



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

KALIEL PEREIRA DANTAS

**IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO IMPACTO NO PROJETO DE
READEQUAÇÃO DO ESTACIONAMENTO DO CT/UFPB: MANEJO
SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS E VIABILIDADE ECONÔMICA**

JOÃO PESSOA

2024

KALIEL PEREIRA DANTAS

**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 apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
da Paraíba, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Barbosa Lima da
Silva

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D192i Dantas, Kaniel Pereira.

IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO IMPACTO NO
PROJETO DE READEQUAÇÃO DO ESTACIONAMENTO DO CT/UFPB:
MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS E VIABILIDADE
ECONÔMICA / Kaniel Pereira Dantas. - João Pessoa, 2024.
99 f. : il.

Orientação: Gustavo Barbosa Lima da Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. LID. 2. Drenagem Sustentável. 3. SWMM. 4.
Simulação hidrológica. 5. Dispositivos LID's. I. Silva,
Gustavo Barbosa Lima da. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 62(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

KALIEL PEREIRA DANTAS

IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE BAIXO IMPACTO NO PROJETO DE READEQUAÇÃO DO ESTACIONAMENTO DO CT/UFPB: MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS E VIABILIDADE ECONÔMICA

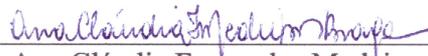
Trabalho de Conclusão de Curso em 10/05/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Dr. Gustavo Barbosa Lima da Silva
Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

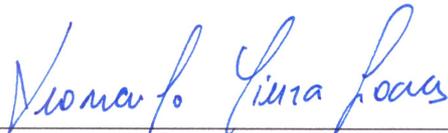
APROVADO



Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Examinador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Leonardo Vieira Soares
Examinador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho e toda minha jornada acadêmica a Dionara Pereira de Souza, minha mãe. A senhora me educou e me apoiou em atos, de forma que a maturidade me fez entender a preciosidade e cuidado. Mãe, você me ensinou a te amar muito mais a distância e cada encontro nosso é uma validação de toda nossa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Senhor de todas as coisas, a energia que move o físico e o imaterial, pela vida e pela determinação em mim depositadas. Para você que lê, sinta-se a vontade de depositar a fé naquilo que acredita e entender que independente da religião, o mesmo ser supremo age na vida de cada um.

À minha família, obrigado por tudo. Os valores, as conversas, os ensinamentos e os conselhos. Todos foram grandes propulsores de uma caminhada de estudo e força de vencer e me inspiraram com o sucesso de suas carreiras. Destaco aqui minha mãe, pelo suporte em tudo na minha vida: você é o alicerce mais forte de tudo que construí até hoje; ao meu pai, obrigado por sempre acreditar na minha capacidade e confiar que eu sempre faria o meu melhor independente do resultado; a minha irmã, obrigado pelo apoio e diálogos sobre a vida; ao meu Tio Almir, o senhor definiu o sucesso do meu futuro desde que ajudou financeiramente meus estudos. Essa etapa é a conclusão de todo o seu investimento e o diploma é nosso.

Ao meu companheiro João Pedro, obrigado por tanto apoio e cuidado nessa jornada. Foram tempos bons e ruins ao seu lado que me fazem acreditar no amor e bondade. Muito obrigado por todos os almoços, os cheiros e as chamadas sérias para seguir a frente. Você foi e é essencial.

Aos meus colegas da faculdade, vocês foram peças chaves para o sucesso dessa graduação. Hamilton, Isis, Helisson, Renan, Isaías, Yane, Matheus Simas, Carolinny, muito obrigado por todos os trabalhos, discussões calorosas, risadas as mesas do Vascão e agonias pré-provas. Em especial Maria Joana e Camila Alves, que nessa última etapa do curso tornaram-se confidentes, apoiadoras, idealizadoras do futuro e incríveis pasteleiras. A vocês duas, contem com meu ombro, meu abraço e meu carinho sempre. A todos, desejo muito sucesso e que nos esbarremos ao longo das nossas caminhadas profissionais e pessoais.

Aos amigos que fiz ao longo da minha vida (Serra Negra do Norte, Caicó e João Pessoa), apesar das distâncias e das poucas comunicações, nunca duvidei do carinho mútuo e isso é confirmado quando revejo vocês. Eu agradeço a vocês por nunca me esquecerem no meio do caminho.

Não posso deixar de agradecer a UFPB pelo incrível curso de Engenharia Civil, em especial a PRAPE. Sair do interior de outro estado com toda sua vulnerabilidade e para enfrentar o desconhecido só foi capaz com todo o suporte que me foi ofertado pela universidade. A gratidão é sempre eterna.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Gustavo Barbosa Lima da Silva. É uma lastima para mim ter conhecido o senhor apenas nessa etapa final. Sua paciência, sua forma de acreditar, sua forma de conversar foram essenciais para dar o gás que esse trabalho necessitava. Agradeço imensamente nossa jornada.

Aos professores que encontrei no caminho. Acredito que consegui captar todos os ensinamentos técnicos e de vida, pois nunca estive a vontade de fazer o básico daquilo que vocês repassavam. Agradeço imensamente aos professores que me deram oportunidades diversas ao longo da trajetória: Prof^a Cibelle Guimarães, meu primeiro projeto de extensão; Prof^o. Marçal Rosas, meu primeiro projeto de pesquisa que durou 3 anos e perpassou diversos aspectos, me apresentando a tantos assuntos e tantas pessoas que contribuíram para meu conhecimento e que também pude contribuir. O senhor é um exemplo para mim; Prof^a. Ana Cláudia Braga, em ti vi a virtude da docência quando cursei Ciências do Ambiente e me encantei com a mulher e professora que a senhora é. Apesar de não ter acontecido mais nenhum contato, sempre te acompanhei e te destaquei pela excelência que tens.

No âmbito profissional, quero agradecer a duas mulheres excepcionais que fazem parte do profissional que estou me tornando: Eng^a. Fabienne Lima, a senhora foi a primeira pessoa que criou em mim a capacidade de acreditar no meu potencial. Desde o dia que a senhora me promoveu no estágio, me explicou o que era de minha responsabilidade e que isso estava acontecendo por causa da minha capacidade, tudo se transformou; Eng^a Amanda Farias, nosso ano de convívio foi suficiente para entender o que é fazer Engenharia Civil com dedicação e excelência. Teus conselhos vão ecoar em mim por muito tempo e terei sempre a honra de te chamar de “chefinha”. Além delas, um cara que eu admiro demais e que hoje em dia é um grande entusiasta da minha trajetória, Eng. Matheus Napy. Obrigado por todo suporte, conselhos e oportunidades que me ofertou ainda no estágio e no quase emprego. A bagagem que construí ao longo de dois anos de Sall me levou a locais que nem imaginei anteriormente. Obrigado pela chance de me permitir pensar sobre engenharia, sobre processos e sobre pessoas.

No fim, em mim só existe gratidão por encerrar esse ciclo. Por isso, agradeço a mim por não desistir, sempre enfrentar as dificuldades de forma racional e sempre “fazer meu corre”. Meus pensamentos e minhas vontades foram aliados em alguns momentos, inimigos em outras. Pude refletir tudo e ter p discernimento sobre o que valia a pena. Abandonei oportunidades que pareciam incríveis que não me faziam sentido, não me submeti a locais que não me agregavam e minha ganância sempre foi por conhecimento. Torço para continuar íntegro dessa forma até o fim dos tempos.

ORDO AB CHAO

“Somos assim: sonhamos o voo, mas tememos a altura. Para voar é preciso ter coragem para enfrentar o terror do vazio. Porque é só no vazio que o voo acontece.”

“Se eu pudesse viver minha vida novamente” – Rubem Alves

RESUMO/ABSTRACT

A rápida urbanização e o aumento populacional representam desafios significativos para o planejamento sustentável das cidades. Os sistemas convencionais de drenagem pluvial priorizam a rápida remoção da água, o que muitas vezes resulta em volume escoado intenso, gerando inundações e danos às áreas urbanas. Para mitigar esses problemas, surgiu a abordagem da drenagem sustentável, que combina várias técnicas de controle na fonte para restaurar as características naturais pré-existentes à urbanização. Uma dessas técnicas é o Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), que propõe a integração de dispositivos de controle pluvial no ambiente urbano. Este estudo visa avaliar diferentes cenários de baixo impacto, empregando a aplicação conjunta de três tipos de técnicas de controle na fonte (trincheiras de infiltração, jardins de chuva e pavimentos permeáveis). O experimento foi conduzido no estacionamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus I, utilizando o software Storm Water Management Model (SWMM). No âmbito do estudo, foram identificadas as sub-bacias e elaborados cenários para a implementação das técnicas de controle na fonte. Foram determinadas as chuvas projetadas, a estrutura dos LID's e os custos associados à sua implantação. Esses dados foram inseridos no SWMM e os resultados da simulação foram analisados em termos de volume escoado e vazão de escoamento. Em seguida, foi realizada uma análise de custo-benefício para cada cenário proposto. Os cenários simulados com a implementação dos dispositivos demonstraram reduções nos picos de vazão e volume, variando sua eficácia de acordo com a área total dos LID's projetados. Para o volume, obteve-se uma redução máxima de 79,90%, enquanto para a vazão uma redução máxima de 74,54%. Além disso, os custos de implantação foram quantificados, mostrando que o investimento para redução de volume foi mais vantajoso do que para redução de vazão, totalizando uma média de R\$2.000,00/m³ reduzido contra R\$5.000,00/L/s reduzido. Assim, o uso de LID's é crucial para o controle do escoamento no sistema de drenagem, sendo necessário adaptar cada projeto às necessidades específicas de controle de vazão ou volume.

