID – Bacia de Filtração.	26
Figura 9 – Fluxograma de metodologia da pesquisa.	27
Figura 10– Localização da área de estudo.....	28
Figura 11 – Curvas de Nível da área de estudo.	30
Figura 12 - Hietogramas de projeto TR = 5 anos.	32
Figura 13 - Hietogramas de projeto TR = 10 anos.	32
Figura 14 - Hietogramas de projeto TR = 25 anos.	33
Figura 15 – Esquema do Cenário 00 (C00).	34
Figura 16 – Esquema do Cenário 01 (C01).	35
Figura 17 – Esquema do Cenário 02 (C02).	37
Figura 18 – Esquema do Cenário 03 (C03).	38
Figura 19 – Esquema do Cenário 04 (C04).	39
Figura 20 – Perfil do pavimento permeável adotado.....	41
Figura 21 – Perfil da trincheira de infiltração adotada.	42
Figura 22– Perfil do jardim de chuva adotado.	42
Figura 23 - Modelo do C00 no SWMM.	45
Figura 24 - Modelo do C01 no SWMM.	46
Figura 25 - Modelo do C02 no SWMM.	46
Figura 26 - Modelo do C03 no SWMM.	47
Figura 27 - Modelo do C04 no SWMM.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas.	19
Tabela 2 – Precipitação total das chuvas de projeto, em milímetros (mm).	31
Tabela 3 – Área e percentual de cobertura do Cenário 00 (C00).....	35
Tabela 4 – Área e percentual de cobertura do Cenário 01 (C01).....	36
Tabela 5 – Área e percentual de cobertura do Cenário 02 (C02).....	37
Tabela 6 – Área e percentual de cobertura do Cenário 03 (C03).....	38
Tabela 7 – Área e percentual de cobertura do Cenário 04 (C04).....	40
Tabela 8 - Percentual de cobertura (%).	40
Tabela 9 – Composição de custo do Pavimento Permeável.	43
Tabela 10 – Composição de custo da Trincheira de Infiltração.	44
Tabela 11 – Composição de custo do Jardim de Chuva.	44
Tabela 12 – Parâmetros do pavimento permeável.	49
Tabela 13– Parâmetros da trincheira de infiltração.	50
Tabela 14 – Parâmetros do jardim de chuva.	50
Tabela 15 - Picos de vazão nos cenários estudados.	51
Tabela 16 - Dados de redução da vazão nos cenários.....	54
Tabela 17 - Volume escoado nos cenários.	55
Tabela 18 - Dados de redução do volume dos cenários.....	57
Tabela 19 - Orçamento do pavimento permeável.	59
Tabela 20 - Orçamento da trincheira de infiltração.	59
Tabela 21 - Orçamento do jardim de chuva.	60
Tabela 22 - Custo total de implantação dos LID's em cada cenário.	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas IDF da Cidade João Pessoa – PB pela equação de Aragão <i>et al.</i> (2000)...	31
Gráfico 2 - Hidrogramas de vazão para a duração de 15 minutos.....	52
Gráfico 3 - Hidrogramas de vazão para a duração de 30 minutos.....	52
Gráfico 4 - Hidrogramas de vazão para a duração de 60 minutos.....	53
Gráfico 5 - Total de redução das vazões de pico dos cenários analisados.....	54
Gráfico 6 - Volumes escoados para tempo de retorno de 5 anos.	56
Gráfico 7 - Volumes escoados para tempo de retorno de 10 anos.	56
Gráfico 8 - Volumes escoados para tempo de retorno de 25 anos.	57
Gráfico 9 - Percentual de redução de volume nos cenários analisados.	58
Gráfico 10 - Índices de custo por vazão reduzida.	61
Gráfico 11 - Índices de custo por volume reduzido.....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO.....	15
2.2	SISTEMA DE DRENAGEM CONVENCIONAL	18
2.3	SISTEMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL.....	20
2.4	LID'S.....	21
2.4.1	Pavimento permeável (PP)	21
2.4.2	Trincheira de infiltração (TI)	23
2.4.3	Jardim de chuva (JC).....	24
2.5	SIMULAÇÃO SWMM.....	25
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	DESCRIÇÃO GERAL	27
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
3.3	CHUVAS DE PROJETO	30
3.4	CENÁRIOS DE ESTUDO.....	33
3.4.1	Cenário 00 (C00).....	34
3.4.2	Cenário 01 (C01).....	35
3.4.3	Cenário 02 (C02).....	36
3.4.4	Cenário 03 (C03).....	37
3.4.5	Cenário 04 (C04).....	39
3.5	ESTRUTURA LID'S	40
3.5.1	Pavimento Permeável (PP)	40
3.5.2	Trincheira de Infiltração (TI).....	41
3.5.3	Jardim de Chuva (JC).....	42
3.6	CUSTOS LID'S	43
3.7	MODELAGEM SWMM.....	45
3.7.1	Discretização da área de estudo	45
3.7.2	Dados de entrada no SWMM	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	MODELAGEM DOS CENÁRIOS.....	50
4.1.1	Análise da vazão	51
4.1.2	Análise do volume.....	55

4.2	CUSTOS	58
4.3	RELAÇÃO VAZÃO X VOLUME X CUSTOS	61
5	CONCLUSÕES.....	63

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização e o crescimento acelerado das cidades brasileiras, a gestão eficiente das águas pluviais tornou-se um desafio premente. Em momentos de precipitações, os sistemas de drenagem desempenham um papel crucial ao escoar o volume de água, evitando alagamentos e melhorando as condições de circulação de pessoas e veículos nos espaços urbanos (Canholi, 2014). No entanto, a falta de planejamento a médio e longo prazos, a ineficiência de componentes dos sistemas de drenagem e a ausência de manutenção tanto em micro quanto em macrodrenagem têm potencializado a ocorrência de enchentes, resultando em sérios problemas para a infraestrutura urbana e para a qualidade de vida da população (Bezerra et al., 2016).

Os sistemas de drenagem tradicionais, que priorizam obras civis e o rápido afastamento da água para jusante, frequentemente geram um escoamento pluvial que contribui para inundações nas áreas urbanas (Tucci, 2008). Essa realidade exige a adoção de alternativas que busquem minimizar os impactos da urbanização e restaurar as características hidrológicas naturais do ambiente. Nesse contexto, a drenagem sustentável emerge como uma solução viável, utilizando técnicas de controle na fonte que recuperam as dinâmicas hidrológicas anteriores ao processo de urbanização (Mendes; Santos, 2023).

Diversas técnicas de controle na fonte podem ser aplicadas em projetos de drenagem sustentável, contribuindo para mitigar os efeitos da urbanização sobre o escoamento pluvial. Entre essas técnicas estão os microrreservatórios, pavimentos permeáveis, telhados verdes, jardins de chuva, faixas gramadas, poços, valas e trincheiras de infiltração (Tominaga, 2013). No Brasil, diversas cidades já incorporaram legislações que incentivam a implementação dessas técnicas, como é o caso do novo Plano Diretor de João Pessoa (João Pessoa, 2024), que promove a preservação e recuperação de áreas críticas para drenagem, além de estimular o aproveitamento de águas pluviais nas edificações, respeitando os requisitos de saúde pública e proteção ambiental.

Neste contexto, o presente estudo visa analisar a aplicação de diferentes cenários de LID's em um projeto de reforma do estacionamento de um hotel na orla do bairro de Cabo Branco, em João Pessoa, Paraíba. Com uma área total de 1.776,66 m², o estacionamento atualmente conta apenas com pavimento permeável. A pesquisa envolverá a avaliação de cenários que combinam três tipos de dispositivos de controle (pavimento permeável, trincheira de infiltração e jardim de chuva), utilizando o software *Storm Water Management Model* (SWMM) para simular o escoamento superficial gerado em cada cenário. O estudo também

calculará os custos de implantação de cada LID, permitindo a identificação das soluções mais eficientes em termos hidrológicos e de custo-benefício. Assim, espera-se contribuir para o acervo acadêmico sobre a implementação de LID's no Brasil, fornecendo subsídios para uma gestão mais eficaz das águas pluviais nas áreas urbanas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência de desenvolvimentos de baixo impacto (pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração e jardins de chuva), isolados e em conjunto, no controle do escoamento superficial em uma área de estacionamento, mediante modelagem hidrológica.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o desempenho hidrológico dos cenários propostos em relação ao controle de vazões de pico e volumes escoado;
- b) Analisar a eficiência da utilização isolada e integrada dos dispositivos de controle na redução da vazão máxima e do volume total atuais;
- c) Quantificar os custos de implantação das estruturas de baixo impacto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

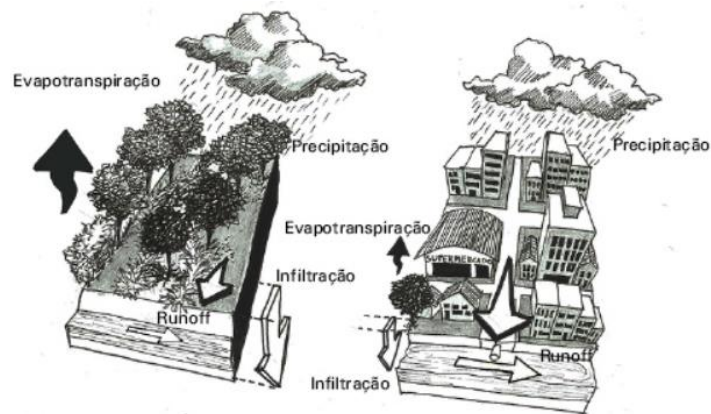
2.1 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NO CICLO HIDROLÓGICO

Butler e Davies (2011) afirmam que, durante uma precipitação na natureza, parte da água infiltra na superfície, tornando-se subterrânea; parte retorna à atmosfera através da evaporação ou da transpiração das plantas; e outra parte escorre sobre a superfície e possui tendência de aumento em caso de saturação do solo. Em todas as suas formas, a água encontra o seu caminho para um curso d'água, no entanto, o escoamento superficial o alcança mais rapidamente.

No desenvolvimento de uma área urbana, a remoção da cobertura vegetal e a construção de um espaço artificial possuem efeitos sobre o ciclo hidrológico devido à impermeabilização da superfície natural. Esse evento provoca o aumento da quantidade de escoamento superficial,

o volume total que chega aos cursos d'água durante uma chuva e, consequentemente, os picos de fluxo hídrico (Butler; Davies, 2011). Como consequência dessa impermeabilização, além elevar os volumes de escoamento superficial, pode-se citar também o aumento na velocidade do transporte de poluentes aos corpos d'água, o que afeta a qualidade da água e eleva a dificuldade de gestão dos recursos hídricos em conjunturas de urbanização acelerada. A Figura 1 esquematiza os impactos causados pela urbanização no ciclo hidrológico.

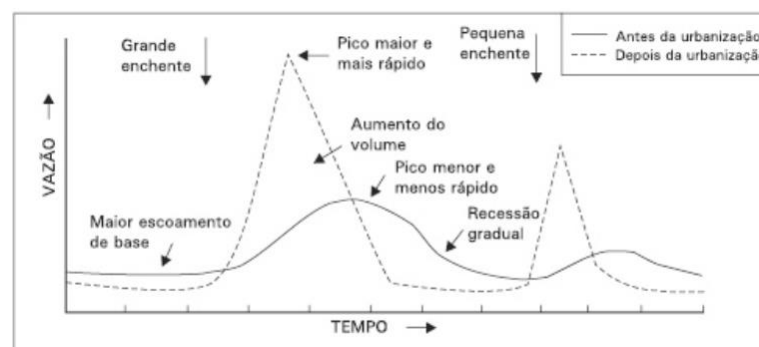
Figura 1 – Esquema das alterações no balanço hídrico, decorrentes da urbanização.



Fonte: adaptado de BACA apud Miguez; Veról; Rezende, 2016.

Além disso, a redução no volume de infiltração acarreta menor recarga das reservas de água subterrânea e redução das vazões de base dos rios, provocando aumento no risco de inundações, conforme mostra a Figura 2. É importante apontar, também, que a ampliação do escoamento superficial eleva a probabilidade de captação e transporte de poluentes, mais presentes nas superfícies artificiais urbanizadas (Butler; Davies, 2011).

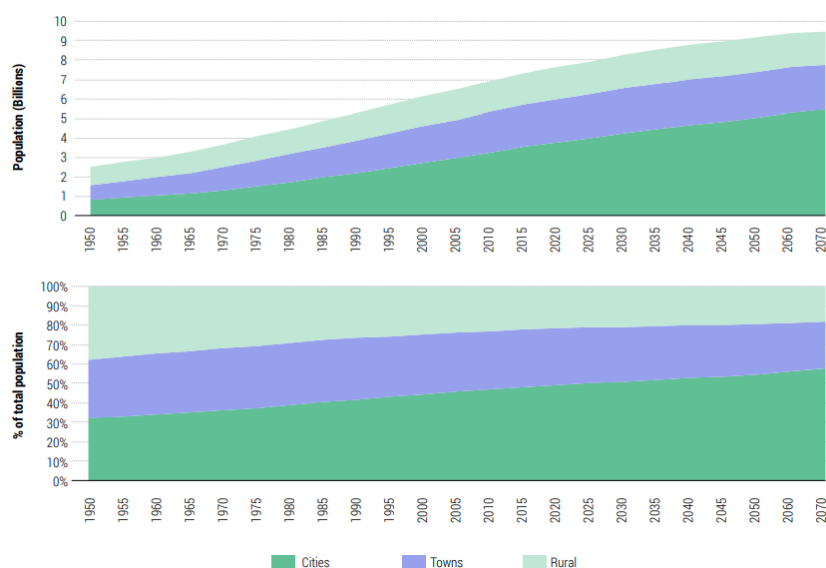
Figura 2 - Efeito da urbanização no hidrograma da bacia.



Fonte: Schueler, 1987.

No cenário mundial, como informado no *World Cities Report* de 2022, a população urbana representava cerca de 50% da população total em 2020, o dobro da porcentagem de 1950. De acordo com as suas previsões, este número deve subir para 58% até 2070, o que representa um crescimento populacional urbano de mais de 100% em menos de um século, o que implica grande crescimento territorial. A Figura 3 mostra a evolução da população nesse período, em termos absolutos e relativos.

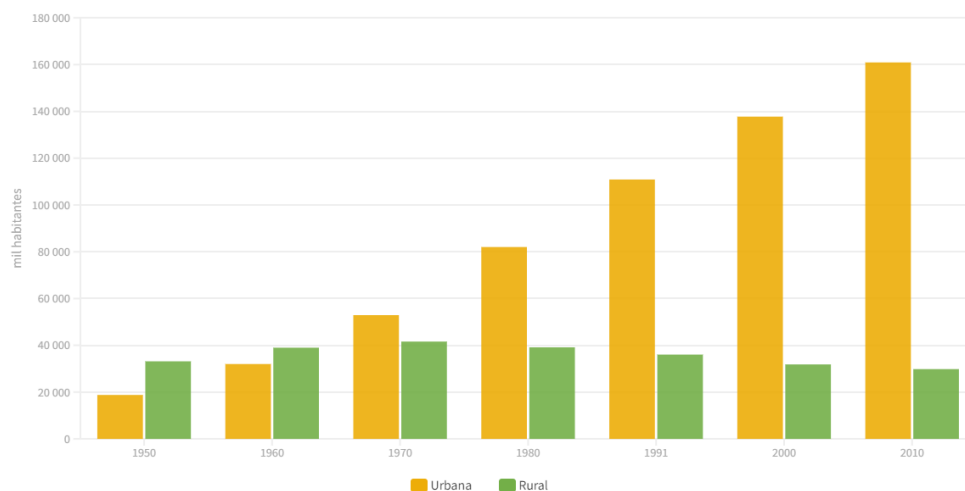
Figura 3 - Evolução da população por grau de urbanização 1950–2070 em termos absolutos e relativos.



Fonte: Relatório Mundial das Cidades, 2022.

Nacionalmente, o rápido crescimento urbano reflete o comportamento global e acentua a urgência de se constituir um eficaz sistema de drenagem urbana para mitigar os riscos associados à urbanização desordenada. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), revelam que, entre os anos de 1950 e 2010, a população rural reduziu-se aproximadamente 20%, enquanto a população urbana cresceu mais de 700% em números absolutos, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Crescimento das populações rural e urbana ao longo dos anos no Brasil.



Fonte: Atlas Geográfico Escolar, IBGE, 2024.

Nesse contexto de acelerado crescimento populacional e, consequentemente, territorial, surge a necessidade de sistemas de drenagem urbana, conforme orientado pela legislação brasileira. Miguez, Veról e Rezende (2016, p. 12) definem a drenagem urbana como o conjunto de ações e medidas cujo objetivo é não apenas minimizar os riscos a que as comunidades estão sujeitas, mas também reduzir os prejuízos causados por inundações e integrar, de forma articulada, harmônica e sustentável, o desenvolvimento urbano.

De acordo com a Lei Federal nº 11.445, de 2007, trata-se de um serviço do Saneamento Básico cujos princípios fundamentais abrangem a universalização do acesso e a integração com os demais serviços de saneamento (abastecimento de água, limpeza urbana, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos).

É importante citar que o escoamento das águas pluviais sempre ocorrerá, independente de existir um sistema de drenagem projetado e eficaz. Além disso, apesar de seu funcionamento estar relacionado com a precipitação e, portanto, não ser solicitado em parte do tempo, deve estar em condições de operação a qualquer momento (Miguez; Veról; Rezende, 2016).

2.2 SISTEMA DE DRENAGEM CONVENCIONAL

Com a constante modificação dos conglomerados populacionais ao longo da história, a drenagem urbana também sofreu alterações em sua abordagem, refletindo as mudanças nas necessidades e tecnologias de cada época. É possível traçar uma linha no tempo, consistente, dessas modificações, como exhibe a Tabela 1.

Tabela 1 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas.

FASE	CARACTERÍSTICA	CONSEQUÊNCIA
<i>Pré-Higienista:</i> Até início do séc. XX	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento.	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade
<i>Higienista:</i> Até 1970	<i>Tout à l'égout</i> – Transporte do esgoto junto às águas pluviais, por canalização dos escoamentos.	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais.
<i>Corretiva:</i> Entre 1970 e 1990	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais.	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto.
<i>Desenvolvimento Sustentável:</i> Após 1990	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional.	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações.

Fonte: Tucci, 2008.

Apesar das técnicas de drenagem datarem início em 4.000 a.C., devido ao desenvolvimento da agricultura irrigada em povoados do Oriente Médio, como apontado por Miguez, Veról e Rezende (2016, p. 98), seu principal desenvolvimento ocorreu durante o século XIX, como solução aos impactos causados pelo crescimento das cidades. Durante esse período, em decorrência de epidemias de doenças transmitidas pela água, a exemplo da cólera, e do risco de inundações, resultante da impermeabilização dos solos da área urbana, tornou-se urgente a necessidade de escoamento dos cursos hídricos pluviais para além das áreas de bacias. Esse método foi denominado “higienista” em decorrência da motivação de afastar o foco das doenças e controlar as condições de saúde pública nas áreas urbanas. Um notável exemplo desse cenário é o sistema de esgoto e drenagem de Londres, projetado por Joseph Balzaguette no século XIX, construído para os fins já citados.