Palavras-chaves: LID; drenagem sustentável; SWMM; simulação hidrológica; dispositivos LID's.

ABSTRACT

The rapid urbanization and population growth pose significant challenges for sustainable city planning. Conventional stormwater drainage systems prioritize the rapid removal of water, often resulting in intense runoff volume, leading to urban flooding and damage. To mitigate these issues, the approach of sustainable drainage has emerged, combining various source control techniques to restore pre-existing natural characteristics before urbanization. One of these techniques is Low Impact Development (LID), which advocates for integrating stormwater control devices into the urban environment. This study aims to assess different low-impact scenarios by employing the combined application of three types of source control techniques (infiltration trenches, rain gardens, and permeable pavements). The experiment was conducted in the parking lot of the Federal University of Paraíba's Technology Center – Campus I, using the Storm Water Management Model (SWMM) software. Within the scope of the study, sub-basins were identified, and scenarios were developed for the implementation of source control techniques. Projected rainfall, LID structures, and associated implementation costs were determined. These data were inputted into SWMM, and simulation results were analyzed in terms of runoff volume and flow rate. Subsequently, a cost-benefit analysis was conducted for each proposed scenario. The simulated scenarios with the implementation of devices demonstrated reductions in peak flow and volume, with effectiveness varying according to the total area of designed LIDs. For volume, a maximum reduction of 79.90% was achieved, while for flow rate, a maximum reduction of 74.54% was attained. Additionally, implementation costs were quantified, showing that the investment for volume reduction was more advantageous than for flow rate reduction, totaling an average of R\$2,000.00/m³ reduced compared to R\$5,000.00/L/s reduced. Thus, the use of LIDs is crucial for controlling runoff in the drainage system, with each project needing to be adapted to specific flow rate or volume control requirements.

Palavras-chaves: LID; sustainable drainage; SWMM; hydrological simulation; LID devices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Impacto da impermeabilização no ciclo hidrológico.....	18
Figura 2 - Pavimento permeável aplicado em calçada	22
Figura 3 - Esquema de um pavimento permeável	23
Figura 4 - Trincheira de infiltração: a) área comercial; b) área residencial	24
Figura 5 - Esquema vertical de trincheira de infiltração	24
Figura 6 - Jardim de chuva em via pública.....	25
Figura 7 - Esquemático de um jardim de chuva	26
Figura 8 - Indicação de largura (Width) definida para as sub-bacias do modelo.....	28
Figura 9 - Esquema vertical de LID para uma célula de biorretenção	29
Figura 10 - Fluxograma de metodologia do trabalho	30
Figura 11 - Identificação do Centro de Tecnologia da UFPB	31
Figura 12 - Planta do Centro de Tecnologia e área de estudo	32
Figura 13 - Detalhes da área de estudo.....	34
Figura 14 - Esquema do Cenário 0 (C00).....	35
Figura 15- Esquema do C01	36
Figura 16 - Esquema do Cenário 02 (C02).....	38
Figura 17 - Esquema do Cenário 03 (C03).....	39
Figura 18 - Estrutura vertical do pavimento permeável adotado.....	41
Figura 19 - Estrutura vertical da trincheira de infiltração adotada	41
Figura 20 - Estrutura vertical do jardim de chuva adotado	42
Figura 21 - Modelagem do C00 no SWMM	47
Figura 22 - Modelagem do C01 no SWMM	47
Figura 23 - Modelagem do C02 no SWMM	48
Figura 24 – Modelagem do C03 no SWMM.....	48
Figura 25 - Hietograma de projeto TR = 5 anos.....	53
Figura 26 - Hietogramas de projeto TR = 10 anos	54
Figura 27 - Hietogramas de projeto para TR = 25 anos	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da cobertura na área de estudo.....	33
Tabela 2 - Percentual de cobertura do Cenário 01 (C01)	37
Tabela 3 – Área de LID's aplicado no Cenário 01.....	37
Tabela 4 - Percentual de cobertura do Cenário 02 (C02)	38
Tabela 5 - Área de LID's aplicado no Cenário 02 (C02).....	38
Tabela 6 - Percentual de cobertura do Cenário 03 (C03)	40
Tabela 7 – Área de LID's aplicado no Cenário 03.....	40
Tabela 8 - Composição de custos de dispositivos LID's por Lopes (2020).....	44
Tabela 9 - Composição de custo de dispositivos LID's por Guerra (2023).....	45
Tabela 10 - Parâmetros do pavimento permeável para simulação	51
Tabela 11 - Parâmetros do jardim de chuva para simulação	52
Tabela 12 - Parâmetros da trincheira de infiltração para simulação.....	52
Tabela 13 – Precipitação total das chuvas de projeto, em milímetros (mm).....	53
Tabela 14 - Orçamento da trincheira de infiltração	55
Tabela 15 - Orçamento do pavimento permeável.....	56
Tabela 16 – Orçamento do jardim de chuva.....	56
Tabela 17 – Custo total de implantação dos LID's	57
Tabela 18 - Dados de vazão máxima do cenário referência (C00).....	57
Tabela 19 - Dados de volume total do C00	57
Tabela 20 – Dados dos picos de vazão nos cenários	60
Tabela 21 – Dados de redução da vazão nos cenários.....	63
Tabela 22 – Dados de volume escoados no cenário	65
Tabela 23 – Dados de redução do volume nos cenários.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas IDF da Cidade João Pessoa – PB pela equação de (Aragão <i>et al.</i> , 2000).	43
Gráfico 2 - Hidrogramas para o C00	58
Gráfico 3 - Volume escoado no C00	59
Gráfico 4 - Histogramas de vazão para $d = 15\text{min}$	61
Gráfico 5 - Histogramas de vazão para $d = 30\text{min}$	62
Gráfico 6 - Histogramas de vazão para $d = 60\text{min}$	63
Gráfico 7 - Total de reduções das vazões de pico para os cenários com LID's.....	64
Gráfico 8 - Volumes escoados para $TR = 5$ anos	65
Gráfico 9 - Volumes escoados para $TR = 10$ anos	66
Gráfico 10 - Volumes escoados para $TR = 25$ anos	66
Gráfico 11 - Percentual de redução de volume nos cenários simulados	68
Gráfico 12 - Relação de Vazão e Volume em cenários de uso de LID's.....	69
Gráfico 13 - Índices de custo por vazão reduzida	70
Gráfico 14 - Índices de custo por volume reduzido.....	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curvas IDF da Cidade João Pessoa – PB pela equação de (Aragão et al., 2000).	43
Gráfico 2 - Hidrogramas para o C00	58
Gráfico 3 - Volume escoado no C00	59
Gráfico 4 - Hidrogramas de vazão para $d = 15\text{min}$	61
Gráfico 5 - Hidrogramas de vazão para $d = 30\text{min}$	62
Gráfico 6 - Hidrogramas de vazão para $d = 60\text{min}$	63
Gráfico 7 - Total de reduções das vazões de pico para os cenários com LID's.....	64
Gráfico 8 - Volumes escoados para $TR = 5$ anos	65
Gráfico 9 - Volumes escoados para $TR = 10$ anos	66
Gráfico 10 - Volumes escoados para $TR = 25$ anos	66
Gráfico 11 - Percentual de redução de volume nos cenários simulados	68
Gráfico 12 - Relação de Vazão e Volume em cenários de uso de LID's.....	69
Gráfico 13 - Índices de custo por vazão reduzida	70
Gráfico 14 - Índices de custo por volume reduzido.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	DRENAGEM URBANA	17
2.2	HISTÓRICO DA DRENAGEM	19
2.3	DRENAGEM E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS	20
2.4	DISPOSITIVOS DE CONTROLE NA FONTE	21
2.4.1	Pavimento Permeável	22
2.4.2	Trincheira de Infiltração	23
2.4.3	Jardins de Chuva	24
2.5	PROJETO DE DRENAGEM	26
2.6	SIMULAÇÃO SWMM	27
3	METODOLOGIA	30
3.1	DESCRIÇÃO GERAL	30
3.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
3.3	CENÁRIOS ESTUDADOS	34
3.3.1	Cenário 01	36
3.3.2	Cenário 2	37
3.3.3	Cenário 03	39
3.4	ESTRUTURA DOS DISPOSITIVOS LIDS	40
3.5	CHUVAS DE PROJETO	42
3.6	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	44
3.7	MODELAGEM SWMM	46
3.7.1	Definição das Sub-bacias	46
3.7.2	Dados de entrada da simulação	49
4	RESULTADOS	53
4.1	CHUVAS DE PROJETO	53
4.2	CUSTOS	55
4.3	MODELAGEM DOS CENÁRIOS NO SWMM	57
4.3.1	Análise da vazão	60

4.3.2 Análise do volume	65
4.4 RELAÇÃO VAZÃO x VOLUME x CUSTOS	68
4.5 PROPOSTA DE PROJETO DOS DISPOSITIVOS LID's	72
5 CONCLUSÕES	76
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada e o crescimento populacional são fatores que dificultam o planejamento sustentável das cidades. Um dos principais problemas relacionados ao uso do solo que resulta em impactos diretos sobre os recursos hídricos é a excessiva impermeabilização das áreas naturais e a canalização dos rios urbanos (TUCCI, 2012). Esses problemas podem produzir enchentes em diferentes locais da drenagem urbana.

Em eventos de chuva, os sistemas de drenagem escoam o volume de água evitando alagamentos e melhorando as condições de circulação de pessoas e veículos pelo espaço urbano (CANHOLI, 2014). Porém, a falta de planejamento de médio e longo prazos, a ineficiência de componentes do sistema de drenagem e a falta de manutenção em itens de micro e macrodrenagem podem potencializar a ocorrência de enchentes (BEZERRA *et al.*, 2016).

Os sistemas de drenagem tradicionais priorizam obras civis e o rápido afastamento da água para jusante e, por consequência, produzem um escoamento pluvial que pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas em razão de processos de inundações (TUCCI, 2008). Para minimizar esses impactos, surge a proposta da drenagem sustentável, que inclui a utilização de técnicas de controle na fonte como forma de recuperar as características hidrológicas naturais do ambiente, isto é, que restabelecem as características anteriores ao processo de urbanização (MENDES; SANTOS, 2023)

Diversas técnicas de controle na fonte podem ser utilizadas em projetos e podem colaborar para aliviar os impactos da urbanização sobre o escoamento pluvial, garantindo o adequado funcionamento do sistema de drenagem. Dentre elas, podemos citar: micro reservatórios, pavimentos permeáveis, telhados verdes, jardins de chuva, faixas gramada, poços, valas e trincheiras de infiltração (TOMINAGA, 2013)

No Brasil, diversos centros urbanos já adotam legislações que preveem o uso de técnicas de drenagem sustentável em seus espaços. Destaca-se o novo Plano Diretor da cidade de João Pessoa – PB (JOÃO PESSOA, 2024) que incentiva a preservação e a recuperação das áreas de interesse para a drenagem, além de estimular o aproveitamento das águas pluviais mediante a captação ou o aproveitamento de águas pluviais nas edificações, em áreas públicas ou privadas, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental.

Nesse sentido, esse trabalho busca avaliar diferentes cenários, envolvendo a aplicação integrada de três tipos de técnicas de controle na fonte (trincheiras de infiltração, jardins de chuva e pavimentos permeáveis). Esse estudo foi aplicado no estacionamento do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus I. A principal finalidade deste

trabalho é analisar o desempenho hidrológico e a relação custo-eficiência dessas soluções para um conjunto de eventos chuvosos. A execução do trabalho se deu utilizando o software Storm Water Management Model (SWMM), para modelar o escoamento superficial gerado em cada cenário estabelecido.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 *Objetivo Geral*

Avaliar o custo-eficiência de projetos de manejo sustentável de águas pluviais integrados a nova proposta de readequação do estacionamento do CT, incluindo a aplicação de três dispositivos de baixo impacto: trincheira de infiltração, pavimento permeável e jardim de chuva.

1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Avaliar o desempenho hidrológico dos projetos propostos em relação ao controle de vazões de pico e volumes escoado, por meio de simulação hidrológica
- Analisar a influência da intensidade e duração das chuvas no desempenho do projeto;
- Quantificar os custos de implantação das estruturas de baixo impacto e o custo total dos projetos;
- Propor projeto executivo dos dispositivos LID's com dimensões, indicação de materiais e detalhamentos necessários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DRENAGEM URBANA

O processo de urbanização caracterizado pela expansão das cidades e aumento da densidade populacional tomou forma após a Revolução Industrial ditar novos perfis de consumo, exploração e uso do espaço. Esse crescimento de centros urbanos de forma desordenada e rápida acometeram o equilíbrio que o solo e sua ocupação propiciavam a sociedade urbana (BENEVOLO, 2001).

Como resultado, vários problemas relacionados à humanidade e à natureza começaram a surgir. Questões socioambientais que envolviam mobilidade reduzida, habitações inadequadas, saneamento precário, alterações dos ciclos hidrológicos, uso alterado do solo e

contaminação de mananciais foram desencadeados pela ocupação desenfreada e sem planejamento (ANDOH; IWUGO, 2002; MIGUEZ; VEROL; CARNEIRO, 2012).

O principal fator resultante da urbanização do solo é a mudança de cobertura vegetal por superfícies impermeáveis. Como consequência desse processo, têm-se a redução ou impedimento da infiltração de água no solo e um escoamento superficial potencializado (MENESES *et al.*, 2012). A Figura 1 dispõe sobre esse efeito, apresentando valores médios sobre o escoamento em cada nível de urbanização.

Figura 1 - Impacto da impermeabilização no ciclo hidrológico



Fonte: Adaptado de FISRWG (1998)

As chuvas são eventos naturais que se destacam pela variação no tempo e espaço. Elas fazem parte do processo hidrológico, beneficiando rios, solos e vegetação. Por outro lado, as chuvas também são responsáveis pela ocorrência de cheias e inundações em regiões urbanizadas (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Por esses motivos, a drenagem urbana surge como forma de controle desses processos, beneficiando o ambiente urbano e diminuindo os impactos das tormentas (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

O sistema de drenagem urbana integra o contexto de saneamento básico nas cidades, sendo um serviço que deve ser prestado a toda a sociedade, conforme a Lei Federal nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007). Ela integra um “conjunto de elementos, interligados em um sistema, destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região,

conduzindo-as de forma segura, a um destino final” (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016). Ademais, o sistema também oferece apoio social em diminuir os prejuízos causados por inundações à sociedade e garantir um desenvolvimento urbano harmônico.

2.2 HISTÓRICO DA DRENAGEM

As práticas de drenagem evoluíram ao longo do tempo de acordo com as necessidades de cada época em resolver os problemas que a sociedade enfrentava pela negligência do sistema, ainda nem definido. O Quadro 1 apresenta uma linha do tempo das fases recorrente ao controle da água urbana.

Quadro 1 - Fases de desenvolvimento da drenagem urbana nos países desenvolvidos

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto, transferência para jusante do escoamento pluvial por <u>canalização</u>
1970- 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, <u>amortecimento</u> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos.
1990* - ?	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais de escoamento; Controle dos micro-poluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial através da recuperação da <u>infiltração</u> .

* período que iniciou este tipo de visão

Fonte: (TUCCI, 2005)

De acordo com Miguez, Verol e Rezende (2016), as obras de drenagem já datavam desde 4.000 a.C., com a irrigação de agricultura por meio de canais e diques realizadas pelos povos do Oriente Médio. Alguns anos depois, os romanos, himalaias e gregos iriam aplicar as mesmas práticas em seus territórios a fim de evitar alagamentos das chuvas, captar água para consumo e ocupar espaços alagados.

Os conceitos abordados no Quadro 1 começam a ser mais bem discutidos quando a sociedade percebe que há uma relação entre a contaminação das águas e o surgimento de doenças, uma vez que o esgotamento sanitário e as águas pluviais eram juntos e a céu aberto. A partir desse momento, houve a necessidade de controlar essa contaminação das águas com a população e a era higienista iniciou.

O controle da disseminação de doenças foi efetivo, porém, o esgoto sanitário e água pluvial, agora controlados de forma junta com disposição final a jusante, causou danos

ambientas relacionado a contaminação dos solos e dos mananciais que recebiam a contribuição desse escoamento. Dessa forma, o conceito evoluiu para o que se chama, atualmente, de drenagem tradicional, onde o esgoto e as águas pluviais são controlados separadamente, sendo o esgoto tratado e as águas direcionadas de forma rápida.

Porém, após pesquisadores apontarem que essa prática não é a mais correta devido ao fato de transpor o problema a jusante, como também obtendo soluções que não acompanham o processo de urbanização, a iniciativa agora trata-se de restaurar as condições iniciais de ocupação do solo, com o uso de técnicas sustentáveis de controle da água pluvial (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016)

2.3 DRENAGEM E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os projetos de drenagem tradicionais, apesar de terem respaldo técnico, são soluções que se propõe exclusivamente a um objetivo: fazer o controle de cheias e inundações de forma localizada, sem preocupações com os problemas ocasionados a jusante, desconsiderando questões ambientais e sem integrar com o espaço urbano, tornando-as soluções extremamente limitadas (NOVOTNY, 2008).

Por esse motivo, a abordagem de manejo sustentável surgiu a fim de propor soluções capazes de atuar sobre múltiplos aspectos relacionados às águas pluviais nas cidades e conseguisse controlar os danos provenientes das precipitações. Essa abordagem prioriza a aplicação distribuída de dispositivos de controle do escoamento a fonte. A intenção é prover a área urbana de um sistema que atue na preservação da qualidade, biodiversidade, economia e ambiência da água, a fim de conservar o ciclo hidrológico local, por meios dos mecanismos de infiltração, reservação, detenção e evapotranspiração (AGOSTINHO; POLETO, 2012; TUCCI, 2005).

Os conceitos de drenagem que surgiram em contrapartida na metodologia tradicional foram os mais variados, porém, semelhantes em suas ideologias. Entre eles, pode-se citar o *Best Management Practices* (BPM), idealizado nos EUA como um conjunto de práticas que quando implantados na bacia, reduzem os impactos da urbanização relacionados a quantidade e qualidade da água. O *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), originado na Europa, que buscar atuar no controle das águas pluviais em pequenas unidades, de forma local e disseminada pelo terreno. E o *Low Impact Development* (LID), que é originário da América do Norte e trata sobre soluções práticas e que integrem o espaço urbano sem danos ao desenvolvimento urbano

e espaço, mas que simulem as condições de pré-urbanização da bacia (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

O termo LID foi popularizado pelo documento intitulado Estratégias de Desing de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low-Impact Development Design Strategies*) publicado em 1999 e que apresenta as técnicas utilizadas, as condições de implantação, propriedades necessárias e avaliações dos dispositivos. O texto afirma que as metas do LID são devolver as condições de pré-urbanização com a idealização de projetos que compõe estética e funcionalidade, mas que controlem o aspecto hidráulico, como também a qualidade da água. (PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999).