No entanto, além de ser considerado como uma transferência de problemas de alagamento para trechos à jusante, o método de drenagem urbana convencional pode levar à degradação ambiental, incluindo a perda de zonas úmidas e a redução da biodiversidade, e apresenta, também, dificuldade do planejamento de execução e da manutenção do projeto. Diante dessas limitações, surge a necessidade de desenvolver alternativas de drenagem mais sustentáveis, que objetivem minimizar os impactos da urbanização nos padrões naturais de escoamento e que considerem os aspectos quantitativos e qualitativos da água (Miguez; Magalhães, 2010).

2.3 SISTEMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Diferentemente dos sistemas convencionais, que apresentam problemas de escoamento e impacto ambiental, os sistemas de drenagem sustentável (SDS) são projetados para integrar-se ao ciclo hidrológico natural, buscando resgatar padrões de escoamento próximos dos anteriores à urbanização (Ciria, 2015). Os SDS são projetados para reduzir o escoamento superficial, aumentar a infiltração, promover a evaporação e reter a água, com o intuito de equilibrar a gestão das águas pluviais e minimizar os efeitos negativos da urbanização.

A abordagem dos SDS inclui técnicas de controle que visam gerenciar a quantidade e/ou qualidade do escoamento na fonte, ou seja, no local onde a água da chuva entra em contato com o solo ou em superfícies construídas (Ciria, 2007). O seu principal objetivo é minimizar impactos negativos o mais próximo possível do ponto de origem, o que reduz a carga sobre os sistemas tradicionais convencionais e contribui para a sustentabilidade urbana.

Os SDS oferecem benefícios importantes para a gestão das águas pluviais em áreas urbanas, por reduzirem o escoamento superficial, o que diminui o risco de inundações e alagamentos (Fletcher *et al.*, 2014). Além disso, promovem a infiltração e a recarga dos aquíferos, melhorando a qualidade da água ao filtrar poluentes (Gill *et al.*, 2007). Esses sistemas também podem ser economicamente vantajosos a longo prazo, proporcionando uma alternativa sustentável aos sistemas de drenagem convencionais (Hunt *et al.*, 2012).

No entanto, a implementação de SDS enfrenta desafios significativos. Os custos iniciais podem ser elevados, o que pode limitar sua adoção em projetos menores (Hunt *et al.*, 2012). A adaptação desses sistemas a ambientes urbanos densos requer ajustes nas infraestruturas existentes e um plano de manutenção rigoroso para garantir sua eficácia (Fletcher *et al.*, 2014). A falta de programas de formação e educação especializada pode prejudicar a eficácia na gestão e operação adequada dos SDS (Pires; Almeida, 2018).

Os Sistemas de Drenagem Sustentável (SDS) englobam diversas abordagens para promover a gestão eficiente das águas pluviais. As Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), desenvolvidas na América do Norte, concentram-se na gestão das águas pluviais no ponto de origem, priorizando a infiltração e a retenção da água (Fletcher *et al.*, 2014). As Boas Práticas de Manejo (BPM), desenvolvidas nos Estados Unidos, visam a redução da poluição e do volume de escoamento. Além disso, os Sistemas de Drenagem Sustentável (SUDS), com origens no Reino Unido e na Europa, combinam elementos de drenagem sustentável com infraestrutura verde para imitar o ciclo hidrológico natural (Ciria, 2015). Essas

abordagens contribuem para a melhoria da qualidade da água e a redução dos impactos ambientais da urbanização.

2.4 LID'S

Conforme destacado pelo U.S. *Department of Housing and Urban Development* (2003), o *Low Impact Development* (LID) é uma abordagem que integra diversas práticas e tecnologias de planejamento e design de forma simultânea, visando à conservação e proteção dos recursos naturais, além de reduzir os custos relacionados à infraestrutura. Inicialmente desenvolvidas e aplicadas pelo Condado de *Prince George*, em Maryland, no início da década de 1990, essas técnicas emergiram como uma solução inovadora para a gestão do escoamento de águas pluviais (Prince George's County, 1999).

A metodologia LID destaca-se pela descentralização do controle do escoamento, permitindo a aplicação de soluções ao longo de toda a bacia hidrográfica e evitando o aumento do deflúvio a jusante. Projetos que utilizam essa abordagem costumam empregar diversas técnicas de redução do escoamento superficial, permitindo ao projetista definir o nível de controle adequado e selecionar os dispositivos mais apropriados para o espaço disponível, evidenciando a capacidade do LID em promover um planejamento urbano sustentável (Damodaram *et al.*, 2010; Miguez; Veról; Rezende, 2016).

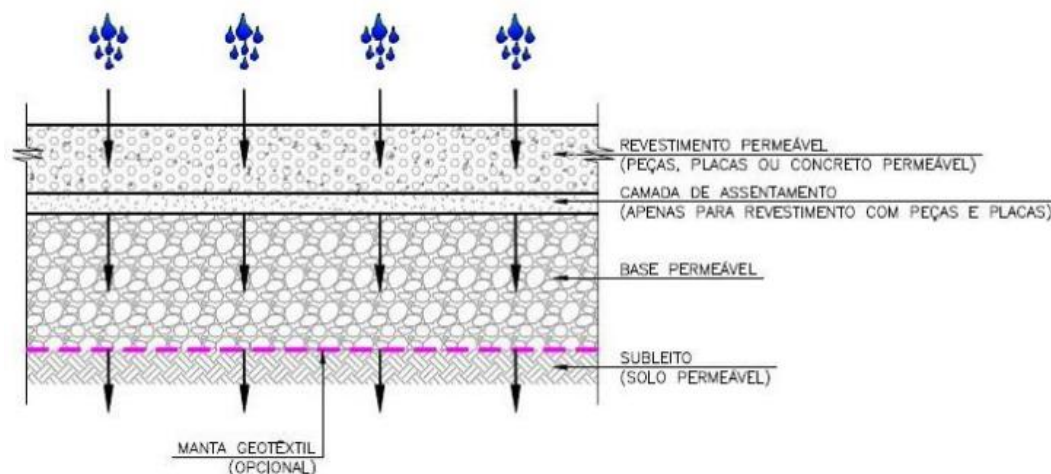
As técnicas LID abrangem tanto soluções estruturais, como *wetlands*, lagoas, valas de infiltração, pavimentos permeáveis, reservatórios de detenção e retenção de água pluvial e dispositivos de biorretenção, quanto estratégias não estruturais. Estas últimas incluem a adoção de projetos alternativos para vias e construções, visando reduzir a impermeabilização do solo e aumentar o aproveitamento de áreas com solo e vegetação permeáveis. Além disso, envolvem a diminuição das fontes de poluição e a implementação de programas educativos voltados para a melhoria das práticas humanas (Elliott; Trowsdale, 2007).

2.4.1 Pavimento permeável (PP)

O pavimento permeável possui a capacidade de permitir a passagem da água devido à sua composição porosa, que é projetada para facilitar a infiltração e o armazenamento temporário das águas pluviais. Essa característica resulta da utilização de materiais como concreto poroso, asfalto permeável e pavimentação intertravada, que apresentam uma estrutura com espaços vazios que permitem o fluxo da água para o solo subjacente (Tennis; Leming;

Akers, 2004). De acordo com a NBR 16416:2015, esses pavimentos são recomendados para áreas onde se busca mitigar os efeitos da impermeabilização do solo, como estacionamentos, calçadas, vias de baixo tráfego e praças urbanas (ABNT, 2015). A Figura 5 exibe a configuração de um pavimento permeável.

Figura 5 – Pavimentos permeáveis.



Fonte: ABNT-NBR 16416, 2015.

Além de mitigar os impactos hidrológicos da urbanização, o pavimento permeável melhora a qualidade da água, permitindo a filtragem de poluentes, como metais pesados e hidrocarbonetos, durante o processo de infiltração (Booth; Leavitt, 1999). Em decorrência da sua alta porosidade, o pavimento permeável possui uma resistência mecânica inferior (< 30 Mpa), sendo indicado para uso em áreas de tráfego leve, como estacionamentos, calçadas e vias de baixo tráfego.

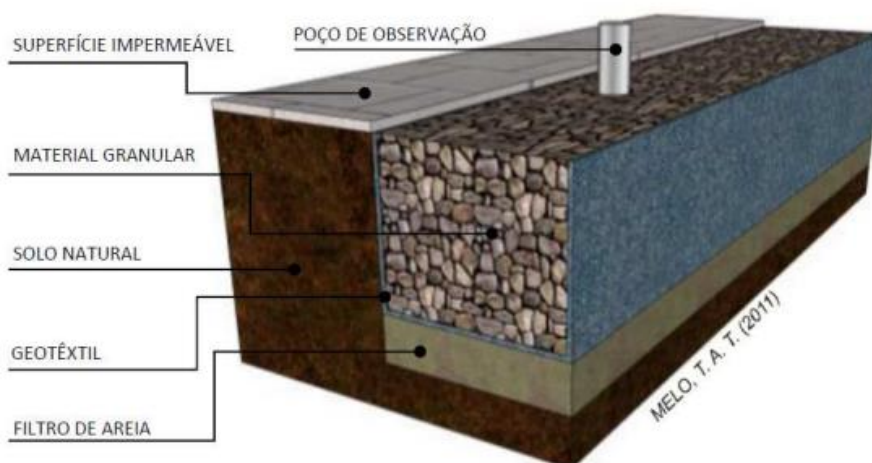
Entretanto, a eficácia do pavimento permeável depende de fatores como a permeabilidade do solo subjacente, a manutenção regular e a adequação do sistema às condições locais. Em solos com baixa permeabilidade, pode ser necessário complementar o pavimento com sistemas de drenagem subterrânea para garantir o escoamento eficiente (Brattebo; Booth, 2003). Outro desafio significativo é o risco de colmatção, que ocorre quando os poros do pavimento são obstruídos por sedimentos e detritos. Esse problema pode reduzir drasticamente a permeabilidade do pavimento, exigindo manutenções frequentes para preservar sua funcionalidade (Scholz; Grabowiecki, 2007).

2.4.2 Trincheira de infiltração (TI)

As trincheiras de infiltração, como ilustradas na Figura 6, são estruturas alongadas escavadas no solo, preenchidas com material granular e envoltas por material geotêxtil. Este arranjo permite o armazenamento temporário das águas pluviais provenientes de eventos de chuva, que são retidas nos espaços vazios entre os agregados e, posteriormente, infiltram-se através do fundo ou das laterais (Caputo, 2012).

Nas estruturas LID, o geotêxtil é essencial como filtro e separador entre o material granular e o solo fino, prevenindo a colmatção e mantendo a eficiência do sistema de drenagem. Para garantir essa funcionalidade, é necessário dimensioná-lo de acordo com critérios de filtração, separação e drenagem, assegurando que sua abertura seja menor que o diâmetro das partículas do solo, evitando obstruções e prolongando a vida útil do sistema (Palmeira, 2003).

Figura 6 - Exemplo de estrutura de uma trincheira de infiltração.



Fonte: Melo, 2011.

De acordo com Amec (2001), as trincheiras de infiltração desempenham um papel crucial na recarga do lençol freático, contribuindo para a manutenção da vazão de base dos corpos d'água. Além disso, estas estruturas atuam como dispositivos para o tratamento da qualidade da água proveniente do escoamento superficial. Sua utilização é recomendada em áreas com densidade de ocupação média a alta, onde o solo possui permeabilidade suficiente para garantir uma taxa adequada de infiltração. É importante que o nível do lençol freático não

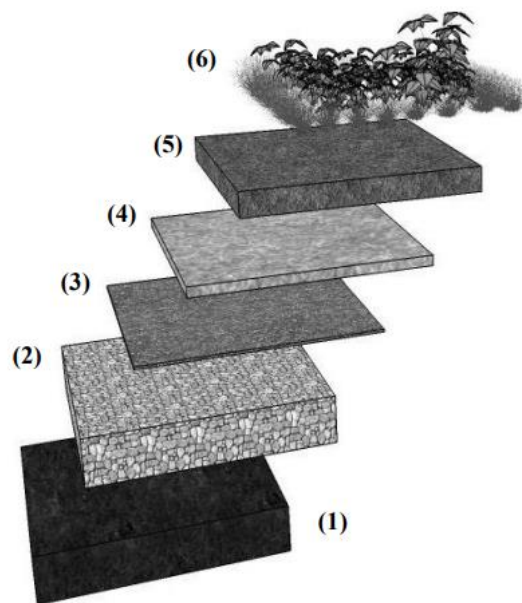
seja elevado a ponto de comprometer a qualidade da água infiltrada (Miguez; Veról; Rezende, 2016).

2.4.3 Jardim de chuva (JC)

Os jardins de chuva constituem áreas de biorretenção projetadas para coletar e tratar o escoamento das águas pluviais, contribuindo para a redução do fluxo de pico e a melhoria da qualidade da água. Compostos por vegetação, esses espaços promovem significativas reduções no escoamento superficial e aumentam a infiltração, com eficiência que varia entre 40% e 97%. Estudos indicam que as células de biorretenção podem reduzir os fluxos de pico em até 45%, enquanto a remoção de poluentes, incluindo sedimentos e nutrientes, pode alcançar até 99% (Shafique; Kim, 2015).

Esses dispositivos são concebidos para replicar os processos naturais do ambiente, fundamentados no princípio de reproduzir interações físicas, químicas e biológicas. A eficiência e o desempenho desses sistemas variam conforme seu projeto, permitindo a maximização ou minimização de processos específicos de acordo com o tipo de carga de poluentes esperada (ESD, 2007). A Figura 7 ilustra um jardim de chuva, composto pelas camadas: (1) solo natural; (2) camada de armazenamento; (3) manta geotêxtil; (4) camada drenante; (5) camada de plantio; e (6) camada vegetal superficial.

Figura 7 - Esquema de camadas de um jardim de chuva.



Fonte: Melo *et al.*, 2014.

Além da função de filtração, os jardins de chuva exercem diversas outras atividades que favorecem a gestão das águas pluviais e promovem a sustentabilidade ambiental. Entre essas funções, destaca-se a evaporação, que contribui para a redução da temperatura local e a melhoria da qualidade do ar; a infiltração, que permite a permeação da água no solo, reabastecendo os aquíferos e diminuindo o escoamento superficial; a absorção, que facilita a utilização da água pelas plantas, promovendo seu crescimento saudável; e o armazenamento, que oferece um reservatório temporário para as águas pluviais, minimizando os riscos de alagamentos e erosão. Essas múltiplas funções consolidam os jardins de chuva como uma solução eficaz e integrada para o manejo hídrico em áreas urbanas (ESD, 2007).

2.5 SIMULAÇÃO SWMM

Modelos computacionais hidrológicos-hidráulicos constituem elemento importante no estudo de alternativas para os Projetos de Drenagem Urbana, visto que o seu uso simula física e matematicamente os processos envolvidos no ciclo hidrológico na bacia hidrográfica e nos escoamentos fluviais. O exercício da simulação permite o estudo de cenários e a análise de diferentes alternativas para a solução de projetos de drenagem das águas pluviais, assim como a definição de políticas públicas sustentáveis e resilientes para a gestão dos recursos hídricos. No processo de simulação, uma importante etapa é a escolha da concepção de modelagem e do software (Amaral, 2014).

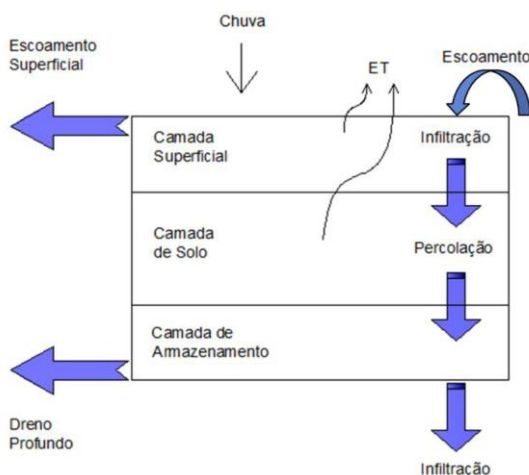
O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo dinâmico chuva-razão que simula a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, principalmente de áreas urbanas, utilizado amplamente no planejamento e análise de sistemas de drenagem. Desenvolvido pela U. S. *Environmental Protection Agency* (USEPA) em 1971 e continuamente atualizado, o SWMM permite a inserção de dados específicos para a área de estudo, a simulação de comportamentos hidrológicos e hidráulicos, a estimativa da quantidade de água e a visualização dos resultados da modelagem em uma grande variedade de formatos. Em decorrência dessas funções, é mundialmente utilizado para o planejamento, análises e projetos de sistemas de drenagem em áreas urbanas e não urbanas (USEPA, 2010, traduzido pela UFPB, 2012).

Dentre os componentes do SWMM, há o módulo hidrológico, que trata cada sub-bacia como um reservatório não-linear receptora de contribuições de precipitação e de outras sub-bacias à montante. Os fluxos de saída, ao longo do tempo, são a infiltração, a evaporação e o escoamento superficial, que ocorre quando o valor máximo armazenável é excedido e é calculado pela equação de Manning.

O modelo SWMM também possui o módulo hidráulico, que concede ao usuário a escolha entre três modelos de transporte hidráulico: fluxo em regime linear, onda cinemática e onda dinâmica. O modelo de fluxo em regime linear, o mais simples, considera que o escoamento é uniforme e permanente em cada intervalo de tempo de cálculo, sendo recomendado para realizar análises preliminares em sistemas ramificados. O modelo de onda cinemática resolve pela equação da continuidade, e permite que a vazão e a área variem no espaço e no tempo no interior do conduto, considerando que o excesso de vazão do tubo cheio pode ser perdido para o sistema ou reentrar posteriormente. Já o modelo de onda dinâmica, resolvido pelas equações de Saint Venant, oferece resultados mais precisos, por considerar a continuidade dos volumes nos nós, além da continuidade e quantidade de movimento nos condutos (USEPA, 2010, traduzido pela UFPB, 2012).

No contexto de uma drenagem urbana mais sustentável, o SWMM também permite a simulação de controles LID, em que são combinadas camadas verticais que possuem propriedades definidas por unidades de área. Isso permite alocar LIDs de mesmo projeto em mesmas sub-bacias, desde que possuam áreas diferentes. Na simulação, o SWMM realiza o balanço hídrico, que é composto pelas vazões afluentes ao controle, a infiltração, a evaporação, o escoamento superficial, a vazão subtraída pelo dreno profundo e a água armazenada no início e no final do cálculo. Esse balanço determina o que escoar de uma camada para outra e o que é armazenado (USEPA, 2010, traduzido pela UFPB, 2012). A Figura 8 representa o caminho percorrido pela água entre as camadas.

Figura 8 – Representação conceitual de um controle LID – Bacia de Filtração.



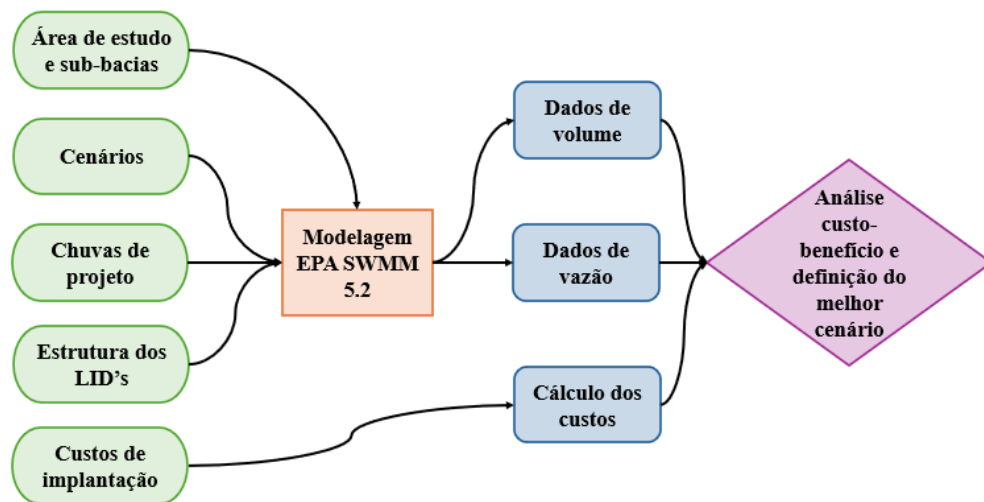
Fonte: manual da USEPA, 2010, traduzido pela UFPB, 2012.