Um dos diferenciais para o uso do LID trata-se da sua descentralização do controle, possibilitando que as alternativas aconteçam ao longo de toda a bacia, evitando a consequência de aumento do deflúvio a jusante da bacia. Além disso, por se tratar de soluções pontuais, os projetos que se apropriam da metodologia LID costumam aplicar diversas técnicas para a redução do escoamento superficial, ficando a cargo do projetista definir o nível de controle e qual dispositivo melhor se adapta ao espaço destinado, evidenciando a capacidade da metodologia LID em planejar os espaços de forma sustentável (DAMODARAM *et al.*, 2010; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

A respeito das técnicas disponíveis, existem diversas soluções possíveis. Dessa forma, existe uma versatilidade de uso, adequando-se a arquitetura e solo (BALLARD *et al.*, 2015). De acordo com Urbonas e Stahre (1990), os dispositivos são classificados em duas categorias de acordo sua localização no escoamento: contenção na fonte e contenção a jusante. Os dispositivos de contenção na fonte atuam na geração do escoamento, diminuindo sua vazão e retendo o volume no próprio lote a partir de pequenas unidades de armazenamento. Os dispositivos de contenção a jusante envolvem obras de maior porte para armazenamento de deflúvio provenientes da bacia. Entre os dispositivos que promovem a contenção na fonte, podem-se citar os pavimentos permeáveis, os jardins de chuva (biorretenção) e as trincheiras de infiltração (CANHOLI, 2014).

2.4 DISPOSITIVOS DE CONTROLE NA FONTE

De acordo com Canholi (2014), os dispositivos que devem atuar na fonte são aqueles que promovem ou incrementam a percolação da água no solo (infiltração), com objetivos de reduzir os picos de vazão e benefícios de regulação dos aquíferos ou armazenamento para uso

posterior. Trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis e lagoas de biorretenção são dispositivos LID's que utilizam desse mecanismo.

2.4.1 Pavimento Permeável

O pavimento permeável/poroso (PP) é um dispositivo constituído de asfalto ou concreto que permite a percolação da água no seu meio devido a elevada porosidade. Tal propriedade é ocasionada pela retirada do agregado fino de sua composição, permitindo que os vazios se conectem e o fluxo de água consiga passar pela sua estrutura com facilidade. Seus revestimentos podem ser de concreto poroso, blocos de concreto permeáveis (cobogramas) e asfalto poroso, todas com a mesma característica de percolação acentuada. No Brasil, a NBR 16.416 define propriedades e necessidades que um pavimento deve conter para ser classificado como permeável, além de definir os tipos de infiltração ao qual o pavimento pode estar submetido (CANHOLI, 2014; SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007). A Figura 2 apresenta um exemplo de pavimento permeável no meio urbano.

Figura 2 - Pavimento permeável aplicado em calçada

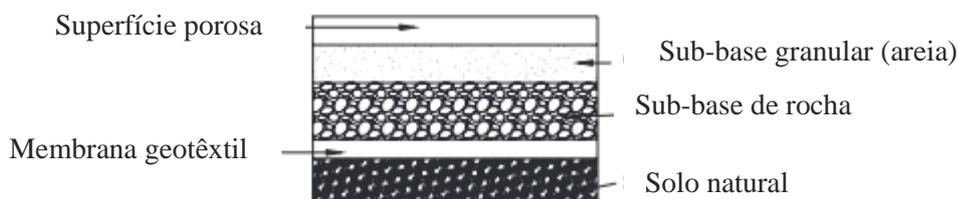


Fonte: (BES, 2020)

A estrutura de um pavimento permeável varia de acordo com o seu revestimento. As camadas de base e revestimento devem suprir a necessidade de esforços originários do trajeto acima dele. A Figura 3 apresenta o esquema vertical de um pavimento permeável. De forma geral, o PP é formado pela camada de pavimento, responsável pela absorção da água, a camada de base que oferece apoio para o pavimento e funciona como uma camada de filtro, uma camada

de armazenamento para uma rápida retenção da água que escoo pelo pavimento, e a camada de solo natural (AGOSTINHO; POLETO, 2012; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2015; KIA *et al.*, 2021; SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007).

Figura 3 - Esquema de um pavimento permeável



Fonte: (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007)

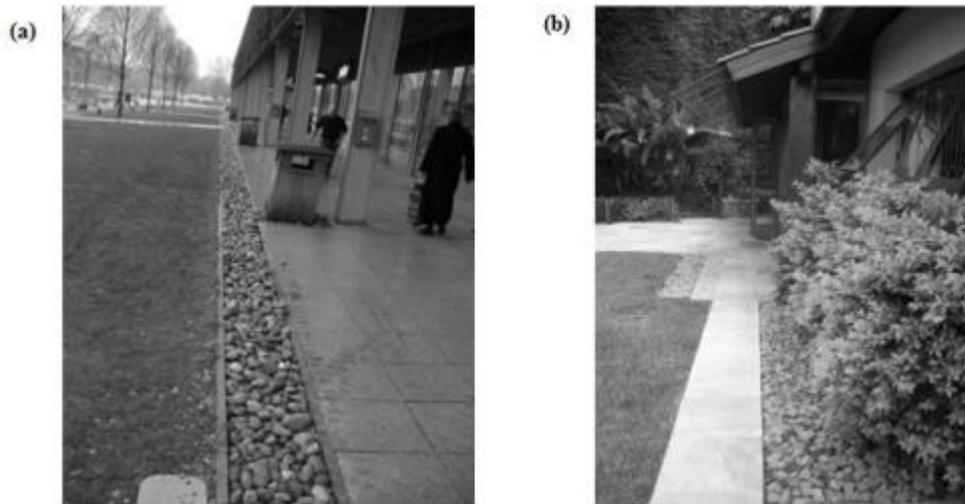
Apesar da facilidade de implantação desses dispositivos para controle na fonte, o pavimento permeável é recomendado apenas para usos de tráfego leve, como estacionamento, pois a sua própria resistência mecânica é menor devido a intensa porosidade (<30MPa). Além disso, seu desempenho leva em consideração vários fatores como a permeabilidade do solo, o dimensionamento da camada de armazenamento e os níveis do lençol freático. E quando se fala em manutenção, a limitação do PP está na sua capacidade de colmatção, necessitando de intervenções com menor periodicidade (AGOSTINHO; POLETO, 2012; KIA *et al.*, 2021; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016; SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007).

Seu uso como dispositivo LID vai além da capacidade de controle na fonte. Estudos indicam a capacidade de tratamento da água por meio de filtração e de retirada de compostos em suspensão advindos das chuvas e do escoamento, como hidrocarbonetos, nitrogênio, entre outros (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007). Dessa forma, a estrutura consegue fazer o uso do controle das águas aumentando a qualidade da água que percola até os lençóis freáticos.

2.4.2 Trincheira de Infiltração

As trincheiras de infiltração (TI) são valas preenchidas de material granular poroso que funcionam como um grande dispositivo de detenção do escoamento superficial, detendo a água que escoaria para armazenamento e posterior infiltração no solo. Seu comprimento é sempre superior à sua largura e profundidade. Seu dimensionamento pode servir para dispor de mecanismo de infiltração, armazenamento ou ambos (SILVA, 2007). A Figura 4 traz um exemplo de trincheira utilizada em área comercial e residencial.

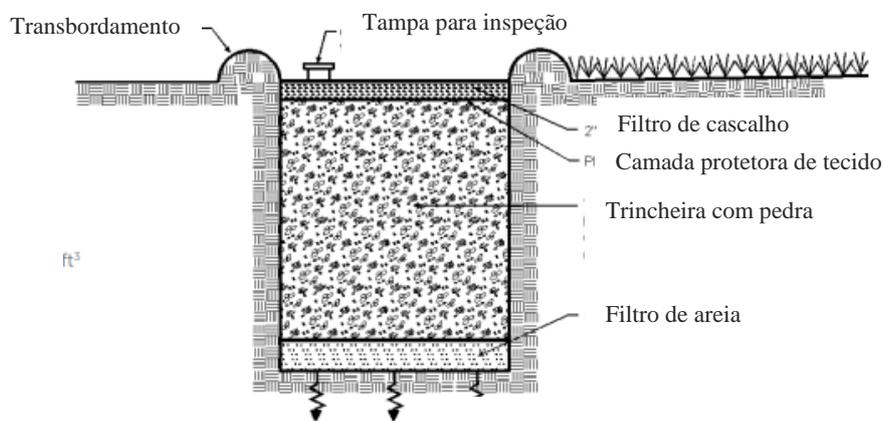
Figura 4 - Trincheira de infiltração: a) área comercial; b) área residencial



Fonte: (AGOSTINHO; POLETO, 2012)

As trincheiras de infiltração possuem em seu principal mecanismo o armazenamento de água para infiltração ou drenagem. Suas dimensões são definidas para comportar chuvas de grande intensidade por um determinado tempo em seu interior, evitando fluxos correntes ao exutório da bacia. (PEITER; POLETO, 2012) A Figura 5 apresenta a estrutura típica de uma TI.

Figura 5 - Esquema vertical de trincheira de infiltração



Fonte: Adaptado de AECOM *et al.* (2016)

2.4.3 Jardins de Chuva

O Jardim de Chuva (JC) é uma das várias soluções contidas no mecanismo de biorretenção, que utiliza da capacidade física, química e biológica que as plantas, os microrganismos e os solos podem propiciar para a qualidade e controle de águas. Independente do dispositivo, o mecanismo de biorretenção busca o manejo e o tratamento das águas de chuva

com o uso de artifícios naturais para um manejo sustentável. As soluções são variadas e podem ser denominadas de: jardins de chuva, canteiros pluviais, lagoa de biorretenção, entre outros (ESD, 2007; PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999). A Figura 6 apresenta um tipo de JC em via pública.