3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O presente estudo busca otimizar a gestão de águas pluviais, promovendo soluções sustentáveis ao projeto de reforma de um estacionamento de hotel, situado no Bairro de Cabo Branco, em João Pessoa – PB. Os dispositivos considerados nesta pesquisa são: trincheira de infiltração, pavimento permeável e jardim de chuva. A Figura 9 apresenta o fluxograma que sintetiza a metodologia utilizada neste estudo.

Figura 9 – Fluxograma de metodologia da pesquisa.



Fonte: autora, 2024.

Primeiramente, dentre as etapas metodológicas, foi conduzida uma revisão bibliográfica sobre drenagem urbana sustentável e o uso de LIDs. Em seguida, houve a definição dos dados necessários, como a delimitação de bacias e sub-bacias, a determinação das chuvas de projeto e a estrutura dos dispositivos a serem avaliados.

Outro aspecto importante da pesquisa foi o cálculo de custos, que incluiu a especificação e precificação dos materiais e dispositivos com base nos preços do mercado local e nacional. A modelagem dos cenários foi realizada no software EPA SWMM 5.2, possibilitando a simulação de diferentes alternativas de projeto. Os resultados obtidos foram analisados com base no volume e na vazão das águas pluviais para cada cenário.

A comparação entre os cenários propostos e o cenário de referência foi realizada por meio de índices de desempenho hidrológico, possibilitando uma avaliação técnica e econômica

das alternativas. Espera-se, a partir dos resultados, identificar o desempenho hidrológico de cada cenário, assim como estimar os custos de implantação dos dispositivos LIDs.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho corresponde ao estacionamento de um estabelecimento hoteleiro situado na orla do bairro de Cabo Branco, em João Pessoa - PB. O estacionamento é parte integrante das instalações do hotel, que possui uma estrutura voltada para a hospedagem e serviços diversos, incluindo áreas comuns, serviços de lazer, restaurantes e espaços administrativos. A Figura 10 ilustra a configuração atual do estacionamento. Os dados necessários foram fornecidos pelo hotel, coletados diretamente no local pela pesquisadora ou cedidos pela construtora responsável pela execução do empreendimento.

Figura 10– Localização da área de estudo.



Fonte: adaptado do Google Earth, 2024.

A zona de análise abrange uma extensão de 1.776,66 m² e apresenta um solo predominantemente composto por areia fina. As primeiras camadas do solo, situadas acima do nível de água, exibem compactação variável, com características de baixa e média

compactação. Essas informações foram obtidas a partir de relatórios de reconhecimento preliminar, que incluíram sondagens à percussão realizadas no local, contratadas pela construtora que executou o hotel.

Para determinar a taxa de infiltração, realizaram-se quatro ensaios em furos de 1 metro de profundidade, com tubos de 20 cm de diâmetro e uma camada de brita de 5 cm na base. Após a adição de água, registraram-se cinco medições do tempo de infiltração de 1 cm, adotando-se o valor da quinta medição de cada furo para minimizar efeitos iniciais. A média dessas medições resultou em uma taxa de infiltração final de 627 mm/h. No entanto, consultou-se a literatura para comparação e, a partir dos estudos de Sartori, Neto e Genovez (2005), a taxa de 210 mm/h, referente a um substrato composto por areia, foi definida para o presente estudo. A diferença entre o teste realizado e os valores indicados na literatura pode ser atribuída à ausência de pré-saturação adequada do solo nos ensaios, não representando a condição de uso dos LID's.

A análise concentra-se na drenagem pluvial do estacionamento, no contexto de uma reforma planejada que prevê a implementação de pavimento permeável como solução inicial. Essa reforma visa converter esta área na nova entrada principal do hotel, em resposta às dificuldades de mobilidade enfrentadas com a entrada atual.

A topografia da área de estudo foi realizada em colaboração com o Laboratório de Topografia (LABTOP) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), utilizando nível óptico e baliza para garantir a precisão nas medições de elevação. Esses equipamentos permitiram o levantamento detalhado das características do terreno, essencial para a elaboração de um projeto de drenagem eficiente. Após a coleta de dados, as informações foram processadas e representadas graficamente no software QGIS, o que possibilitou a criação de uma base cartográfica detalhada da área. A Figura 11 exibe as curvas de nível geradas no QGIS, oferecendo uma representação visual das características topográficas do estacionamento.

Figura 11 – Curvas de Nível da área de estudo.



Fonte: elaborado pela autora e pelo LABTOP com base em dados topográficos levantados no local, processados no QGIS, 2024.

O terreno apresenta uma configuração predominantemente plana, com inclinação máxima de 2,44%, o que facilita a infiltração e o escoamento das águas pluviais. Contudo, foi observada uma diferença considerável de elevação entre duas divisões do estacionamento, variando em um intervalo de 77,5 cm. Neste estudo, a terraplenagem da área foi tratada como um pré-requisito comum a todos os cenários e, portanto, não foi incluída nos custos.

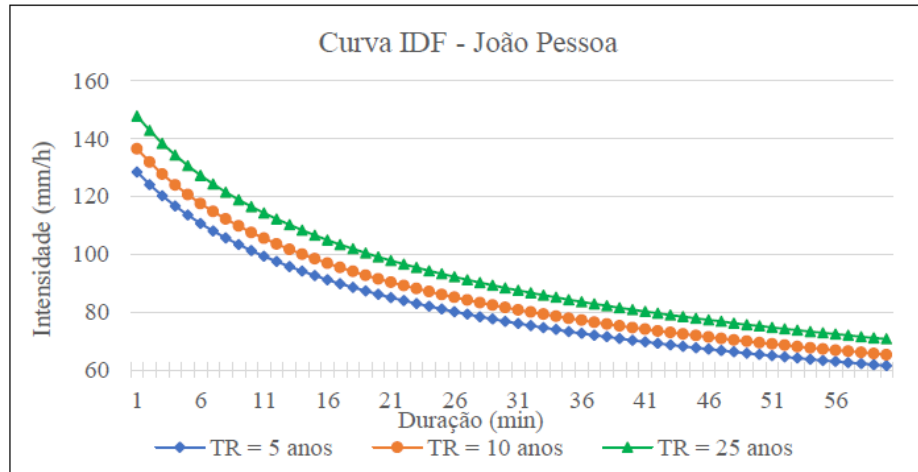
3.3 CHUVAS DE PROJETO

Neste trabalho, serão utilizados os resultados obtidos no estudo conduzido por Dantas (2024) para a definição das chuvas de projeto, essenciais à simulação e à análise dos dispositivos de manejo pluvial. A pesquisa considerou tempos de retorno (TR) de 5, 10 e 25 anos, com durações de precipitação de 15, 30 e 60 minutos, totalizando nove hietogramas. Esses hietogramas, elaborados por meio do método dos blocos alternados, foram fundamentais para testar a resposta hidrológica sob diferentes intensidades e volumes de precipitação.

A metodologia adotada no estudo seguiu a equação de Aragão *et al.* (2000), baseada nas Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para a cidade de João Pessoa – PB (Gráfico 1). Essa abordagem é amplamente reconhecida e descrita por Canholi (2014), que utiliza

registros históricos de precipitação para definir parâmetros hidrológicos adequados às características locais.

Gráfico 1 - Curvas IDF da Cidade João Pessoa – PB pela equação de Aragão *et al.* (2000).



Fonte: Dantas, 2024.

Os dados gerados foram aplicados em simulações no software SWMM, permitindo a validação do desempenho dos sistemas de drenagem em diversos cenários. As precipitações totais resultaram em valores que variaram de 23,16 mm a 70,74 mm, dependendo do TR e da duração da chuva, conforme exhibe a Tabela 2. O tempo de retorno de 25 anos foi utilizado para representar um cenário crítico, considerando o maior risco de sobrecarga no sistema de drenagem.

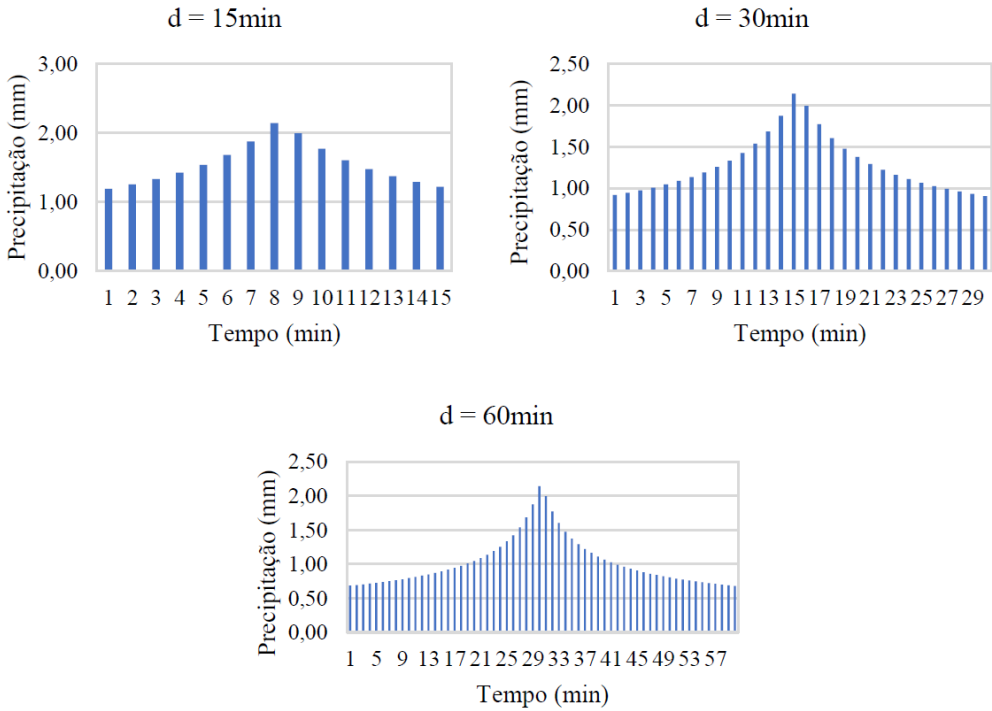
Tabela 2 – Precipitação total das chuvas de projeto, em milímetros (mm).

Duração (min)	TR 5	TR 10	TR 25
15	23,16	24,60	26,64
30	38,42	40,81	40,81
60	61,50	65,32	70,74

Fonte: Dantas, 2024.

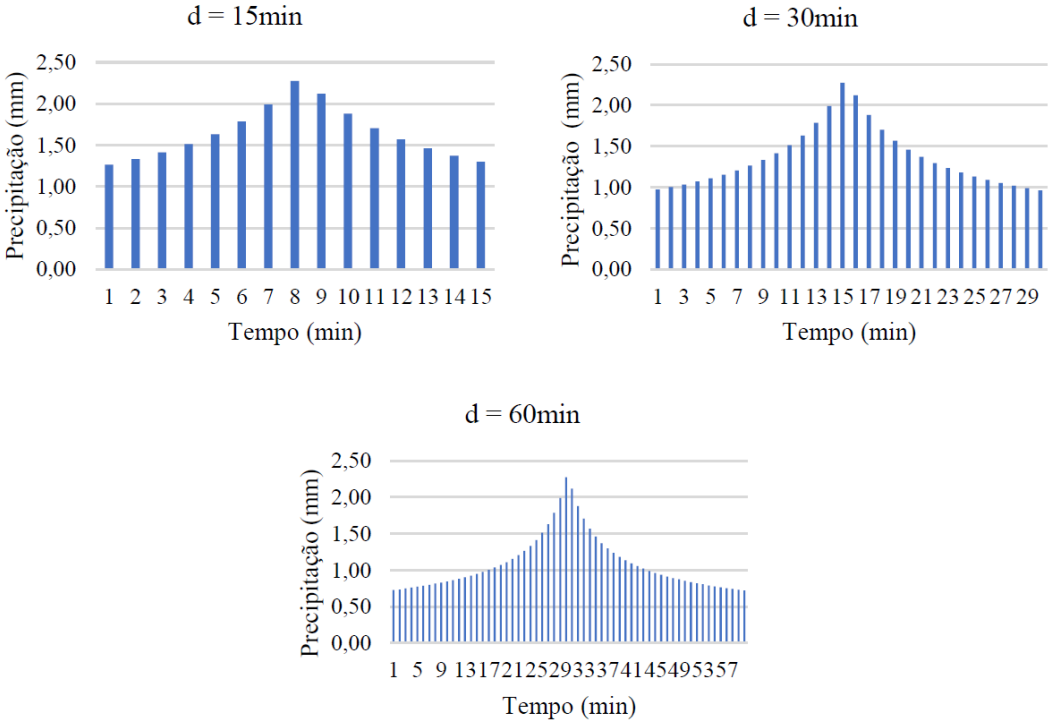
Os hietogramas resultantes deste estudo serão incorporados à análise do presente trabalho, servindo como base para a avaliação da eficácia dos dispositivos de drenagem propostos, frente a diferentes condições de precipitação e eventos críticos. As Figuras 12, 13 e 14, a seguir, expõem os hietogramas determinados por Dantas (2014).

Figura 12 - Hietogramas de projeto TR = 5 anos.

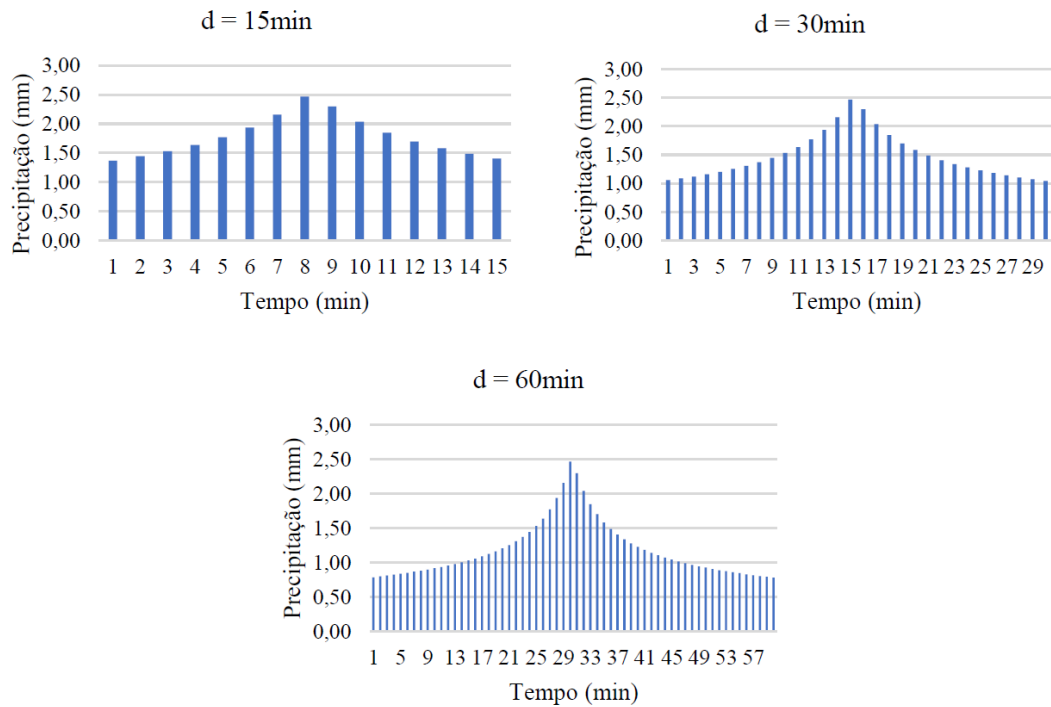


Fonte: Dantas, 2024.

Figura 13 - Hietogramas de projeto TR = 10 anos.



Fonte: Dantas, 2024.

Figura 14 - Hietogramas de projeto TR = 25 anos.

Fonte: Dantas, 2024.

Através da análise dos hietogramas, torna-se possível avaliar a eficácia dos dispositivos de drenagem em responder a diferentes cenários de precipitação, contribuindo para um manejo pluvial mais eficiente.

3.4 CENÁRIOS DE ESTUDO

Neste estudo, quatro cenários foram avaliados para a drenagem pluvial no estacionamento. O projeto de reforma original foi utilizado como cenário de referência e, a partir deste, foram desenvolvidos cenários alternativos, com a inclusão dos dispositivos de baixo impacto, como a trincheira de infiltração e o jardim de chuva, e com a expansão do pavimento permeável, já presente no projeto original.

Com o objetivo de ampliar a eficiência do sistema de drenagem, cada cenário foi submetido a uma análise detalhada de custo-eficiência, visando maximizar o aproveitamento da água drenada e minimizar os custos associados à movimentação de terra. Também foram consideradas as limitações impostas pelo projeto, como a necessidade de manter o número de vagas de estacionamento, garantindo que as soluções propostas fossem viáveis tanto técnica quanto economicamente.

3.4.1 Cenário 00 (C00)

O Cenário 00 (C00), exibido na Figura 15, representa o projeto base deste estudo, desenvolvido pela arquiteta contratada pelo empreendimento. Este cenário será utilizado como referência para a análise dos demais cenários. É relevante destacar que, após a realização de um levantamento na área, constatou-se que a área representada no projeto original não corresponde à área real do terreno. Em função disso, a autora procedeu com modificações no projeto, buscando preservar o número de vagas, mesmo que isso implicasse na redução de suas dimensões. Essa abordagem foi adotada para garantir a viabilidade do projeto dentro das limitações do espaço disponível.

Figura 15 – Esquema do Cenário 00 (C00).



Fonte: autora, 2024.

A Tabela 3 apresenta a distribuição da cobertura espacial do esquema do Cenário 00 (C00).

Tabela 3 – Área e percentual de cobertura do Cenário 00 (C00).

Cobertura	Área (m²)	Porcentagem (%)
Pavimento impermeável	1.212,36	68,24
Pavimento permeável	394,59	22,21
Jardim	169,71	9,55
Total	1.776,66	100,00

Fonte: autora, 2024.

3.4.2 Cenário 01 (C01)

O Cenário 01 (C01) refere-se à ampliação de áreas de pavimento permeável. A Figura 16 ilustra o C01.

Figura 16 – Esquema do Cenário 01 (C01).



Fonte: autora, 2024.

A Tabela 4 apresenta a distribuição da cobertura espacial do esquema do Cenário 01 (C01).

Tabela 4 – Área e percentual de cobertura do Cenário 01 (C01).

Cobertura	Área (m²)	Porcentagem (%)
Pavimento impermeável	1097,35	61,76
Pavimento permeável	509,60	28,68
Jardim	169,71	9,55
Total	1.776,66	100,00

Fonte: autora, 2024.