Figura 6 - Jardim de chuva em via pública



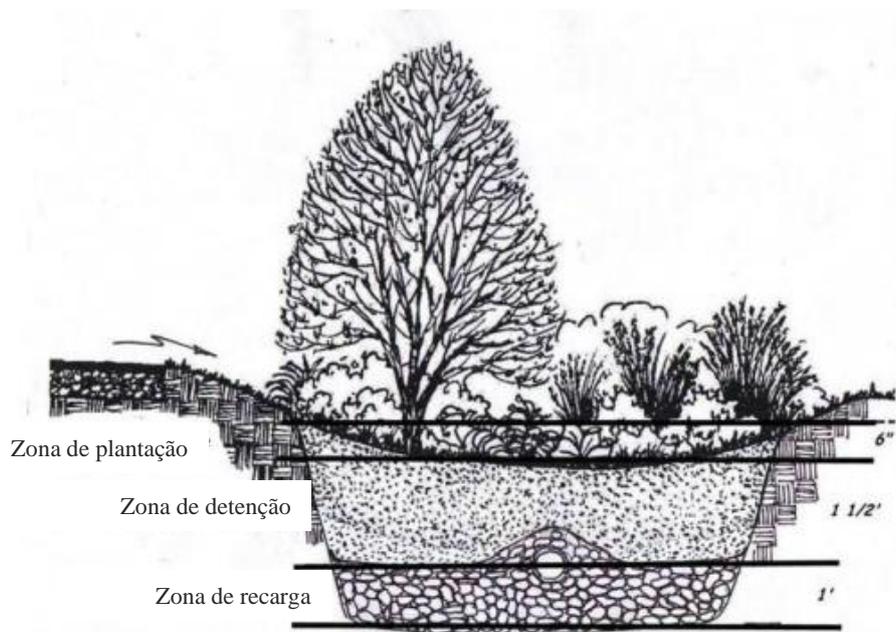
Fonte: (EPA, 2023)

Os jardins de chuva apresentam extrema eficiência na remoção de poluentes e sólidos suspensos devido as suas propriedades biológicas. Estudos apresentam dados sobre a performance de remoção de poluentes como sólidos suspensos, nitrogênio, fósforo, entre outros, devido a biomassa presente no dispositivo necessitar desses nutrientes para compor seus ciclos naturais de vida e de metabolismo. (COFFMAN *et al.*, 1993; DAVIS, 2008; ESD, 2007).

Apesar de sua principal característica ser a filtração das águas, os dispositivos de biorretenção conseguem dispor de vários outros processos como: evaporação, infiltração, absorção, armazenamento, entre vários outros (ESD, 2007). Dessa forma, o mecanismo de biorretenção é um grande trunfo da metodologia de baixo impacto uma vez que ela consegue dispor de maiores condições naturais em seu espaço.

Por causa dessas diversas possibilidades de processos atribuídos aos jardins de chuva, sua estrutura é bem variável. Para jardins cuja intenção é apenas filtrar a água, camadas de solo vegetal são as prioridades. Porém, quando existe a necessidade de maior capacidade de infiltração, define-se camadas que facilitam o escoamento (ESD, 2007). A Figura 7 apresenta um esquema de um jardim de chuva.

Figura 7 - Esquemático de um jardim de chuva



Fonte: Adaptado de ESD (2007)

2.5 PROJETO DE DRENAGEM

Os projetos de drenagem urbana envolvem não apenas a questão hidráulica e hidrológica dos espaços, mas os seus impactos atingem diretamente o âmbito socioeconômico e ambiental dos centros urbanos. Por isso, sua idealização deve ter base em diversas áreas do conhecimento.

Independente das soluções encontradas, os projetos de drenagem oferecem algumas particularidades. O sistema é projetado com a possível ocorrência de falha, uma vez que a determinação da chuva de projeto pode ser superada por alguma tormenta. A capacidade de resiliência do sistema está condicionada ao tempo de recorrência da chuva de projeto considerada, que por sua vez, implica em custos onerosos a implantação do projeto (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Outra particularidade do projeto de drenagem é que o sistema será útil apenas em momentos de chuva, sendo obsoleto na maior parte do tempo em que não existe precipitação. Tal aspecto diminui a importância do sistema para o controle do escoamento pluvial, onde os

gestores urbanos acabam por optar por medidas mais simples e tradicionais que não acompanham o processo de urbanização da cidade (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Apesar das particularidades supracitadas, a eficiência das soluções propostas também é definida de acordo com as considerações utilizadas no momento de elaboração do projeto. De acordo com Miguez; Veról e Rezende (2016), o dimensionamento da rede de drenagem deve seguir as seguintes etapas: divisão da área de estudo em bacias de contribuição, onde as propriedades da bacia devem representar o mais próximo o comportamento frente as chuvas; cálculo das afluentes ao sistema de drenagem, oriundas das áreas de contribuição; cálculo hidráulico das dimensões dos condutos, para definição das dimensões. Tal metodologia faz parte da drenagem tradicional.

A drenagem sustentável aborda o processo de projeto com o auxílio de novas tecnologias que visam simular os espaços e os escoamentos. De acordo com o IPH (2005), o desenvolvimento de projetos de drenagem deve levar em consideração o uso de dispositivos de controle na fonte e a avaliação deve ser feita considerando um cenário pré-urbanizado, a fim de que os elementos aplicados a solução final se igualem ou aproximem do cenário ideal de sustentabilidade.

2.6 SIMULAÇÃO SWMM

A modelagem hidrológica é uma ferramenta essencial para a compreensão dos processos hidrológicos em uma bacia, permitindo sua representação meio de artifícios matemáticos. Há anos, essa abordagem tem sido empregada em uma variedade de estudos, avaliações de cenários e previsões de eventos. Além disso, possibilita uma compreensão abrangente da hidrologia da bacia, abordando desde os processos de precipitação, infiltração e evaporação até a geração de escoamento e o controle da poluição da água (EPA *et al.*, 2015).

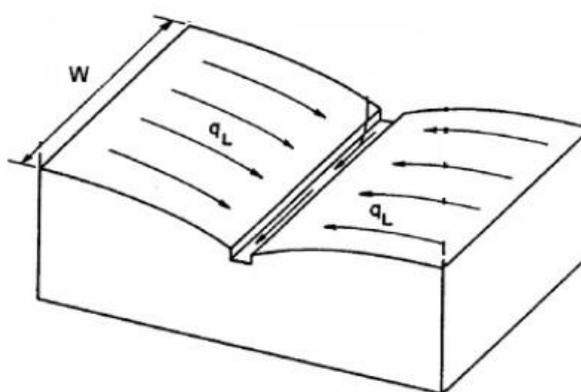
O Storm Water Management Model (SWMM) é um software desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em 1971, destinado à modelagem do escoamento em áreas urbanas. Suas características incluem técnicas abrangentes, métodos de infiltração, análise de poluentes e avaliação de inundação. O programa acompanha o desenvolvimento do escoamento em cada sub-bacia, monitorando a quantidade e qualidade da água, a altura da lâmina de água e a vazão ao longo do intervalo de simulação. Ele permite simulações de curto e longo prazo, analisando comportamentos hidráulicos e hidrológicos, bem como a qualidade da água, com resultados apresentados de diversas maneiras. Além disso, é capaz de fazer as simulações com técnicas LID's determinada para as áreas (EPA *et al.*, 2015).

Em seu processo, o SWMM faz o atributo de várias considerações para a obtenção do resultado. Para simular o escoamento, o programa utiliza a metodologia da lei de conservação de massa, onde a precipitação é um dado de entrada e as variáveis de saída se referem aos fluxos de água na bacia (infiltração, evaporação e escoamento) ao longo do tempo. Além dessa metodologia, os valores de escoamento são tratados como fluxos e calculados de acordo com a Equação de Manning, em cada instante de tempo definido.

Outra propriedade importante é a forma que SWMM adota o transporte hidráulico nos condutos. O usuário tem três opções a serem seguidas: regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica. O fluxo em regime uniforme adota que todos os pontos de condução do fluxo no conduto vão manter suas propriedades constantes. O modelo de onda cinemática, considera as variações de área e vazão do conduto no tempo e podem alterar o volume e vazão escoados no conduto. Seu limite está em uma ocupação máxima do conduto equivalente ao seu diâmetro. Qualquer valor acima dessa capacidade será considerado perda para o sistema ou poderá alagar um nó e retornar ao conduto. O modelo de onda dinâmica gera os resultados mais precisos pois considera as equações de Saint Venant que levam em consideração a continuidade e quantidade de movimento nos condutos e a continuidade de volume nos nós. Para esse modelo, as tubulações podem trabalhar de forma pressurizadas (EPA *et al.*, 2015).

Para a simulação das sub-bacias, a largura do escoamento é um dos dados de entrada e está relacionado a direção e espaço de escoamento que cada bacia vai conseguir contribuir ao longo do tempo (Figura 8). Esse valor de largura deve expressar o comportamento da forma da bacia e deve ser determinado de forma cautelosa uma vez que sua alteração influencia diretamente nos resultados de vazão escoada e precipitação da bacia (EPA *et al.*, 2015)

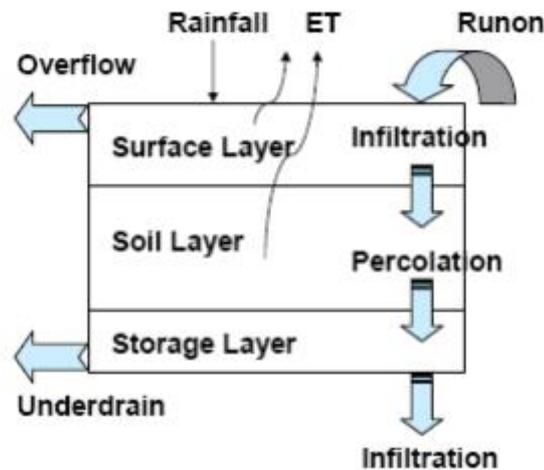
Figura 8 - Indicação de largura (Width) definida para as sub-bacias do modelo



Fonte: (EPA *et al.*, 2015)

Para a efetiva instalação dos dispositivos LID's na simulação, o SWMM adota que a estrutura será aplicada para toda a área indicada de LID na sua bacia. Dessa forma, as camadas de cada dispositivo são pré-definidas e seus parâmetros devem ser disponibilizados a fim de representar a estrutura LID que deseja ser simulada. A Figura 9 apresenta as camadas pré-definidas no programa e o Quadro 2 destaca as obrigatoriedades de camada para cada dispositivo LID.

Figura 9 - Esquema vertical de LID para uma célula de biorretenção



Fonte: (EPA *et al.*, 2015)

Quadro 2 - Camadas do modelo para cada LID

LID Type	Surface	Pavement	Soil	Storage	Drain	Drainage Mat
Bio-Retention Cell	x		x	o	o	
Rain Garden	x		x			
Green Roof	x		x			x
Permeable Pavement	x	x	o	x	o	
Infiltration Trench	x			x	o	
Rain Barrel				x	x	
Roof Disconnection	x				x	
Vegetative Swale	x					

Fonte: (EPA *et al.*, 2015)

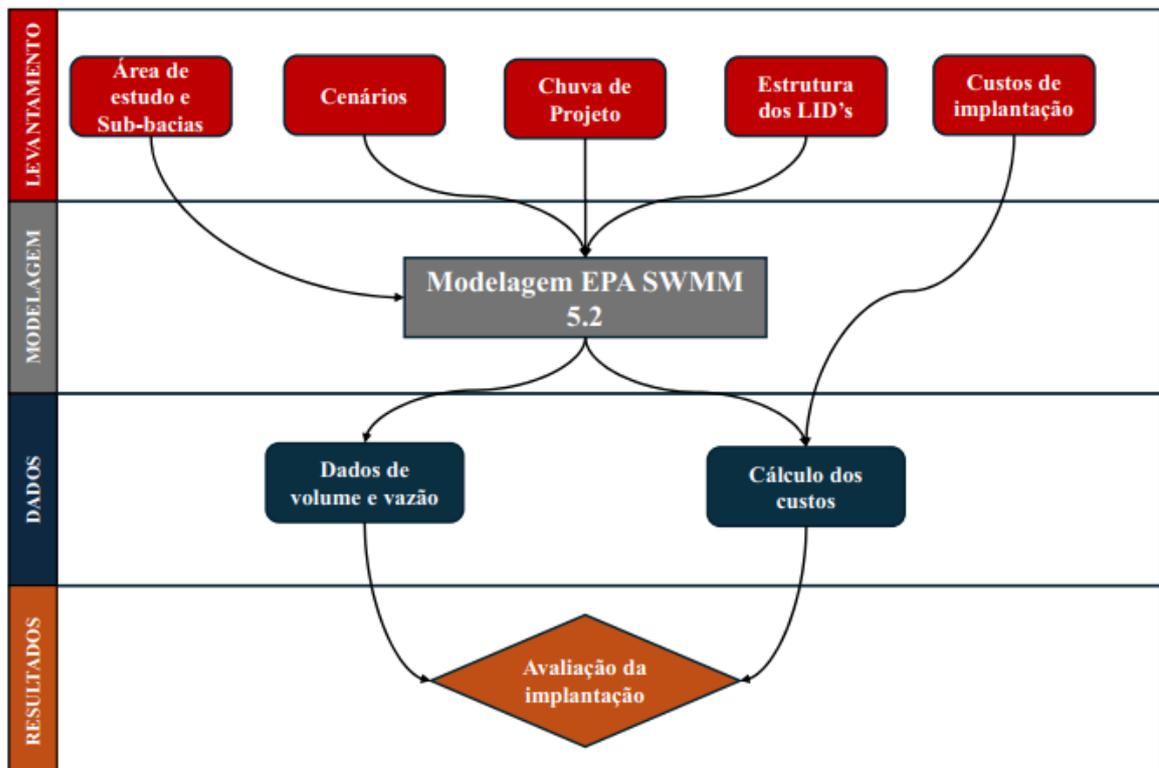
3 METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

O presente trabalho propõe a realização um estudo quantitativo para avaliar a eficiência hidrológica da implantação de dispositivos de controle de baixo impacto em uma proposta de reforma de um estacionamento da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Os dispositivos a serem utilizados (trincheira de infiltração, jardim de chuva e pavimento permeável) deverão compor o projeto de reforma para viabilização do manejo sustentável de águas pluviais do estacionamento.

A avaliação do trabalho envolveu a elaboração de diferentes cenários de implantação dos dispositivos LID's para a localidade em estudo, como também o levantamento e definição de parâmetros hidráulicos e hidrológicos, chuvas de projeto, definição de bacias e sub-bacias, características do local, estrutura dos dispositivos e custos de implantação. A Figura 10 esquematiza todo o processo de metodologia do trabalho.

Figura 10 - Fluxograma de metodologia do trabalho



Fonte: Autoral (2024)

No primeiro momento, consultou-se a bibliografia nacional e internacional sobre a temática de drenagem urbana sustentável, práticas atuais de controle de chuvas, adoção de dispositivos, seus impactos e suas composições. Tal estudo propiciou a definição dos

parâmetros de área de estudo e sub-bacias, os cenários para simulação, a chuva de projeto adequada para análise dos dispositivos e a estrutura típica dos dispositivos LID's em teoria e aplicados nas práticas de pesquisa. Em paralelo, definiram-se os custos dos dispositivos LID's com base na composição de cada tipo, detalhando os materiais e precificando no mercado local ou em bases de orçamento nacionais.

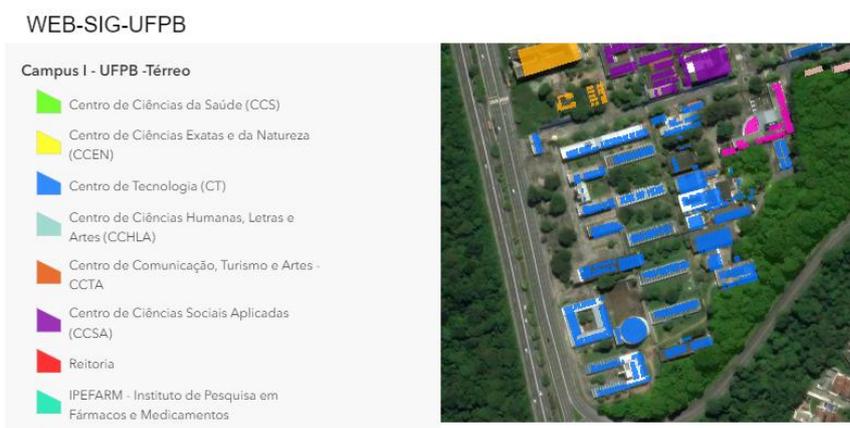
Munidos de tais informações, elaborou-se no EPA SWMM 5.2 os modelos dos cenários propostos. Foram obtidos os resultados hidráulicos e hidrológicos necessários para avaliação das propostas, baseando-se nas condições finais de volume e vazão. Além disso, com o modelo definido e simulado, as informações dos dispositivos LID's implantadas são utilizadas para definir o custo total do cenário.

Por fim, a análise é feita comparando os cenários propostos com o cenário de referência, evidenciando as diferenças entre resultados obtidos e suas justificativas, plotando gráficos para identificação do desempenho dos projetos propostos e determinando seus custos. Nesse sentido, índices de desempenho que expressam a performance de cada cenário foram propostos a fim de compará-los quantitativamente e concluir sobre a prática de implantação de dispositivos de baixo impacto no controle superficial águas pluviais.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo do presente trabalho trata-se de parte do Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal da Paraíba, localizado no Campus I (Sede), no bairro do Castelo Branco, da cidade de João Pessoa – PB. O CT conta com cerca de 20 prédios que comportam salas de aulas, laboratórios, espaços administrativos, salas de professores, auditórios, biblioteca e centros acadêmicos, indicados na Figura 11.