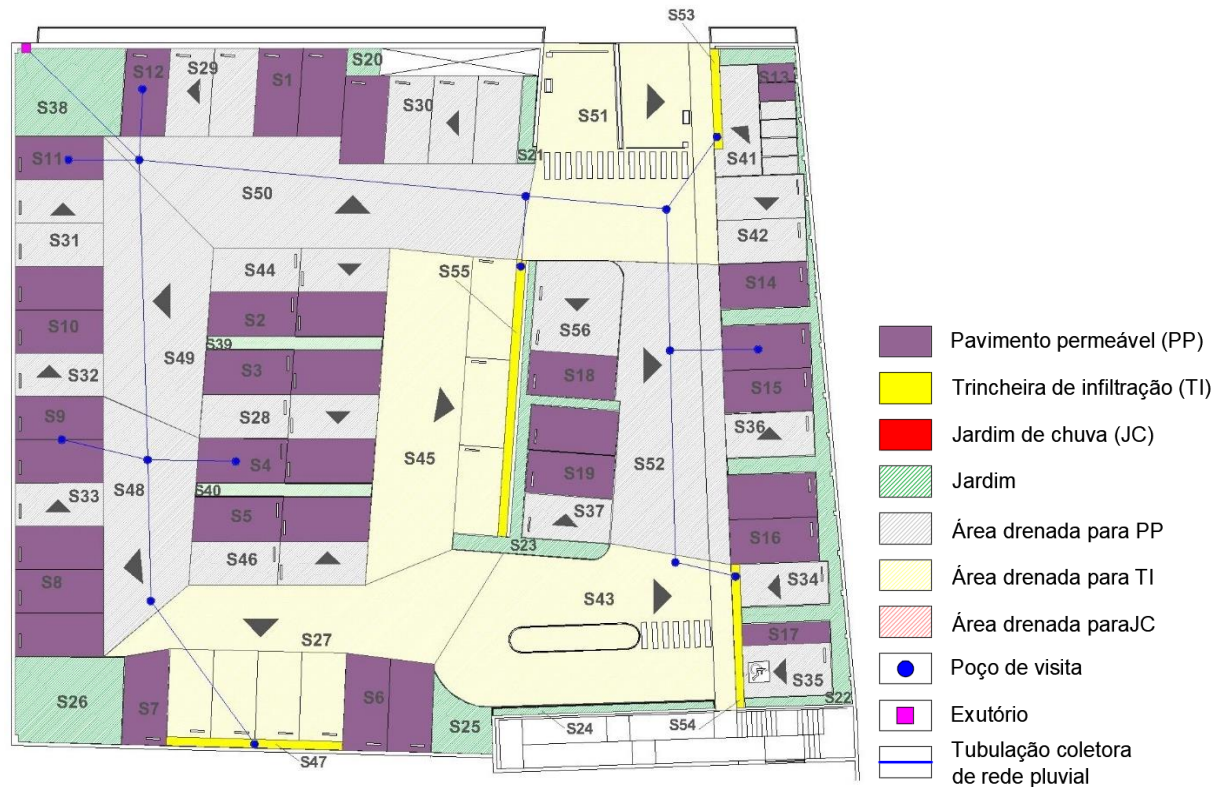
É relevante observar que as modificações em relação à permeabilidade foram limitadas às vagas, pois estas apresentam menor fluxo em comparação com as áreas de circulação. Essa característica contribui para uma vida útil mais longa das superfícies permeáveis e diminui o risco de colmatção, que se refere ao entupimento dos poros do material permeável devido ao acúmulo de sedimentos e partículas sólidas.

3.4.3 Cenário 02 (C02)

No Cenário 02 (C02), ilustrado na Figura 17, foram inseridas trincheiras de infiltração estrategicamente posicionadas ao longo do trajeto final do escoamento da água pluvial. A localização desses dispositivos foi definida de forma a otimizar o desempenho do sistema de drenagem e mitigar os impactos das chuvas sobre a área.

Com a adição de uma das trincheiras, tornou-se necessário reposicionar algumas vagas de estacionamento. Contudo, essas alterações respeitaram os limites mínimos estabelecidos pelas normas da ABNT, garantindo conformidade com os padrões de tamanho e acessibilidade exigidos.

Figura 17 – Esquema do Cenário 02 (C02).



Fonte: autora, 2024.

A Tabela 5 apresenta a distribuição da cobertura espacial do esquema do Cenário 02 (C02).

Tabela 5 – Área e percentual de cobertura do Cenário 02 (C02).

Cobertura	Área (m²)	Porcentagem (%)
Pavimento impermeável	1205,38	67,85
Pavimento permeável	396,57	22,32
Jardim	155,19	8,73
Trincheira de infiltração	19,51	1,10
Total	1776,66	100,00

Fonte: autora, 2024.

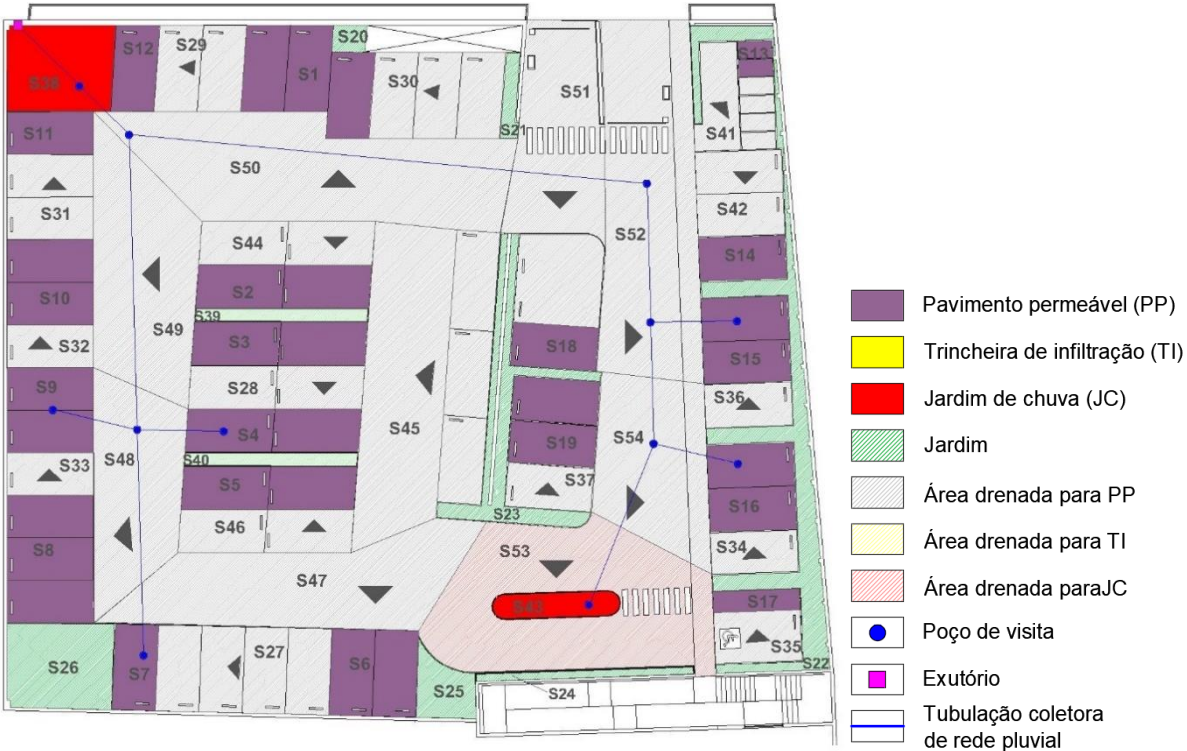
3.4.4 Cenário 03 (C03)

No Cenário 03 (C03) do estudo, ilustrado na Figura 18, foram inseridos dois jardins de chuva em áreas específicas do terreno, aproveitando porções que comportavam a implantação dessa técnica de drenagem sustentável. O primeiro jardim de chuva foi posicionado de forma a receber diretamente a água proveniente de uma área de contribuição adjacente. Já o segundo

jardim foi planejado para receber o escoamento superficial das sub-bacias circundantes, que incluem pavimentos permeáveis e impermeáveis.

Esse arranjo permite que o segundo jardim funcione como um ponto de coleta secundário, recebendo o volume de água tratado pelo pavimento permeável e não permeável antes de ser finalmente direcionado ao exutório. Tal configuração contribui para uma maior eficiência no controle da drenagem, garantindo a retenção e infiltração da água de maneira mais distribuída e controlada no terreno.

Figura 18 – Esquema do Cenário 03 (C03).



Fonte: autora, 2024.

A Tabela 6 apresenta a distribuição da cobertura espacial do esquema do Cenário 03 (C03).

Tabela 6 – Área e percentual de cobertura do Cenário 03 (C03).

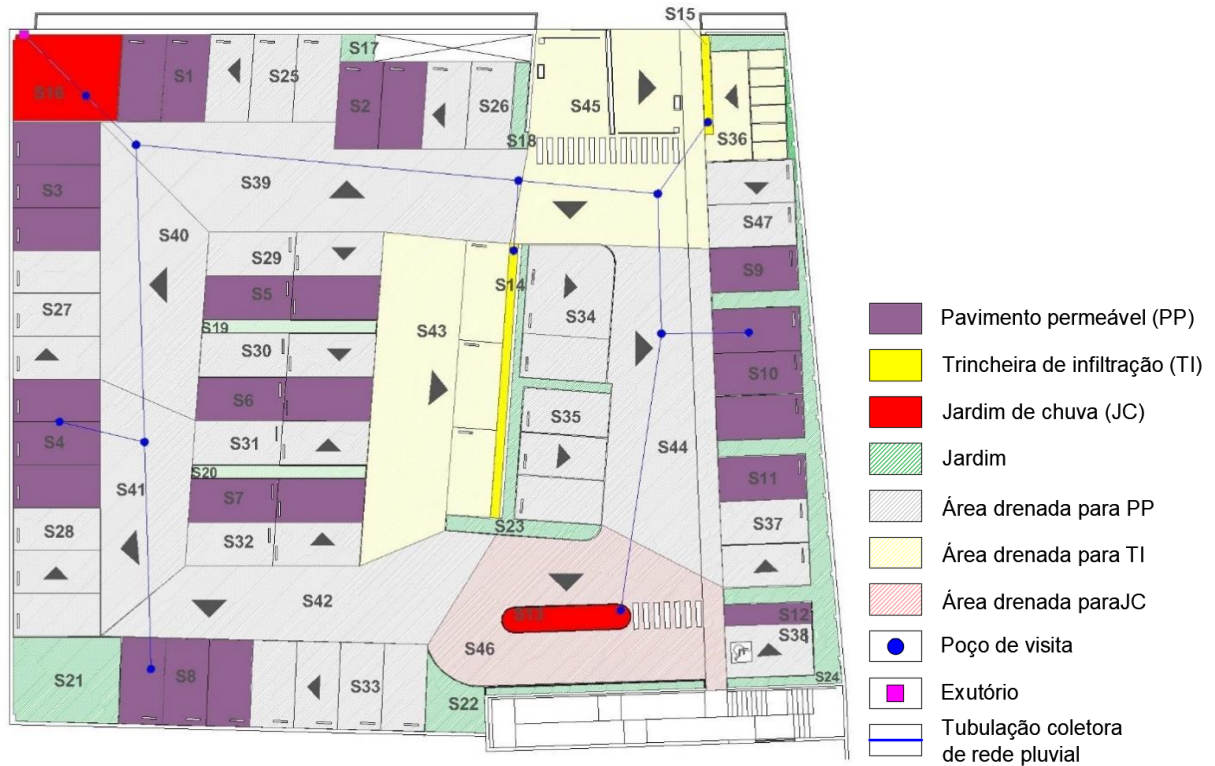
Cobertura	Área (m²)	Porcentagem (%)
Pavimento impermeável	1202,49	67,68
Pavimento permeável	394,59	22,21
Jardins	139,56	7,86
Jardim de chuva	40,06	2,25
Total	1776,66	100,00

Fonte: autora, 2024.

3.4.5 Cenário 04 (C04)

No Cenário 04 (C04), foi realizada uma combinação de todos os dispositivos analisados, com o objetivo de aumentar a eficiência do sistema. Essa combinação incluiu um rearranjo estratégico dos dispositivos, permitindo a definição de áreas de contribuição apropriadas para cada um deles. Dessa forma, buscou-se garantir que cada dispositivo funcionasse de maneira integrada, otimizando a gestão da água pluvial e melhorando o desempenho geral do sistema. A Figura 19 ilustra o C04.

Figura 19 – Esquema do Cenário 04 (C04).



Fonte: autora, 2024.

A Tabela 7 apresenta a distribuição da cobertura espacial do esquema do Cenário 04 (C04).

Tabela 7 – Área e percentual de cobertura do Cenário 04 (C04).

Cobertura	Área (m²)	Porcentagem (%)
Pavimento impermeável	1288,60	72,53
Pavimento permeável	303,50	17,08
Jardins	133,81	7,53
Trincheiras de infiltração	10,69	0,60
Jardim de chuva	40,06	2,25
Total	1776,66	100,00

Fonte: autora, 2024.

A Tabela 8 exibe um resumo dos percentuais de cobertura em cada cenário (C00 a C04), a fim de facilitar a comparação entre eles.

Tabela 8 - Percentual de cobertura (%).

Cobertura	C00	C01	C02	C03	C04
Pavimento impermeável	68,24	61,76	61,85	67,68	72,53
Pavimento permeável	22,21	28,68	22,32	22,21	17,08
Jardim	9,55	9,55	8,73	7,86	7,53
Trincheira de infiltração	-	-	1,10	-	0,60
Jardim de chuva	-	-	-	2,25	2,25

Fonte: autora, 2024.

3.5 ESTRUTURA LID'S

3.5.1 Pavimento Permeável (PP)

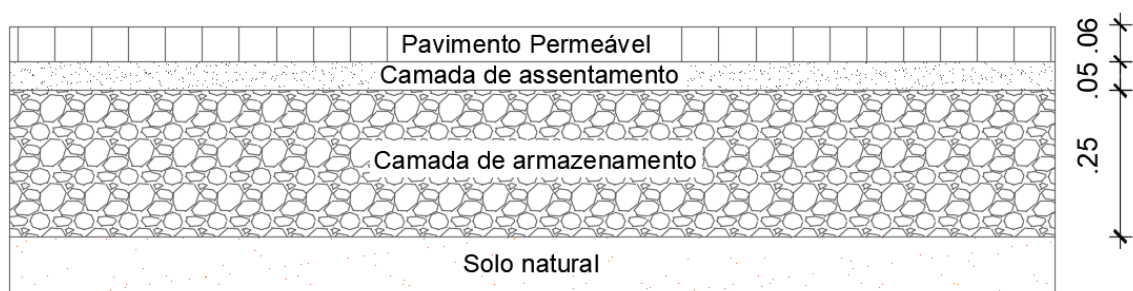
No presente estudo, o dimensionamento do pavimento permeável (PP) foi desenvolvido para atender tanto às necessidades de drenagem quanto às exigências estruturais. A estrutura do pavimento foi projetada para suportar o tráfego de veículos leves, predominantemente de passeio, garantindo a integridade do sistema ao longo do tempo. Os revestimentos selecionados são permeáveis, permitindo a infiltração eficiente da água pluvial. A definição da estrutura do pavimento baseou-se nos estudos de Schueler (1987), que destacam a importância de um projeto adequado para garantir a infiltração total.

O pavimento foi projetado como um sistema de infiltração total, no qual toda a água que atinge a superfície é direcionada para o solo. A estrutura do pavimento inclui camadas específicas que promovem essa infiltração e armazenamento. O revestimento permeável facilita a passagem da água, enquanto um filtro de areia foi inserido para reter partículas finas e prevenir

entupimentos. Abaixo dessas camadas, um reservatório de pedras armazena temporariamente a água antes de sua infiltração completa no solo.

A estrutura é formada por uma camada de revestimento composta por placas de concreto permeável, com espessura de 6 cm; seguida por uma camada de base constituída por areia graduada, destinada ao assentamento das placas de concreto poroso, com espessura de 5 cm; e uma camada de armazenamento formada por material granular do tipo brita 3 (25 a 50 mm), com espessura de 25 cm, conforme exhibe a Figura 20.

Figura 20 – Perfil do pavimento permeável adotado.

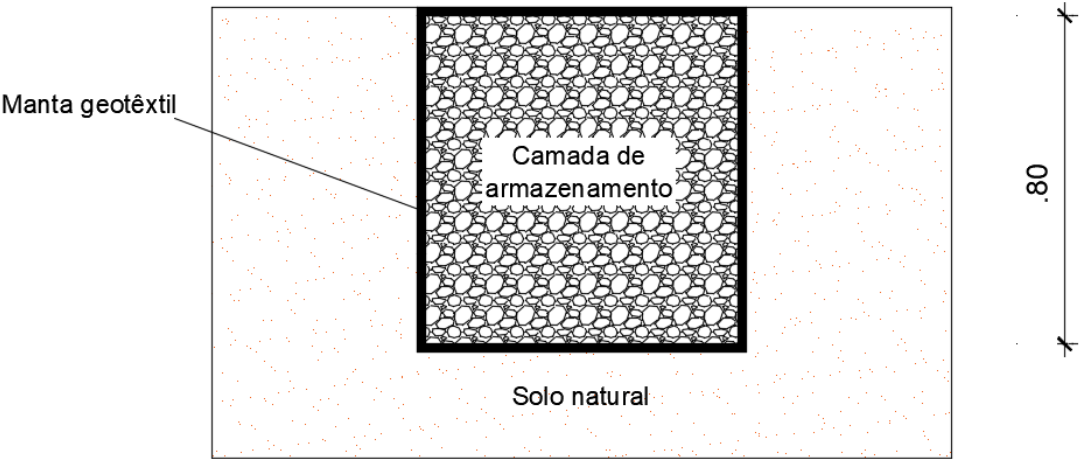


Fonte: autora, 2024.

3.5.2 Trincheira de Infiltração (TI)

O sistema foi projetado para funcionar como uma trincheira de infiltração total, de modo que toda a água das precipitações seja absorvida pelo solo. Para garantir sua eficiência, a estrutura é composta por camadas de pedra britada e manta geotêxtil, que facilitam tanto a infiltração quanto o armazenamento temporário da água da chuva, assegurando a capacidade de lidar com os volumes esperados. A definição da estrutura seguiu os estudos e práticas abordadas por Peiter e Poleto (2012) e Souza e Goldenfum (2002). A estrutura é formada por uma camada de armazenamento composta por material granular, utilizando brita 3 (25 a 50 mm) com 80 cm de espessura, em contato direto com o solo natural, conforme exhibe a Figura 21.

Figura 21 – Perfil da trincheira de infiltração adotada.

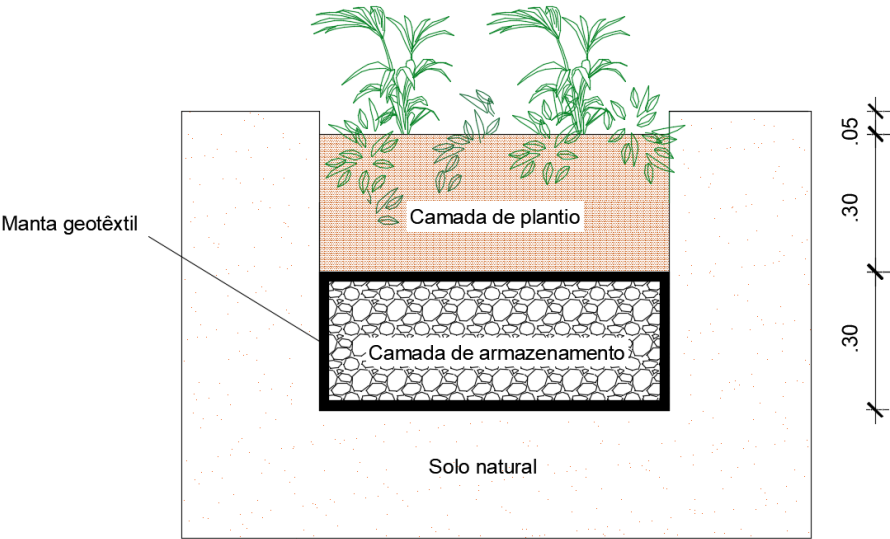


Fonte: autora, 2024.