Figura 11 - Identificação do Centro de Tecnologia da UFPB

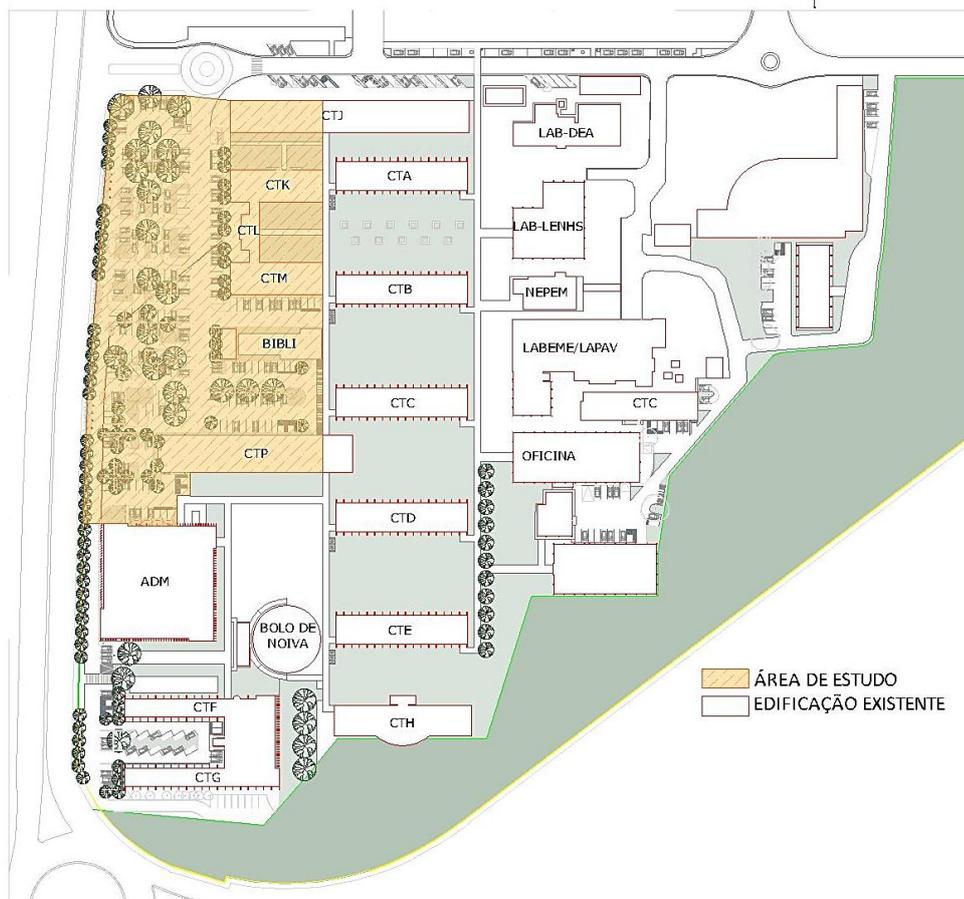


Fonte: Web-SIG UFPB (2024)

A área adotada para o trabalho diz respeito a uma proposta de readequação do estacionamento do CT ainda em fase de projeto, com mudanças que modificam o ambiente de forma mais integrada com vegetações e garantindo melhor mobilidade. Trata-se de uma zona de estacionamento logo após a entrada externa do centro, limitada pela Via Expressa Padre Zé a oeste, Via Ipê Amarelo ao norte, blocos de aulas e laboratórios do CT ao leste e o bloco administrativo ao sul, totalizando uma área de 13.711,0806m² (1,37ha) que englobam o estacionamento e todas as áreas cujas contribuições pluviais são direcionadas para o sistema de drenagem ou para a superfície do estacionamento. A Figura 12 identifica a área de estudo citada.

A proposta de readequação dos estacionamentos do CT é uma idealização da Direção de Centro por meio da Assessoria de Planejamento Urbanístico e Infraestrutura a fim de garantir aos espaços a potencialização de desenvolvimento e o uso sustentável da Cidade Universitária. O projeto foi cedido pela Direção de Centro, com autorização do atual Diretor de Centro, Prof. Dr. Marcel de Góis Pinto (DEP-UFPB).

Figura 12 - Planta do Centro de Tecnologia e área de estudo



Planta Baixa | Proposta
Escala SEM ESCALA



Fonte: Autor (2024)

O projeto proposto define uma distribuição diferente das baias de estacionamento e cria áreas de vegetação. Dessa forma, a ocupação da área de estudo inclui telhados, calçadas, pavimentos e canteiros (jardins). A Tabela 1 abaixo define a proporção de cada tipo de ocupação na área total.

Tabela 1 - Distribuição da cobertura na área de estudo

Cobertura	Área (m²)	%
Telhado	2737,21	19,96%
Calçada	459,46	3,35%
Pavimento	9403,83	68,59%
Jardim	1110,58	8,10%
TOTAL	13711,08	100%

Fonte: Autor (2024)

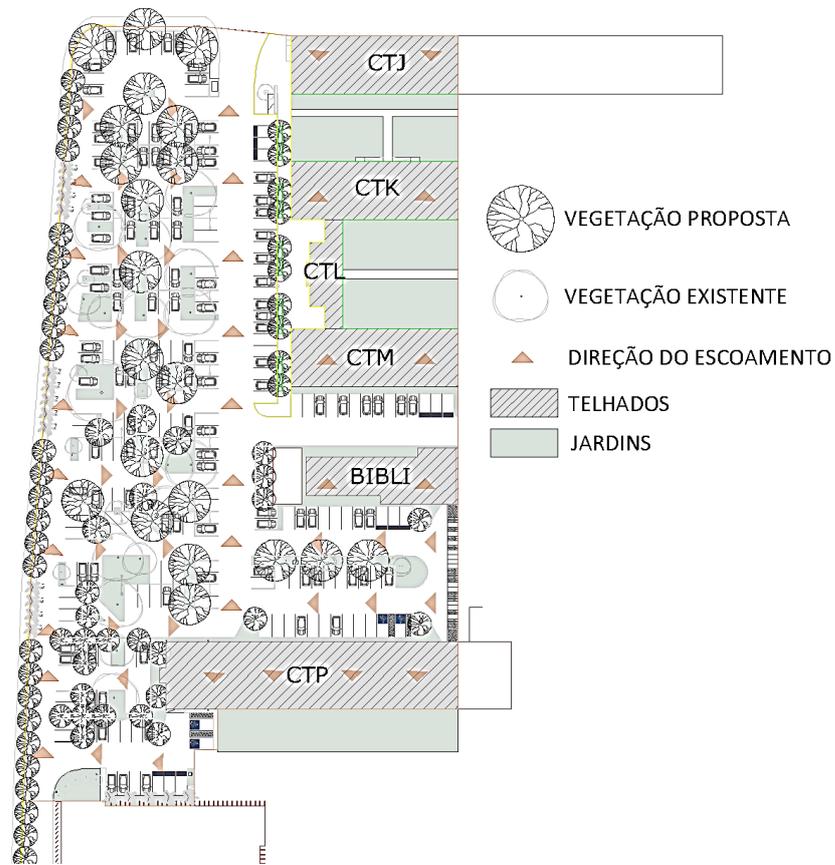
Tais áreas foram definidas de acordo com o esquema reproduzido na Figura 13. As áreas de telhado, delimitações dos jardins e do estacionamento buscam retratar o atual esquema de escoamento das águas pluviais. Dessa forma, justifica-se algumas áreas não contribuírem em sua totalidade (CTJ e CTP, por exemplo) para a bacia e não sobrecarregar a área do estacionamento com escoamentos que não são destinados a ela.

Por se tratar de um projeto em desenvolvimento, as informações executivas dos espaços não estão definidas, sendo necessário atribuir algumas características ao projeto, como o direcionamento de fluxo do escoamento superficial na área. As setas da Figura 13 indicam a consideração de fluxo adotado para o projeto.

Sobre o solo da área de estudo, o portal GEOINFO¹ disponibilizado pela EMBRAPA indica que o solo da região de João Pessoa, especificamente na área da UFPB é o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, sendo classificado como um solo do Grupo Hidrológico B, que tem como características uma moderada taxa de infiltração quando molhados, textura arenosa ao longo do perfil e cerca de 10 a 20% de argila e 50 a 90% de areia. Sua taxa de infiltração do solo saturado varia em torno de 15mm/h a 36mm/h (ANA, 2018; Sartori; Neto; Genovez, 2005; USDA, 2009).

¹ Disponível em https://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104. Acessado em 03 de março de 2024.

Figura 13 - Detalhes da área de estudo



Fonte: Autor (2024)

3.3 CENÁRIOS ESTUDADOS

Os cenários propostos para o estudo têm como objetivo analisar as condições de funcionamento dos dispositivos considerando algumas premissas de substituição de espaços livres por LID's. Todas as análises terão como referência o Cenário 00 (C00) que trata apenas da ocupação e cobertura do projeto apresentado sem intervenções, na distribuição descrita pela Tabela 1. A Figura 14 esquematiza as sub-bacias definidas.

Figura 14 - Esquema do Cenário 0 (C00)



Fonte: Autor (2024)

Para o cenário em questão, devido ao seu relevo predominantemente plano, detectado por visita *in loco*, adotou-se que toda a região do estacionamento tem uma inclinação mínima de 0,5%, a fim de garantir declividade para a drenagem superficial das áreas. Além disso, como trata-se de uma readequação do espaço do estacionamento, sem detalhes de infraestrutura presentes, considerou-se que todos os fluxos de água provenientes de telhados, calçadas e jardins serão destinados a superfície do estacionamento, como forma de simplificação.

Os cenários seguintes foram elaborados pensando-se a implantação dos dispositivos no projeto arquitetônico desenvolvido. Dessa forma, a ocupação dos dispositivos e suas localizações na área atual de estudo será o fator que diferenciará cada um dos cenários, mas mantendo uma lógica de implantação coerente.