3.5.3 Jardim de Chuva (JC)

A estrutura do jardim de chuva, conforme exibe a Figura 22, foi definida com base nos estudos de Dantas (2024) e é composta por três camadas: a primeira é uma camada de cobertura vegetal de baixo porte, com 5 cm de profundidade; a segunda consiste em uma camada de solo de 30 cm, projetada para o plantio das vegetações; e, por fim, a última camada, com 30 cm de espessura, é formada por brita 3 (25 a 50 mm), destinada ao armazenamento da água.

Figura 22– Perfil do jardim de chuva adotado.



Fonte: autora, 2024.

3.6 CUSTOS LID'S

Os custos de implantação dos dispositivos analisados foram definidos com base nas composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil (SINAPI) e no Sistema de Custos Rodoviários (SICRO). Esses sistemas fornecem diretrizes para a precificação de materiais e serviços no setor de construção, permitindo a elaboração de orçamentos detalhados e precisos.

O estudo também foi complementado por pesquisas de Guerra (2023) e Lopes (2020), cujas análises forneceram informações importantes sobre o custo-benefício de diferentes dispositivos de infraestrutura, como os sistemas de drenagem urbana. Além disso, a estrutura dos controles previamente definidos foi fundamental para garantir a consistência das composições orçamentárias.

Nas Tabelas 9, 10 e 11 são apresentados os itens que compõem as estimativas de custos, permitindo uma visão clara dos materiais e serviços necessários para a execução dos projetos.

Tabela 9 – Composição de custo do Pavimento Permeável.

PAVIMENTO PERMEÁVEL						
Base de dados	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SINAPI	4805751	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m	m³	49,66	abr/24	Paraíba
Preço de mercado	-	Pavimento drenante 10x20 6 CM	m²	53,00	mai/24	João Pessoa
SINAPI	370	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte)	m³	120,00	ago/24	João Pessoa
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	89,26	ago/24	João Pessoa
SINAPI	4021	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	ago/24	João Pessoa

Fonte: adaptado de Guerra, 2023.

Tabela 10 – Composição de custo da Trincheira de Infiltração.

TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO						
Base de dados	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805751	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m	m³	49,66	abr/24	Paraíba
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	89,26	ago/24	João Pessoa
SINAPI	4021	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	ago/24	João Pessoa

Fonte: adaptado de Guerra, 2023.

Tabela 11 – Composição de custo do Jardim de Chuva.

CÉLULA DE BIORRETENÇÃO						
Base de dados	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805751	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m	m³	49,66	abr/24	Paraíba
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	89,26	ago/24	João Pessoa
SINAPI	4021	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	ago/24	João Pessoa
SINAPI	7253	Terra vegetal (granel)	m³	143,57	ago/24	João Pessoa
Preço de mercado	-	Planta da espécie Espada de São Jorge	muda	13,00	nov/24	-

Fonte: adaptado de Lopes, 2020.

As linhas de serviço apresentadas inicialmente podem não refletir o valor real de implantação, pois muitas composições consideram apenas o custo de insumos, sem incluir a mão de obra. Para corrigir isso, foram consultadas bases de dados orçamentárias que englobam o custo total de execução, abrangendo tanto materiais quanto mão de obra. Além disso, houve a necessidade de converter as unidades de composição: para valores em metro cúbico (m³), a conversão para metro quadrado (m²) foi realizada multiplicando o valor unitário pela profundidade; no caso de composições em metro linear (m), a conversão foi feita dividindo o custo unitário pela medida perpendicular.

3.7 MODELAGEM SWMM

3.7.1 Discretização da área de estudo

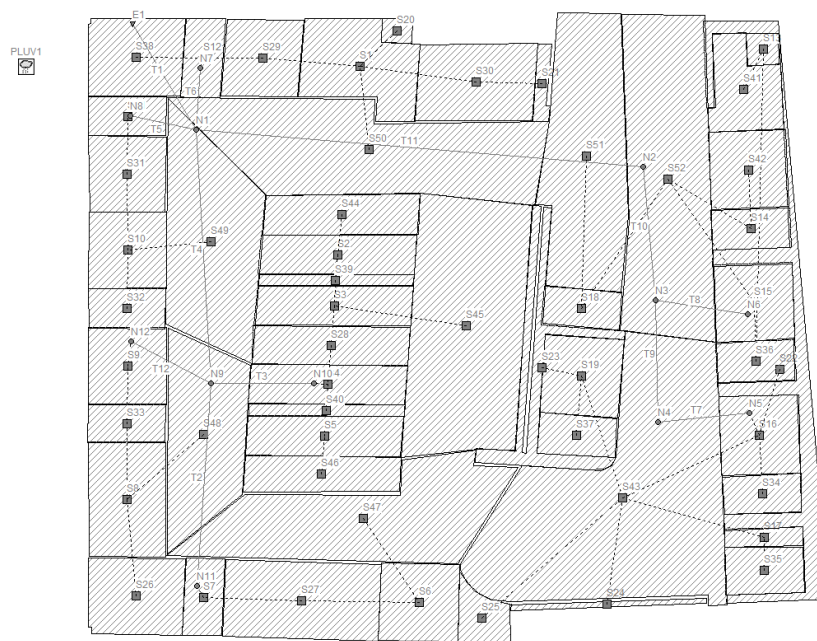
Para a modelagem no SWMM, o primeiro passo foi dividir a área total da bacia em sub-bacias, considerando suas características físicas, hidrológicas e hidráulicas. Cada sub-bacia é responsável por gerar o escoamento superficial da água pluvial, que escoar e infiltra no solo. Foram atribuídas propriedades específicas às subdivisões territoriais, como área total, inclinação, proporção de áreas permeáveis e impermeáveis, além do coeficiente de Manning, que influencia a resistência ao escoamento conforme o tipo de superfície.

Nos cenários simulados, as sub-bacias foram ajustadas de forma que cada dispositivo LID ocupasse a totalidade de uma sub-bacia, drenando uma área correspondente. Essa abordagem permitiu avaliar a eficiência dos LIDs em diferentes configurações, considerando a distribuição do escoamento.

Além disso, foram incluídos elementos hidráulicos no sistema, como os exutórios (E), que representam os pontos de saída da água da bacia, os trechos de tubulação (T) e as caixas de passagem (N) posicionadas ao longo dos condutos. O pluviômetro (P) foi inserido para definir o volume de precipitação nas simulações.

As Figuras 23, 24, 25, 26 e 27 exibem os modelos dos cenários no SWMM.

Figura 23 - Modelo do C00 no SWMM.



Fonte: autora, 2024.

Figura 24 - Modelo do C01 no SWMM.



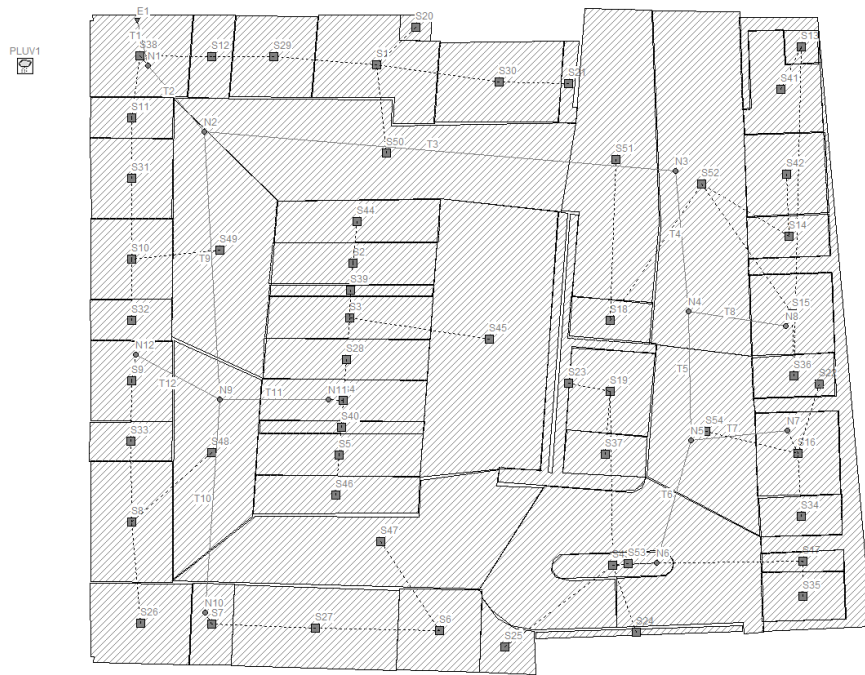
Fonte: autora, 2024.

Figura 25 - Modelo do C02 no SWMM.



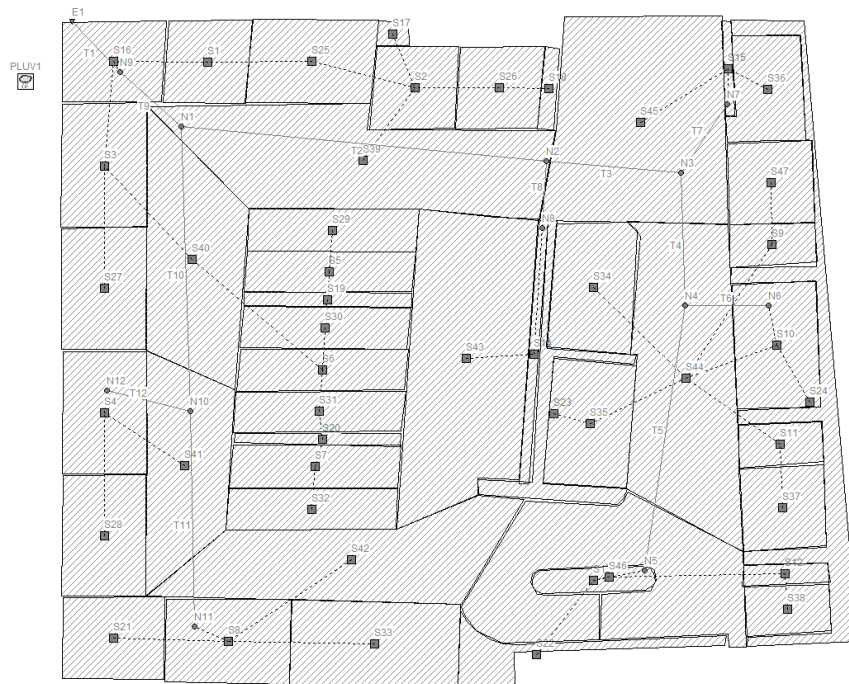
Fonte: autora, 2024.

Figura 26 - Modelo do C03 no SWMM.



Fonte: autora, 2024.

Figura 27 - Modelo do C04 no SWMM.



Fonte: autora, 2024.

3.7.2 Dados de entrada no SWMM

Os parâmetros iniciais para a modelagem no SWMM incluem a área total da sub-bacia, a largura do caminho de escoamento (W), a declividade do terreno, a porcentagem de área impermeável, a rugosidade de *Manning*, e o coeficiente *Curve Number*. Além disso, é importante considerar a presença ou ausência de LID's (*Low Impact Developments*) e seus parâmetros hidrológicos. Com exceção do parâmetro de largura da sub-bacia, todos os outros já haviam sido definidos.

Para definir a largura (*width*) relacionada à lâmina de escoamento das sub-bacias, foi utilizado o método da largura do retângulo equivalente, desenvolvido por Cavalcanti (2020) com base nos estudos de Lenhs (2012). Este método é amplamente aplicado em modelagens hidrológicas, especialmente quando as bacias hidrográficas não têm um formato retangular regular, que é o exigido pelo SWMM. Sua aplicação aproxima as características geométricas das sub-bacias, facilitando o cálculo do escoamento superficial e da drenagem.

A largura equivalente representa a dimensão transversal ao escoamento que melhor caracteriza cada sub-bacia, promovendo uma simplificação geométrica importante para a modelagem hidrológica. Embora muitas sub-bacias na área de estudo tenham formato retangular, optou-se por aplicar o método a todas elas para garantir maior segurança e consistência nos resultados, considerando a diversidade geométrica das áreas analisadas. As Equações 1 e 2 definem, respectivamente, o fator de compacidade da bacia e o seu comprimento equivalente.

$$Kc = 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$l = \frac{Kc \cdot \sqrt{A}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: Kc = coeficiente de compacidade; P = perímetro da sub-bacia (m); A = área da sub-bacia (m^2) e; l = largura equivalente (m).

Os parâmetros utilizados para cada cenário de estudo estão expostos no Apêndice A.

Após a definição das propriedades das sub-bacias, deve-se definir os parâmetros de simulação. O tempo total de simulação foi determinado como o dobro da maior duração de chuva, visando avaliar as condições de escoamento após o término da precipitação. Para este

estudo, foi definido um tempo de simulação de 120 minutos (2 horas), com um passo de tempo de 1 minuto, compatível com o hietograma de projeto.

Para a modelagem, foi necessário implantar tubos coletores de escoamento, considerados como cerâmicos, com coeficiente de rugosidade de Manning ($n = 0,01$), inclinação mínima de 1%, e diâmetros de DN200 para as saídas dos LIDs e tubos coletores, e DN300 para a ligação ao exutório.

A metodologia adotada para a infiltração foi a *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvida pelo *U.S. Department of Agriculture* (1982), que utiliza o *Curve Number* (CN) para calcular infiltração e escoamentos em diferentes classes de solos. No caso do solo estudado, do tipo hidrológico A (Canholi, 2014), foi considerado CN=98 para áreas pavimentadas e CN=39 para áreas de jardim. A análise dos fluxos superficiais e internos nos condutos foi baseada na dinâmica da Onda Dinâmica, com os resultados de fluxo expressos em litros por segundo (L/s), de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI). As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam os parâmetros dos LIDs inseridos no SWMM.

Tabela 12 – Parâmetros do pavimento permeável.

Camada	Parâmetros	Valor	Unidade
Superfície	Profundidade de armazenamento	0	mm
	Cobertura Vegetal	0	0-1
	Rugosidade de Manning	0,012	n
	Declividade superficial	0,5	%
Pavimento	Espessura do pavimento	60	mm
	Índice de vazios	0,15	-
	Superfície Impermeável	0	0-1
	Permeabilidade	500	mm/h
	Fator de colmatação	0	-
Solo	Espessura do solo	5	mm
	Porosidade	0,437	0-1
	Capacidade de campo	0,062	0-1
	Ponto de murcha	0,024	0-1
	Condutividade hidráulica	120	mm/h
	Gradiente de condutividade	0	%
	Sucção capilar	0	mm
Armazenamento	Altura	250	mm
	Índice de vazios	0,66	-
	Taxa de infiltração	210	mm/h
	Fator de colmatação	0	-

Fonte: adaptado de Dantas, 2024.

Tabela 13– Parâmetros da trincheira de infiltração.

Camada	Parâmetros	Valor	Unidade
Superfície	Profundidade de armazenamento	0	mm
	Cobertura Vegetal	0	0-1
	Rugosidade de Manning	0,03	n
	Declividade superficial	0	%
Armazenamento	Altura	800	mm
	Índice de vazios	0,66	-
	Taxa de infiltração	210	mm/h
	Fator de colmatção	0	-

Fonte: adaptado de Dantas, 2024.

Tabela 14 – Parâmetros do jardim de chuva.

Camada	Parâmetros	Valor	Unidade
Superfície	Profundidade de armazenamento	50	mm
	Cobertura Vegetal	0.1	0-1
	Rugosidade de Manning	0.15	n
	Declividade superficial	0	%
Solo	Espessura do solo	300	mm
	Porosidade	.5	0-1
	Capacidade de campo	0.2	0-1
	Ponto de murcha	0.1	0-1
	Condutividade hidráulica	110	mm/h
	Gradiente de condutividade	10	%
	Sucção capilar	48	mm
Armazenamento	Altura	300	mm
	Índice de vazios	0.67	-
	Taxa de infiltração	210	mm/h
	Fator de colmatção	0	-

Fonte: adaptado de Dantas, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MODELAGEM DOS CENÁRIOS

Para a avaliação do desempenho hidrológico do sistema de drenagem do estacionamento, a modelagem foi iniciada com o Cenário 00 (C00), que representa a configuração atual do projeto, já incorporando o pavimento permeável como um dispositivo de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). Este cenário base serve como referência para

comparação com as demais alternativas propostas. Na sequência, foram modelados mais quatro cenários, cada um combinando diferentes LID's, que incluem pavimento permeável, trincheiras de infiltração e jardins de chuva. A modelagem foi realizada no *software* SWMM, que fornece informações essenciais, como escoamento superficial, descarga, entrada de água total, precipitação e infiltração. Nesta seção, a vazão e o volume foram analisados.

4.1.1 Análise da vazão

A análise de vazão avalia a eficácia de cada cenário em reduzir as vazões de pico durante eventos de precipitação, utilizando dados simulados de chuvas intensas para verificar a contribuição dos LID's para o controle das vazões. Para realizá-la, observou-se os valores exibidos na Tabela 15, referentes aos picos de vazão de cada chuva de projeto, para todos os cenários.

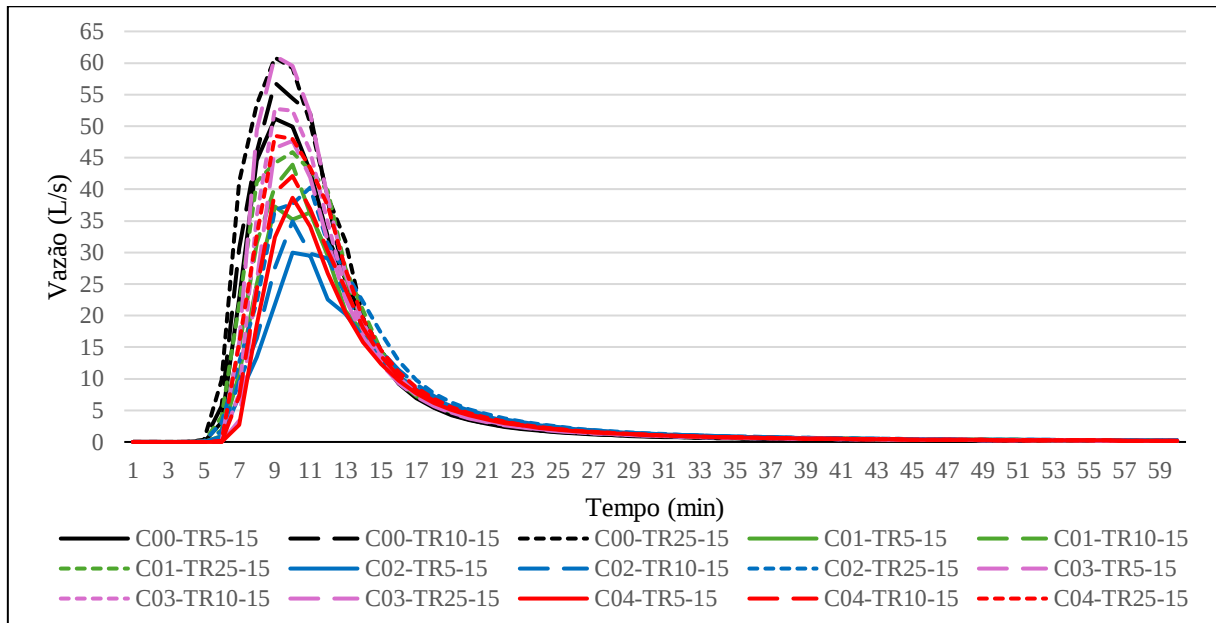
Tabela 15 - Picos de vazão nos cenários estudados.

PICOS DE VAZÃO (L/s)									
	TR5			TR10			TR25		
	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min
C00	51,17	59,38	63,58	56,87	66,51	67,78	60,85	65,9	68,84
C01	37,27	53,30	54,52	43,90	50,20	53,09	45,88	50,46	60,39
C02	29,97	49,10	55,10	34,93	54,89	59,00	40,27	50,78	63,73
C03	47,67	61,15	59,4	52,75	61,90	64,54	61,11	62,1	68,02
C04	38,66	54,85	60,49	42,10	59,19	65,53	48,47	57,84	70,06

Fonte: autora, 2024.

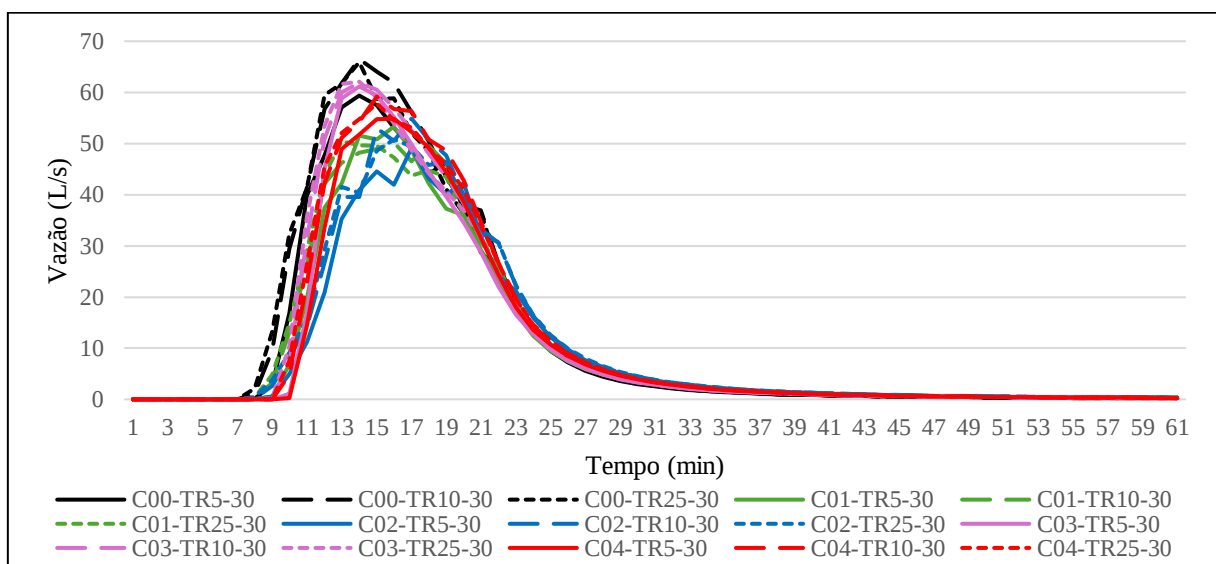
De uma forma geral, é possível observar que os cenários atuaram para a redução da vazão de pico. No entanto, observou-se que as chuvas de retorno TR5-30 (C03), TR25-15 (C03) e TR25-60 (C04) apresentaram picos de vazão superiores ao registrado no Cenário Base. Considerando que a área do pavimento permeável do Cenário 00 não sofreu alterações no Cenário 03, uma possível explicação para esse comportamento pode estar relacionada à distribuição inadequada do dispositivo adicional (jardim de chuva) ou à segmentação inadequada das novas áreas de contribuição. Para o Cenário 04, além da explicação anterior, a redução da área permeável também pode ser um motivador desse comportamento.

Com o intuito de avaliar as distribuições das vazões ao longo do tempo, foram gerados os Gráficos 2, 3 e 4. É importante destacar que o tempo foi reduzido apenas para a elaboração do gráfico, visando proporcionar uma visualização mais clara e eficiente dos dados.

Gráfico 2 - Hidrogramas de vazão para a duração de 15 minutos.

Fonte: autora, 2024.

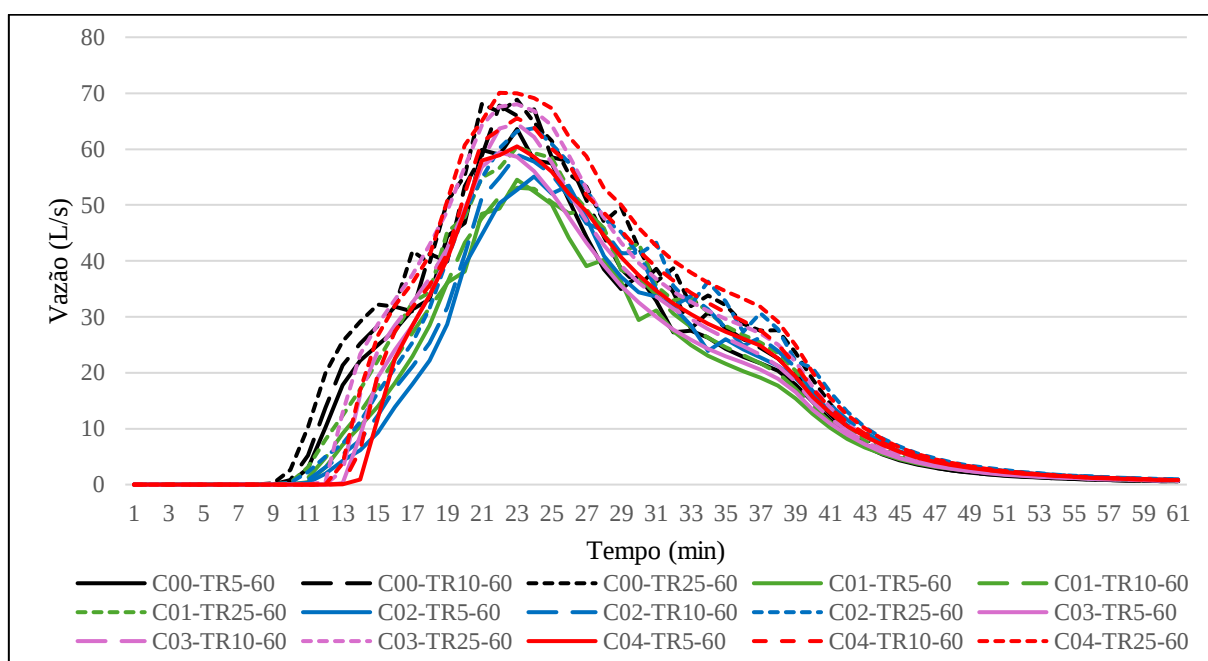
A partir do Gráfico 2, é possível avaliar que todos os cenários apresentaram redução na vazão da chuva de 15 minutos de duração, com exceção do TR25-15 (C03), comprovando a capacidade de amortecimento das curvas de vazão dos dispositivos de baixo impacto. Como esperado, a partir do que é demonstrado na Tabela 15, o C03 foi o cenário que mais se aproximou do comportamento do cenário base, enquanto os cenários 01, 02 e 04 tiveram uma redução de vazão considerável.

Gráfico 3 - Hidrogramas de vazão para a duração de 30 minutos.

Fonte: autora, 2024.

No Gráfico 3, observa-se que as curvas de vazão para a duração de 30 minutos seguiram o comportamento apresentado nas séries de chuva de 15 minutos, o que reitera a eficiência nos cenários 01, 02 e 04 na redução das vazões base. As discontinuidades observadas nas chuvas do cenário 00 podem ser explicadas pela saturação dos dispositivos de baixo impacto e posterior retorno de sua infiltração, a medida em que o solo natural auxilia nesse processo. Outro provável motivo que pode ser apontado é o subdimensionamento dessas soluções, visto que nos outros cenários, em que houve o aumento de suas áreas, não apresentou o mesmo comportamento.

Gráfico 4 - Hidrogramas de vazão para a duração de 60 minutos.



Fonte: autora, 2024.

No Gráfico 4, observa-se que os comportamentos dos cenários se aproximaram do ocorrido no Cenário 00 e que, para essa duração de chuva, o C04 superou o pico de vazão do cenário base no tempo de retorno de 25 anos. Esses hidrogramas reforçam a hipótese de subdimensionamento dos dispositivos de baixo impacto, tendo em vista que os picos se acentuaram com o aumento da vazão, provocado por chuvas de maior duração.

Para uma análise quantitativa, a Tabela 16 foi elaborada com os valores de redução da vazão nos cenários.

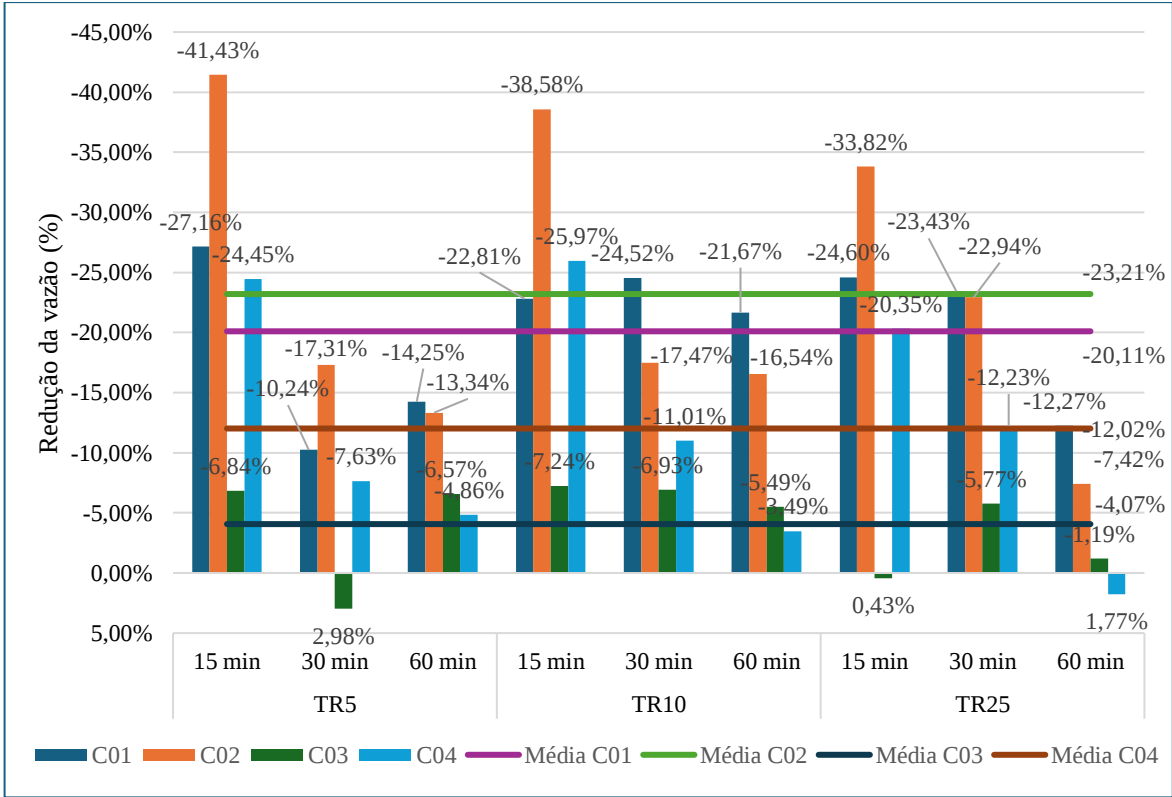
Tabela 16 - Dados de redução da vazão nos cenários.

REDUÇÃO DA VAZÃO (L/s)									
	TR5			TR10			TR25		
	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min
C01	-27,16%	-10,24%	-14,25%	-22,81%	-24,52%	-21,67%	-24,60%	-23,43%	-12,27%
C02	-41,43%	-17,31%	-13,34%	-38,58%	-17,47%	-16,54%	-33,82%	-22,94%	-7,42%
C03	-6,84%	2,98%	-6,57%	-7,24%	-6,93%	-5,49%	0,43%	-5,77%	-1,19%
C04	-24,45%	-7,63%	-4,86%	-25,97%	-11,01%	-3,49%	-20,35%	-12,23%	1,77%

Fonte: autora, 2024.

Desconsiderando os aumentos de vazão mencionados anteriormente, a Tabela 16 exhibe reduções em todos os cenários, com valores que variam de 0,85% a 20,58%.

Gráfico 5 - Total de redução das vazões de pico dos cenários analisados.



Fonte: autora, 2024.

A partir do que é demonstrado no Gráfico 5, é possível observar que, apesar dos cenários 01, 02 e 04 promoverem consideráveis reduções de vazão quando comparados com o cenário 00, o C02 se destaca com maiores valores de redução na maioria das precipitações.

É importante destacar que há uma clara diminuição da redução da vazão à medida que a duração da chuva aumenta, conforme verifica-se no gráfico.

Outro ponto a ser discutido é que, embora as medidas de controle na fonte visem reduzir e atrasar o pico de vazão, os cenários analisados não demonstraram eficácia em retardar a vazão máxima, limitando-se a reduzir o seu valor absoluto. Essa situação ocorre porque os dispositivos implementados não possuem capacidade adequada para a retenção de água pluvial, restringindo-se a direcionar o fluxo existente para infiltração no solo, sem controlar efetivamente a sua liberação. Para o efetivo retardo da vazão, seria necessário o emprego de reservatórios, cisternas ou poços que utilizem mecanismos de retenção, capazes de armazenar temporariamente a água e permitir uma liberação controlada ao longo do tempo.

4.1.2 Análise do volume

A análise de volume permite avaliar a eficiência dos cenários na retenção e infiltração das águas pluviais, a partir do volume de escoamento superficial. Essas medições são cruciais para determinar a capacidade dos LID's em gerenciar a água da chuva e reduzir o risco de alagamentos. A Tabela 17 exibe os dados de volume total escoado em cada cenário e série de chuva, obtidos nos relatórios do *software* SWMM.

Tabela 17 - Volume escoado nos cenários.

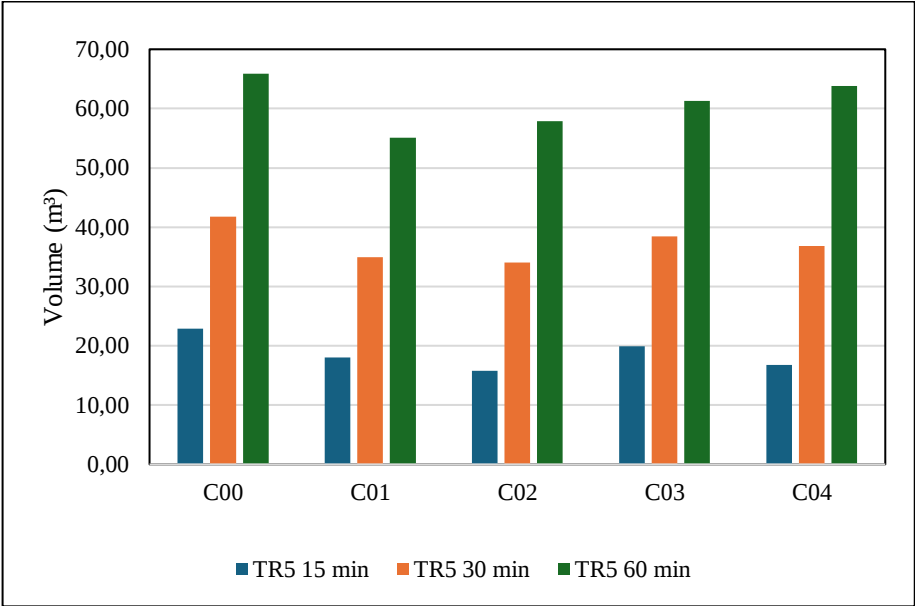
VOLUME (m ³)									
	TR5			TR10			TR25		
	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min
C00	22,84	41,80	65,89	25,10	45,16	72,16	28,33	45,02	80,93
C01	18,06	34,91	55,09	20,14	37,92	60,96	23,14	37,75	69,17
C02	15,82	34,02	57,88	17,83	37,19	63,70	20,84	37,06	71,91
C03	19,88	38,41	61,32	22,15	41,75	67,64	25,42	41,58	76,47
C04	16,80	36,86	63,77	19,03	40,30	70,19	22,23	40,16	79,18

Fonte: autora, 2024.

Os valores apresentados refletem a capacidade de resposta dos dispositivos à lâmina de água distribuída na área da bacia durante diferentes eventos de chuva. Como indicado na Tabela 17, o percentual de redução no volume de chuva diminui conforme aumenta a duração da precipitação. Por exemplo, no dispositivo C02, para o tempo de retorno de 5 anos, essa redução varia de 30,74% para 18,59% e, posteriormente, para 12,16%. Essa observação destaca a influência da duração da chuva no desempenho dos LIDs. Em chuvas de curta duração, esses dispositivos conseguem reter a maior parte da água de maneira eficiente, facilitando sua infiltração. No entanto, em chuvas prolongadas, a capacidade de armazenamento dos

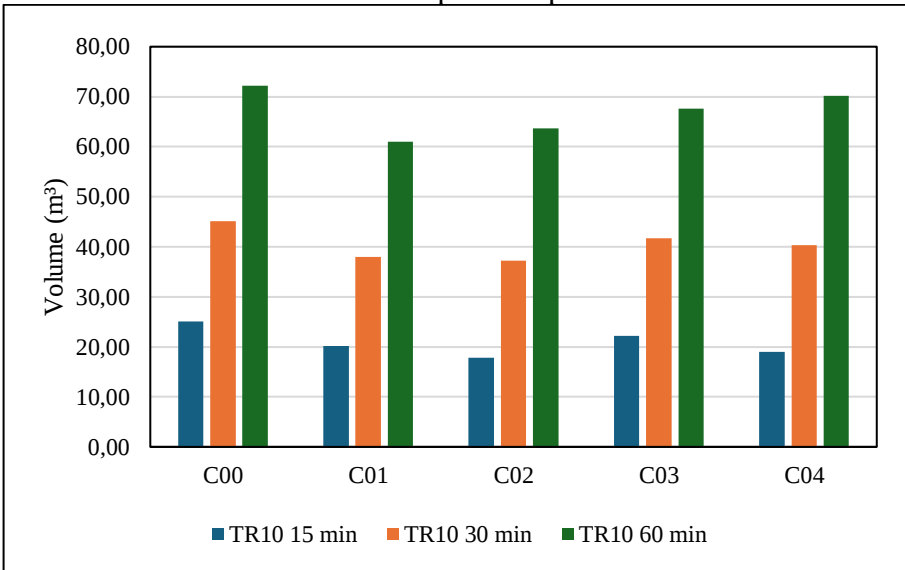
dispositivos pode se esgotar, resultando em uma diminuição da eficiência de retenção. Para a análise desses dados, foram desenvolvidos os gráficos 6, 7 e 8, que correspondem ao volume escoado para os tempos de retorno de 5, 10 e 25 anos, respectivamente.

Gráfico 6 - Volumes escoados para tempo de retorno de 5 anos.



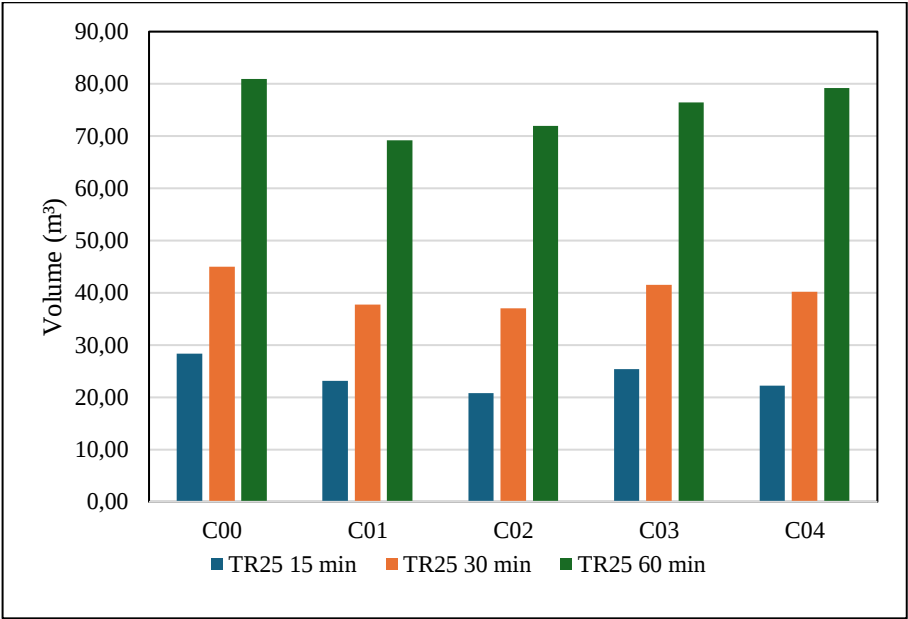
Fonte: autora, 2024.

Gráfico 7 - Volumes escoados para tempo de retorno de 10 anos.



Fonte: autora, 2024.

Gráfico 8 - Volumes escoados para tempo de retorno de 25 anos.



Fonte: autora, 2024.

A partir dos resultados presentes nos gráficos recém citados (6, 7 e 8), percebe-se uma redução de volume nas chuvas de todos os tempos de retorno de cada cenário, quando comparados com o cenário base. Apesar desse resultado demonstrar a capacidade de infiltração dos dispositivos propostos, vale destacar que, com o aumento de duração dos eventos de chuva, estes são sobrecarregados, o que ilustra a dificuldade de escoar grandes volumes de água.

A Tabela 18 exibe os valores absolutos de redução do volume dos cenários.

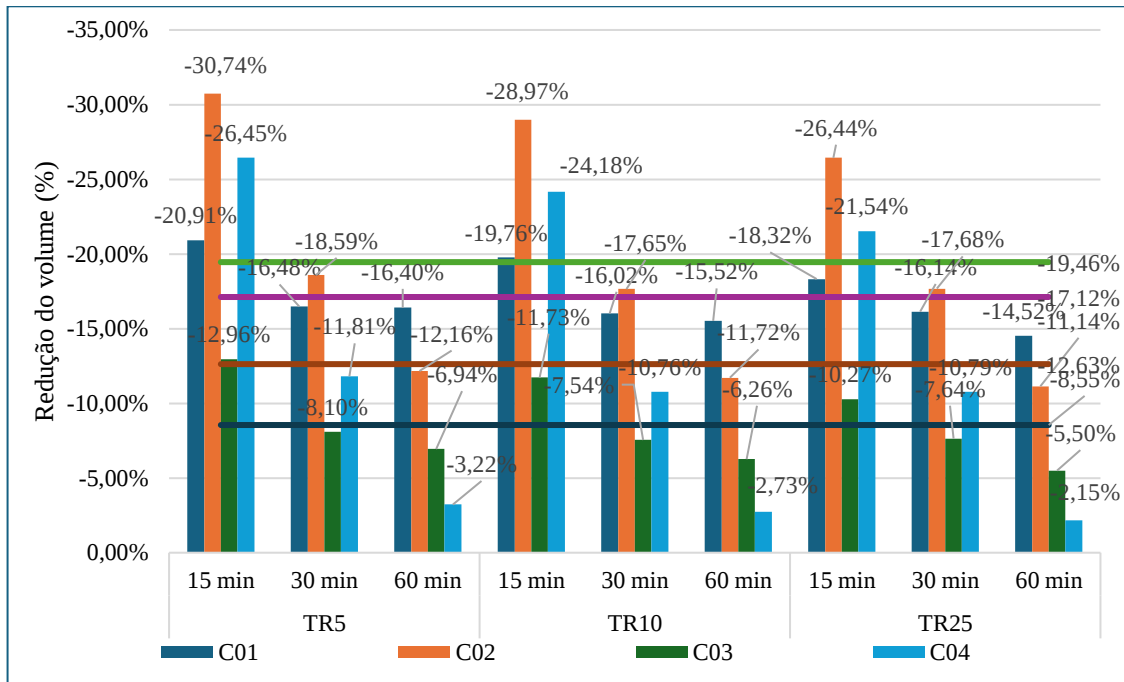
Tabela 18 - Dados de redução do volume dos cenários.

REDUÇÃO DO VOLUME (m³)									
	TR5			TR10			TR25		
	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min	15 min	30 min	60 min
C01	-20,91%	-16,48%	-16,40%	-19,76%	-16,02%	-15,52%	-18,32%	-16,14%	-14,52%
C02	-30,74%	-18,59%	-12,16%	-28,97%	-17,65%	-11,72%	-26,44%	-17,68%	-11,14%
C03	-12,96%	-8,10%	-6,94%	-11,73%	-7,54%	-6,26%	-10,27%	-7,64%	-5,50%
C04	-26,45%	-11,81%	-3,22%	-24,18%	-10,76%	-2,73%	-21,54%	-10,79%	-2,15%

Fonte: autora, 2024.

Esta tabela apresenta dados com consideráveis reduções de volume em todos os cenários, com percentuais que variam de 2,15% a 30,74%.

O Gráfico 9 exibe o percentual de redução do volume dos cenários do presente estudo.

Gráfico 9 - Percentual de redução de volume nos cenários analisados.

Fonte: autora, 2024.

A partir desse gráfico, é possível observar que, como apontado anteriormente, na análise de redução de vazão, apesar de todos os cenários provocarem reduções de volume quando comparados com o cenário 00, os cenários 02 e 04 apresentam maiores vantagens para chuvas de 15 minutos. Esse comportamento é alterado para precipitações de 30 min, em que o cenário 04 perde a posição para o cenário 01, e para precipitações de 60 min, visto que o C01 assume a maior redução de volume em todos os tempos de retorno.

4.2 CUSTOS

Nesta seção, adaptou-se os custos, apresentados na metodologia deste trabalho, para as espessuras e especificidades das estruturas dos dispositivos propostos. As Tabelas 19, 20 e 21 apresentam os valores de implantação de cada solução.

Tabela 19 - Orçamento do pavimento permeável.

PAVIMENTO PERMEÁVEL					
Tipo	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Base	Local
SERVIÇO	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m - E=36 cm	m²	17,88	Adaptado SICRO Abr/2024	Paraíba
SERVIÇO	Compactação mecânica de solo para execução de radier, piso de concreto ou laje sobre solo, com compactador de solos a percussão. AF 09/2021	m²	3,00	Adaptado SINAPI Mar/2024	Paraíba
SERVIÇO	Execução de passeio (calçada) ou piso de concreto drenante em placas de 40x40 cm, espessura 6 cm - fornecimento e instalação	m²	76,95	Adaptado SINAPI Fev/2024	Paraíba
SERVIÇO	Areia média - posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte) - E=5 cm	m²	6,00	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete - E=25 cm	m²	22,32	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa

Fonte: adaptado de Guerra, 2023.

Tabela 20 - Orçamento da trincheira de infiltração.

TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
Tipo	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Base	Local
SERVIÇO	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m - E=80cm	m²	39,73	Adaptado SICRO Abr/2024	Paraíba
INSUMO	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete - E=80cm	m²	71,41	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa

Fonte: adaptado de Guerra, 2023.

Tabela 21 - Orçamento do jardim de chuva.

CÉLULA DE BIORRETENÇÃO					
Tipo	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Base	Local
SERVIÇO	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m - E=65cm	m²	32,28	Adaptado SICRO Abr/2024	Paraíba
INSUMO	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete - E=30cm	m²	26,78	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	26,26	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Terra vegetal (granel) - E=30cm	m²	43,07	Adaptado SINAPI Ago/2024	João Pessoa
INSUMO	Planta da espécie Espada de São Jorge	m²	39,00	out/24	-

Fonte: adaptado de Dantas, 2024.

Os valores unitários e os custos totais, que resultam da multiplicação dos valores unitários pelas áreas correspondentes, estão apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Custo total de implantação dos LID's em cada cenário.

Cenário	LID	Área (m²)	Valor Unitário (R\$)	Total Parcial (R\$)	Total (R\$)
C00	PP	394,59	R\$ 152,40	R\$ 60.136,54	R\$ 60.136,54
	TI	0	R\$ 137,40	R\$ 0,00	
	JC	0	R\$ 167,39	R\$ 0,00	
C01	PP	509,6	R\$ 152,40	R\$ 77.664,36	R\$ 77.664,36
	TI	0	R\$ 137,40	R\$ 0,00	
	JC	0	R\$ 167,39	R\$ 0,00	
C02	PP	396,57	R\$ 152,40	R\$ 60.438,30	R\$ 63.118,90
	TI	19,51	R\$ 137,40	R\$ 2.680,60	
	JC	0	R\$ 167,39	R\$ 0,00	
C03	PP	394,59	R\$ 152,40	R\$ 60.136,54	R\$ 66.835,41
	TI	0	R\$ 137,40	R\$ 0,00	
	JC	40,02	R\$ 167,39	R\$ 6.698,87	
C04	PP	303,5	R\$ 152,40	R\$ 46.254,19	R\$ 54.428,52
	TI	10,69	R\$ 137,40	R\$ 1.468,76	
	JC	40,06	R\$ 167,39	R\$ 6.705,56	

Fonte: autora, 2024.

Como o cenário base (C00) trata-se de um projeto de reforma, o seu valor de implantação também foi considerado para a análise do custo dos outros cenários.

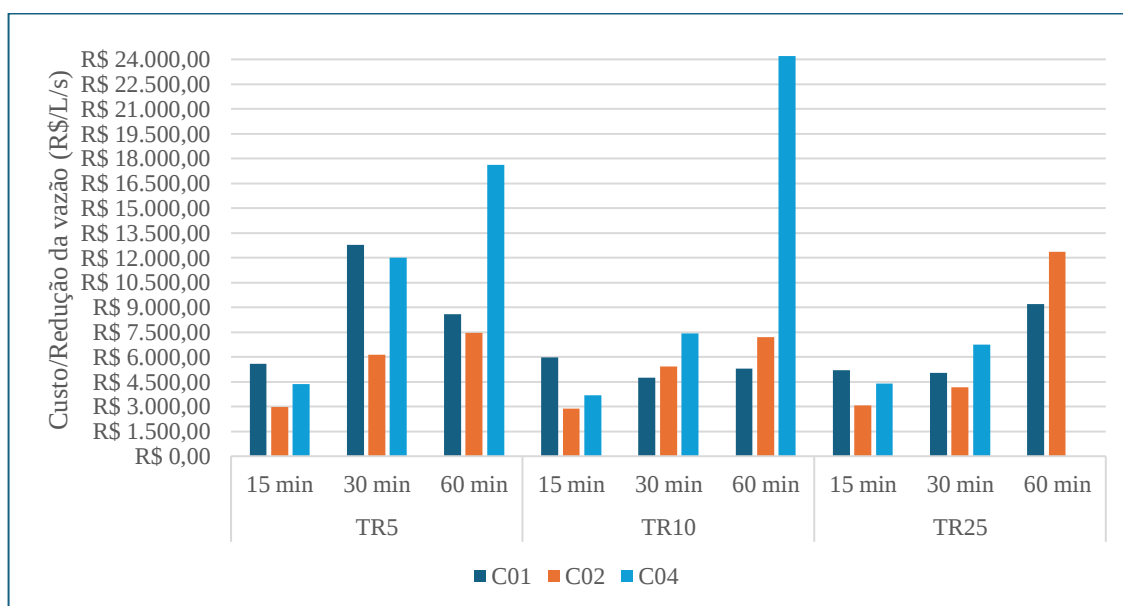
Do ponto de vista econômico, houve diferença de investimento de até R\$ 17.000,00 entre o cenário base e um dos cenários propostos, o que representa um acréscimo de cerca de 29,15% do valor calculado para o projeto original. Por outro lado, o cenário 04 apresentou redução de, aproximadamente, R\$ 6.000,00 (9,50 %).

A Tabela 22 mostra que, ao priorizar áreas permeáveis, o custo aumentou em 29,15% entre os cenários C00 e C01. Em contrapartida, no cenário C04, houve uma redução de 9,50% no custo, apesar de contar com 72,53% de área impermeável. Isso sugere que a disposição e a integração dos dispositivos de baixo impacto podem otimizar tanto o custo quanto a eficiência.

4.3 RELAÇÃO VAZÃO X VOLUME X CUSTOS

Para validar os custos de implantação, foi calculado o índice de custo por vazão (R\$/L/s) e por volume (R\$/m³), permitindo a determinação do investimento de forma comparativa. Os Gráficos 10 e 11 apresentam os índices de custo por vazão reduzida e por volume reduzido, respectivamente. Para a elaboração dos gráficos, foram retirados os cenários C00, por ser o cenário base, e o C03 pela expressiva discrepância de custos com os demais. A relação foi considerada inexistente na simulação que não houve redução de vazão.

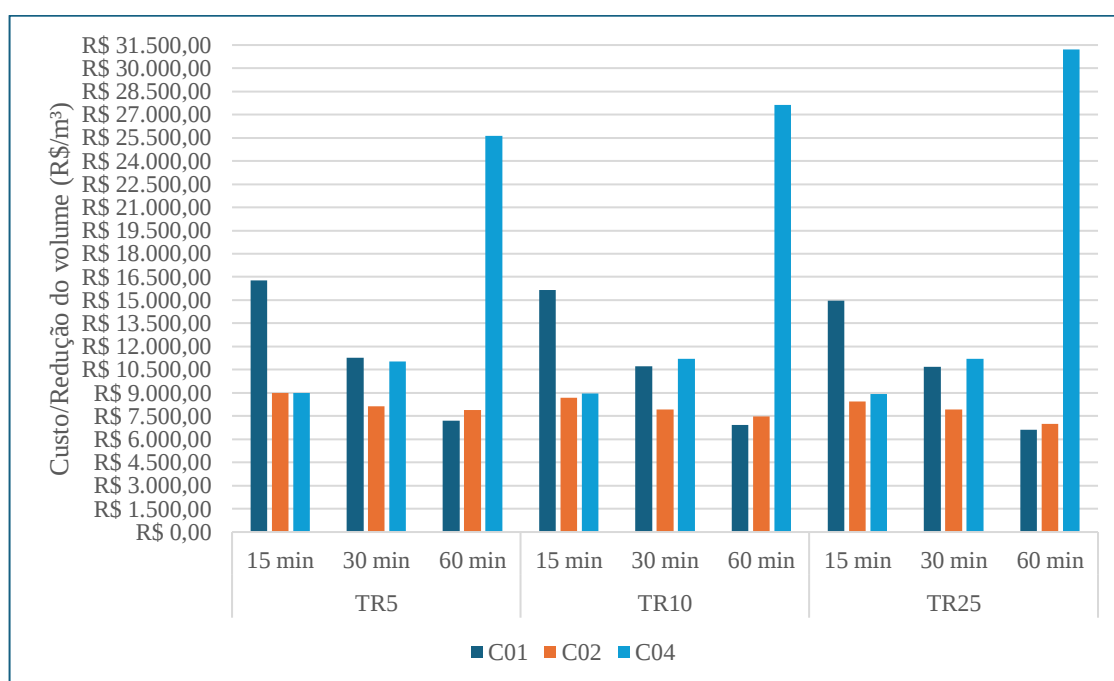
Gráfico 10 - Índices de custo por vazão reduzida.



Fonte: autora, 2024.

No Gráfico 10, observa-se que o cenário 02 apresenta os menores custos para chuvas de curta e média duração, porém, seu custo se eleva ao longo da série de chuvas de 60 minutos. O cenário 04, por sua vez, é o menos vantajoso, por apresentar maior custo por redução de vazão, nas séries de 30 e 60 minutos, mas apresenta comportamento parecido com os demais cenários nas séries de 15 minutos. Já o cenário 01 exibe menores custos para as chuvas de maior duração, quando comparado com os outros cenários.

Gráfico 11 - Índices de custo por volume reduzido.



Fonte: autora, 2024.

No Gráfico 11, verifica-se que o custo do cenário 01 reduz com o aumento da duração das chuvas, enquanto o cenário 04 apresenta um comportamento contrário. O cenário 02 segue o comportamento do C01, no entanto, apresenta custos menores e mais lineares.

É fundamental, contudo, considerar o custo total da implantação na área estudada, além do objetivo de reduzir as vazões e volumes, para garantir uma escolha eficiente entre os cenários propostos. Ademais, é importante destacar que outros custos, como os de manutenção e operação, não foram considerados ao longo do ciclo de vida das LIDs, o que poderia modificar as conclusões do estudo.

5 CONCLUSÕES

A análise do projeto de reforma do estacionamento do hotel no Bairro do Cabo Branco em João Pessoa – PB, revela que a proposta para a área possui um índice elevado de impermeabilização que pode agravar os problemas de drenagem urbana, especialmente durante eventos de chuvas intensas. Com a pavimentação predominantemente impermeável, a capacidade de escoamento rápido das águas pluviais resulta em dificuldades significativas no sistema de drenagem proposto para a reforma.

A combinação das metodologias de *Low Impact Development* (LID) demonstrou ser eficaz em todos os cenários analisados, provando a capacidade dos dispositivos em melhorar as características hidrológicas da bacia. Os dispositivos LID's estudados (pavimento permeável, trincheira de infiltração e jardim de chuva), mostraram-se promissores na redução do escoamento superficial e na mitigação dos impactos das chuvas, demonstrando a viabilidade de soluções sustentáveis em ambientes urbanizados.

Os resultados das simulações realizadas com o *software* SWMM foram fundamentais para entender a dinâmica do sistema de drenagem, permitindo a análise detalhada de cada componente da bacia. As simulações indicaram que a eficiência dos LID's está diretamente relacionada à relação entre a área dos dispositivos e a área drenada. Em cenários onde essa relação é menor, a eficiência dos dispositivos é comprometida, evidenciando a importância de um dimensionamento adequado para garantir a eficácia das intervenções.

Os cenários analisados mostraram que a redução de vazão e volume variou conforme a duração das chuvas, e os dispositivos LID conseguiram, em sua maioria, atender às precipitações esperadas para tempos de retorno de 5 e 10 anos. No entanto, durante eventos de maior intensidade, como o de 25 anos, a capacidade de absorção dos dispositivos foi insuficiente, evidenciando a necessidade de aprimoramento contínuo nas soluções propostas.

Além disso, apesar de todos os cenários possuírem bons resultados de redução de vazões de pico e de volume, o cenário 02 apresentou melhor relação custo-eficiência dentre os cenários estudados.

Este estudo ressalta a importância da drenagem sustentável na área urbana, destacando a urgência de adotar práticas que minimizem o impacto das chuvas e melhorem a gestão das águas pluviais. Além disso, abre espaço para trabalhos futuros, como a automatização da análise de cenários, permitindo maior otimização dos dispositivos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (EPA). ***Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1***. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. Acesso em: 19 ago. 2024.

AMARAL, Daniele Pereira Batista. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na gestão das águas pluviais urbanas: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Morto**. 2014. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

AMEC. ***Earth and Environmental Center for Watershed Protection. Georgia Stormwater Management Manual, Volume 2: Technical Handbook***. Atlanta, 2001.

ARAGÃO, R. *et al.* **Chuvas intensas no Estado da Paraíba. V Simpósio de Recursos Hídricos do Norte**. Anais. Natal: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16416/2015: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

BEZERRA, A. M. *et al.* Drenagem Urbana de Águas Pluviais: Cenário atual do sistema da cidade de Assu/RN. **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 16 nov. 2016.

BRATTEBO, Benjamin O.; BOOTH, Derek B. ***Long-term stormwater quantity and quality performance of permeable pavement systems***. *Water research*, 2003, 37.18: 4369-4376.

BUTLER, David; DAVIES, John W. ***Urban Drainage. 3rd ed. Urban runoff***. 2011.

BOOTH, Derek B.; LEAVITT, Jennifer. ***Field evaluation of permeable pavement systems for improved stormwater management***. *Journal of the American Planning Association*, 1999, 65.3: 314-325.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAVALCANTI, Allana Abreu. **Utilização Do Software Swmm Na Modelagem Hidrológica Da Subbacia Do Ribeirão Vai E Volta – Poços De Caldas/Mg**. Dissertação - Universidade Federal de Alfenas. 76 p. Minas Gerais. 2020.

CIRIA SuDS Manual. ***The SuDS Manual***. Department for Environment Food & Rural Affairs. 2015.

CAPUTO, Úrsula Kelli. **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada/estudo de caso do município de Belo Horizonte-MG**, Dissertação (Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais) - Escola de Engenharia da UFMG, 2012.

DAMODARAM, C. *et al.*. Simulation of Combined Best Management Practices and Low Impact Development for Sustainable Stormwater Management 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 46, n. 5, p. 907–918, 26 out. 2010.

DANTAS, K. P. **Implantação de dispositivos de baixo impacto no projeto de readequação do estacionamento do CT/UFPB: manejo sustentável de águas pluviais e viabilidade econômica**. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC - João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2024.

ELLIOTT, A. H.; TROWSDALE, S. A. *A review of models for low impact urban stormwater drainage*. *Environmental modelling & software*, 2007, 22.3: 394-405.

ESD, E. S. D. **Bioretentio Manual**. Prince George's County: Department of Environmental Resources. 2007.

FLETCHER, T. D., *et al.* **SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**. *Water Research*. 2014.

GILL, S. E., *et al.* **Adapting Cities for Climate Change: The Role of Green Infrastructure**. *Built Environment*. 2007.

GUERRA, J. P. P. S. **Análise da eficiência e do custo-benefício de desenvolvimentos de baixo impacto no controle do escoamento superficial: um estudo de caso no centro de tecnologia da UFPB - Campus I**. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC - João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba 2023.

HUNT, W. F., *et al.* **"Cost-Effectiveness of Green Infrastructure."** *Journal of Environmental Engineering*. 2012.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Censo Demográfico 1950/2010: população por situação de domicílio (população presente e residente). Séries Históricas e Estatísticas**. 2010. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=10&op=0&vcodigo=CD91&t=populacao-situacao-domicilio-populacao-presente-residente>. Acesso em: 19 ago. 2024.

JOÃO PESSOA. **Lei Complementar No 164, de 11 de Janeiro de 2024. APROVA A REVISÃO DO PLANO DIRETOR PARTICIPATIVO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS**. Brasil, 11 jan. 2024.

LENHS, L. DE E. E. E H. EM S. **SWMM 5.0: Manual do Usuário**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2010.

LOPES, Moana Duarte. **Aplicação de algoritmos genéricos na otimização de sistemas de drenagem urbana com utilização de controles LIDS - Low Impact Development**. Dissertação—João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2020.

MELO, Tássia dos Anjos Tenório de. **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. 137p. 2011.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. DOS. PLANEJAMENTO E GESTÃO DA DRENAGEM E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS DE CHUVA NO BRASIL: LACUNAS E SITUAÇÃO DOS MUNICÍPIOS. Em: **Boletim Regional, Urbano e Ambiental (Jan-Jun 2023)**. Brasília - DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2023. v. 29p. 99–110.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; MAGALHÃES, Luiz Paulo Canedo. *Urban Flood Control, Simulation and Management – an Integrated Approach*. 2010.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PALMEIRA, Ennio Marques. **Fatores condicionantes do comportamento de filtros geotêxteis**. IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, 1: 49-67. 2003.

PIRES, R. J. B. M., & Almeida, A. M. G. "Training and Education for Sustainable Drainage Systems." *Water Resources Management*. 2018.

POLETO, Cristiano; PEITER, Thiago Veronez. **Estudos dos Efeitos de Trincheiras de Infiltração sobre o Escoamento Superficial**. REA – Revista de Estudos Ambientais, vol. 14, p.57-67. 2018.

PRINCE GEORGE’S COUNTY, M. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Princes Gerorge’s County: Department of Environmental Resources, 1999.

TENNIS, Paul D; LEMING, Michael L.; AKERS, David J. *Pervious Concret Pavements. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA*. 2004.

TOMINAGA, E. N. DE S. **Urbanização de cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação (Mestrado)—São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, dez. 2013.

TUCCI, Carlos E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados vol. 22, nº 63. 2008.

SARTORI, A.; NETO, F; GENOVEZ, A. **Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação**. Revista de Recursos Hídricos, v. 10, p. 5-18, dez. 2005.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. *Review of permeable pavement systems. Building and Environment*, v. 42, n. 11, p. 3830–3836, nov. 2007.

SCHUELER, Thomas R. *Controlling Urban Runoff: A Pratical Manual for Planning and Deigning Urban BMPs*. Departament of Environmental Programs Metropolitan Washington Council of Govemments Water Resources Planning Board. 1987.

SOUZA, Vladimir Caramori B.; GOLDENFUM, Joel Avruch. **Trincheiras De Infiltração Como Elemento De Controle Do Escoamento Superficial: Um Estudo Experimental**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. UFRGS. Porto Alegre. 2002.

SHAFIQUE, Muhammad; KIM, Reeho. *Low Impact Development Practices: A Review Of Current Research And Recommendations For Future Directions*. ECOL CHEM ENG S. 2015;22(4):543-563. 2015.

WORLD CITIES REPORT. Envisaging the Future of Cities. United Nations Human Settlements Programme. 2022.

APÊNDICE A

Área e largura equivalente das sub-bacias.

C00					
Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)	Área (ha)
S1	28,17	37,61	1,30	3,53	0,003761
S2	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S3	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S4	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S5	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S6	20,04	25,13	1,13	4,47	0,002513
S7	14,84	12,35	1,19	2,47	0,001235
S8	24,71	36,76	1,15	4,83	0,003676
S9	19,78	24,46	1,13	4,39	0,002446
S10	19,79	24,46	1,13	4,38	0,002446
S11	14,89	12,24	1,20	2,40	0,001224
S12	14,91	12,61	1,18	2,53	0,001261
S13	8,10	4,09	1,13	1,77	0,000409
S14	15,00	12,50	1,20	2,45	0,001250
S15	19,80	24,49	1,13	4,39	0,002449
S16	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500
S17	12,40	6,01	1,43	1,19	0,000601
S18	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S19	19,81	24,53	1,13	4,40	0,002453
S20	6,91	2,95	1,14	1,46	0,000295
S21	11,79	4,00	1,66	0,78	0,000400
S22	138,26	47,49	5,66	0,69	0,004749
S23	91,79	25,44	5,13	0,56	0,002544
S24	25,75	4,99	3,25	0,40	0,000499
S25	15,01	10,78	1,29	1,91	0,001078
S26	22,09	30,05	1,14	4,62	0,003005
S27	29,96	49,80	1,20	4,88	0,004980
S28	25,01	25,08	1,41	2,48	0,002508
S29	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507
S30	25,07	37,60	1,15	4,82	0,003760
S31	19,79	24,47	1,13	4,38	0,002447
S32	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S33	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S34	14,97	12,44	1,20	2,44	0,001244
S35	15,90	14,75	1,17	2,87	0,001475
S36	15,07	12,65	1,19	2,47	0,001265
S37	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S38	22,10	30,15	1,14	4,66	0,003015
S39	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693

C00					
S40	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S41	22,13	23,54	1,29	2,83	0,002354
S42	20,10	25,25	1,13	4,46	0,002525
S43	63,81	182,70	1,33	7,38	0,018270
S44	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S45	50,87	129,34	1,26	6,92	0,012934
S46	24,98	24,83	1,41	2,45	0,002483
S47	56,66	90,64	1,68	3,64	0,009064
S48	35,29	59,03	1,30	4,42	0,005903
S49	40,35	81,28	1,26	5,48	0,008128
S50	57,77	122,91	1,47	5,13	0,012291
S51	45,57	92,58	1,34	5,22	0,009258
S52	57,75	116,58	1,51	4,80	0,011658

C01					
Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)	Área (ha)
S1	28,17	37,61	1,30	3,53	0,003761
S2	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S3	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S4	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S5	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S6	20,04	25,13	1,13	4,47	0,002513
S7	14,84	12,35	1,19	2,47	0,001235
S8	24,71	36,76	1,15	4,83	0,003676
S9	19,78	24,46	1,13	4,39	0,002446
S10	19,79	24,46	1,13	4,38	0,002446
S11	14,89	12,24	1,20	2,40	0,001224
S12	14,91	12,61	1,18	2,53	0,001261
S13	8,10	4,09	1,13	1,77	0,000409
S14	25,02	37,68	1,15	4,88	0,003768
S15	19,80	24,49	1,13	4,39	0,002449
S16	25,00	37,68	1,15	4,90	0,003768
S17	12,40	6,01	1,43	1,19	0,000601
S18	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S19	19,81	24,53	1,13	4,40	0,002453
S20	6,91	2,95	1,14	1,46	0,000295
S21	11,79	4,00	1,66	0,78	0,000400
S22	138,26	47,49	5,66	0,69	0,004749
S23	91,79	25,44	5,13	0,56	0,002544
S24	25,75	4,99	3,25	0,40	0,000499
S25	15,01	10,78	1,29	1,91	0,001078
S26	22,09	30,05	1,14	4,62	0,003005
S27	29,96	49,80	1,20	4,88	0,004980
S28	25,01	25,08	1,41	2,48	0,002508
S29	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507

C01					
S30	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507
S31	19,79	24,47	1,13	4,38	0,002447
S32	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S33	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S34	15,04	12,53	1,20	2,44	0,001253
S35	15,90	14,75	1,17	2,87	0,001475
S36	15,07	12,65	1,19	2,47	0,001265
S37	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S38	22,10	30,15	1,14	4,66	0,003015
S39	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S40	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S41	22,13	23,54	1,29	2,83	0,002354
S42	36,44	39,49	1,64	2,49	0,003949
S43	53,80	141,49	1,28	7,07	0,014149
S44	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S45	45,88	84,86	1,40	4,58	0,008486
S46	24,98	24,83	1,41	2,45	0,002483
S47	50,66	85,64	1,54	3,98	0,008564
S48	35,29	59,03	1,30	4,42	0,005903
S49	40,35	76,28	1,30	4,97	0,007628
S50	57,77	117,91	1,50	4,87	0,011791
S51	50,57	136,34	1,22	7,65	0,013634
S52	37,78	71,27	1,26	5,13	0,007127
S53	19,89	25,00	1,12	4,71	0,002500
S54	14,96	12,45	1,20	2,45	0,001245
S55	20,04	25,13	1,13	4,47	0,002513

C02					
Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)	Área (ha)
S1	28,17	37,61	1,30	3,53	0,003761
S2	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S3	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S4	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S5	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S6	20,58	26,41	1,13	4,51	0,002641
S7	15,49	13,05	1,21	2,43	0,001305
S8	24,71	36,76	1,15	4,83	0,003676
S9	19,78	24,46	1,13	4,39	0,002446
S10	19,79	24,46	1,13	4,38	0,002446
S11	14,89	12,24	1,20	2,40	0,001224
S12	14,91	12,61	1,18	2,53	0,001261
S13	8,10	4,09	1,13	1,77	0,000409
S14	15,00	12,50	1,20	2,45	0,001250
S15	19,80	24,49	1,13	4,39	0,002449
S16	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500

C02					
S17	12,40	6,01	1,43	1,19	0,000601
S18	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S19	19,81	24,53	1,13	4,40	0,002453
S20	6,91	2,95	1,14	1,46	0,000295
S21	11,79	4,00	1,66	0,78	0,000400
S22	124,26	40,83	5,48	0,66	0,004083
S23	59,79	17,58	4,02	0,60	0,001758
S24	25,75	4,99	3,25	0,40	0,000499
S25	15,01	10,78	1,29	1,91	0,001078
S26	22,09	30,05	1,14	4,62	0,003005
S27	60,64	136,54	1,46	5,44	0,013654
S28	25,01	25,08	1,41	2,48	0,002508
S29	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507
S30	25,07	37,60	1,15	4,82	0,003760
S31	19,79	24,47	1,13	4,38	0,002447
S32	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S33	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S34	14,97	12,44	1,20	2,44	0,001244
S35	15,90	14,75	1,17	2,87	0,001475
S36	15,07	12,65	1,19	2,47	0,001265
S37	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S38	22,10	30,15	1,14	4,66	0,003015
S39	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S40	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S41	22,13	23,54	1,29	2,83	0,002354
S42	20,10	25,25	1,13	4,46	0,002525
S43	48,08	137,42	1,16	9,08	0,013742
S44	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S45	50,87	124,34	1,29	6,51	0,012434
S46	24,98	24,83	1,41	2,45	0,002483
S47	21,00	5,00	2,65	0,50	0,000500
S48	35,29	59,03	1,30	4,42	0,005903
S49	40,35	76,28	1,30	4,97	0,007628
S50	57,77	117,91	1,50	4,87	0,011791
S51	48,09	135,48	1,16	8,78	0,013548
S52	46,53	105,22	1,28	6,06	0,010522
S53	12,33	2,83	2,07	0,50	0,000283
S54	17,15	3,83	2,47	0,47	0,000383
S55	32,42	7,86	3,26	0,50	0,000786
S56	19,91	25,00	1,12	4,65	0,002500

C03					
Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)	Área (ha)
S1	28,17	37,61	1,30	3,53	0,003761
S2	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S3	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S4	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S5	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500
S6	20,04	25,13	1,13	4,47	0,002513
S7	14,84	12,35	1,19	2,47	0,001235
S8	24,71	36,76	1,15	4,83	0,003676
S9	19,78	24,46	1,13	4,39	0,002446
S10	19,79	24,46	1,13	4,38	0,002446
S11	14,89	12,24	1,20	2,40	0,001224
S12	14,91	12,61	1,18	2,53	0,001261
S13	8,10	4,09	1,13	1,77	0,000409
S14	15,00	12,50	1,20	2,45	0,001250
S15	19,80	24,49	1,13	4,39	0,002449
S16	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500
S17	12,40	6,01	1,43	1,19	0,000601
S18	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S19	19,81	24,53	1,13	4,40	0,002453
S20	6,91	2,95	1,14	1,46	0,000295
S21	11,79	4,00	1,66	0,78	0,000400
S22	138,26	47,49	5,66	0,69	0,004749
S23	91,79	25,44	5,13	0,56	0,002544
S24	25,75	4,99	3,25	0,40	0,000499
S25	15,01	10,78	1,29	1,91	0,001078
S26	22,09	30,05	1,14	4,62	0,003005
S27	29,96	49,80	1,20	4,88	0,004980
S28	25,01	25,08	1,41	2,48	0,002508
S29	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507
S30	25,07	37,60	1,15	4,82	0,003760
S31	19,79	24,47	1,13	4,38	0,002447
S32	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S33	14,88	12,23	1,20	2,40	0,001223
S34	14,97	12,44	1,20	2,44	0,001244
S35	15,90	14,75	1,17	2,87	0,001475
S36	15,07	12,65	1,19	2,47	0,001265
S37	14,90	12,38	1,19	2,45	0,001238
S38	22,10	30,15	1,14	4,66	0,003015
S39	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S40	21,20	6,93	2,27	0,69	0,000693
S41	22,13	23,54	1,29	2,83	0,002354
S42	20,10	25,25	1,13	4,46	0,002525
S43	16,30	9,87	1,46	1,46	0,000987
S44	25,01	25,00	1,41	2,47	0,002500

C03					
S45	50,87	129,34	1,26	6,92	0,012934
S46	24,98	24,83	1,41	2,45	0,002483
S47	56,66	90,64	1,68	3,64	0,009064
S48	35,29	59,03	1,30	4,42	0,005903
S49	40,35	81,28	1,26	5,48	0,008128
S50	57,77	122,91	1,47	5,13	0,012291
S51	45,57	92,59	1,34	5,22	0,009259
S52	57,75	116,58	1,51	4,80	0,011658
S53	46,55	111,41	1,24	6,62	0,011141
S54	32,86	61,41	1,18	5,62	0,006141

C04					
Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)	Área (ha)
S1	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500
S2	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500
S3	24,67	36,67	1,15	4,83	0,003667
S4	24,67	36,67	1,15	4,83	0,003667
S5	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S6	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S7	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S8	24,67	36,67	1,15	4,83	0,003667
S9	15,00	12,50	1,20	2,45	0,001250
S10	25,00	37,50	1,15	4,84	0,003750
S11	15,00	12,50	1,20	2,45	0,001250
S12	12,40	6,00	1,43	1,19	0,000600
S13	16,30	10,00	1,45	1,49	0,001000
S14	32,42	7,86	3,26	0,50	0,000786
S15	12,33	2,83	2,07	0,50	0,000283
S16	22,10	30,15	1,14	4,66	0,003015
S17	6,91	2,95	1,14	1,46	0,000295
S18	11,79	4,00	1,66	0,78	0,000400
S19	21,19	6,93	2,27	0,69	0,000693
S20	21,19	6,93	2,27	0,69	0,000693
S21	22,09	30,05	1,14	4,62	0,003005
S22	37,86	20,00	2,39	1,11	0,002000
S23	59,45	18,19	3,93	0,62	0,001819
S24	125,93	44,66	5,31	0,71	0,004466
S25	25,00	37,60	1,15	4,87	0,003760
S26	20,05	25,07	1,13	4,40	0,002507
S27	24,68	36,67	1,15	4,82	0,003667
S28	24,68	36,67	1,15	4,82	0,003667
S29	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S30	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S31	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500
S32	25,00	25,00	1,41	2,47	0,002500

C04					
S33	30,00	50,00	1,20	4,90	0,005000
S34	25,00	38,00	1,14	5,02	0,003800
S35	25,00	38,00	1,14	5,02	0,003800
S36	21,93	27,00	1,19	3,65	0,002700
S37	20,00	25,00	1,13	4,44	0,002500
S38	15,90	14,75	1,17	2,87	0,001475
S39	57,77	118,00	1,50	4,87	0,011800
S40	40,35	76,28	1,30	4,97	0,007628
S41	35,29	59,03	1,30	4,42	0,005903
S42	50,66	90,69	1,50	4,27	0,009069
S43	50,87	129,34	1,26	6,92	0,012934
S44	49,80	113,35	1,32	5,92	0,011335
S45	55,14	131,62	1,36	6,06	0,013162
S46	46,55	116,28	1,22	7,13	0,011628
S47	20,10	25,25	1,13	4,46	0,002525

APÊNDICE B

Gráficos de cada chuva de projeto em cada um dos cenários.