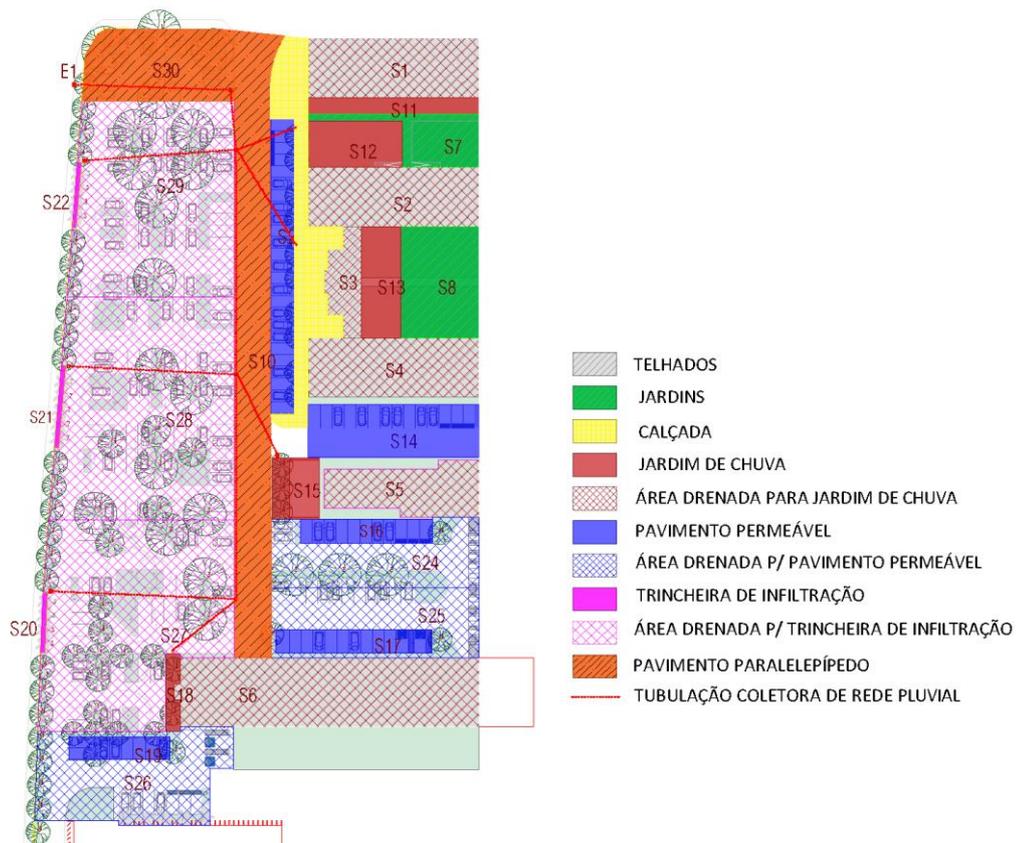
Outras premissas adotadas para os cenários foram: a não retirada de nenhuma das árvores já existentes na área do estacionamento; os telhados deverão ser obrigatoriamente drenados por algum dispositivo (trincheira de infiltração ou jardim de chuva); pavimentos permeáveis não devem receber contribuição de telhados, apenas de escoamentos superficiais,

justificado pela facilidade de colmatação devido a sedimentos que possam ser despejados em sua superfície; a via de entrada do estacionamento deve permanecer com o pavimento original devido ao fluxo de carros e cargas que esse trecho é exposto (ônibus circular, caminhões de carga de mercadorias para lanchonetes, frenagens maiores devido ao trânsito).

3.3.1 Cenário 01

O cenário 01 (C01) foi idealizado com uma menor intervenção dos espaços projetados, aproveitando os espaços de jardim ou espaços abertos para a implantação de dispositivos. Como resultado, o cenário conta com a implantação de 04 jardins de chuva (JC), 04 áreas com pavimentos permeáveis (PP) e 03 trincheiras de infiltração (TI). A Figura 15 esquematiza a localização dos dispositivos e suas áreas drenadas. Obteve-se um total de 30 sub-bacias após divisão do espaço.

Figura 15- Esquema do C01



Fonte: Autor (2024)

Para a utilização dos LID's, foi necessário idealizar tubulações coletoras de PVC ($n = 0,01$) para transportar os fluxos drenados pelos jardins e pelas trincheiras. As tubulações

previstas foram interligadas por caixas de passagem cobertas, sem entrada de escoamento, ao longo de todo o estacionamento, descarregando no exutório da bacia. As dimensões adotadas seguiram as recomendações práticas de projetos apresentadas por Botelho (2011) e IPH (2005). Como características, adotou-se para os tubos as inclinações mínimas de 1 % (BOTELHO, 2011), e foram adotados os seguintes diâmetros: DN200 para as saídas dos LID's; DN300 para a tubulação coletora ao longo do estacionamento; DN400 no trecho que leva da última caixa de passagem até o exutório. A distribuição de cobertura espacial e dos dispositivos está apresentada nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Percentual de cobertura do Cenário 01 (C01)

Cobertura	Área (m²)	%
Telhado	2737,21	19,96%
Calçada	459,46	3,35%
Pavimento	8058,64	58,77%
Jardim	598,57	4,37%
LID's	1857,20	13,55%
TOTAL	13711,08	100,00%

Fonte: Autor (2024)

Tabela 3 – Área de LID's aplicado no Cenário 01

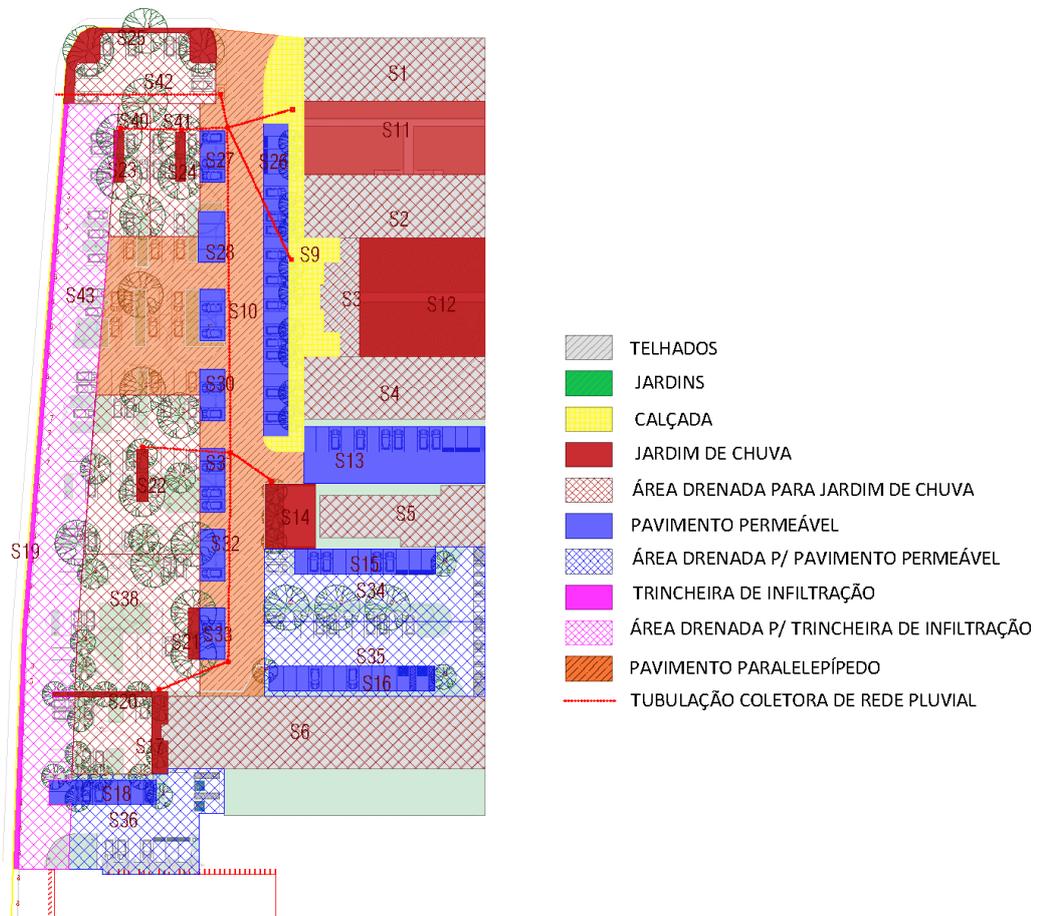
LID	Área (m²)
PP	1125,39
TI	44,63
JC	686,62

Fonte: Autor (2024)

3.3.2 Cenário 2

O Cenário 02 (C02) foi proposto realizando uma maior intervenção na proposta da arquitetura. Adotou-se uma maior retirada das árvores previstas no projeto de adequação, viabilizando maior área de aplicação de dispositivos. Ao longo do estacionamento, foi proposto o uso de trincheiras, jardins e pavimentos permeáveis para subdivisão das áreas de contribuição do escoamento. A distribuição final de dispositivos foi: 10 jardins de chuva (JC), 11 pavimentos permeáveis (PP) e 01 trincheiras de infiltração (TI). A Figura 16 esquematiza a localização dos dispositivos e suas áreas drenadas. Obteve-se 41 sub-bacias após divisão do espaço.

Figura 16 - Esquema do Cenário 02 (C02)



Fonte: Autor (2024)

Da mesma forma que o C01, foi adotado para a saída dos jardins e trincheiras tubulações cerâmicas que transportaram o fluxo até o exutório ao longo do estacionamento. A distribuição espacial de cobertura e dos dispositivos está expressa nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Percentual de cobertura do
Cenário 02 (C02)

Cobertura	Área (m ²)	%
Telhado	2737,21	19,96%
Calçada	459,46	3,35%
Pavimento	7373,74	53,78%
Jardim	0,00	0,00%
LID's	3140,66	22,91%
TOTAL	13711,08	100,00%

Fonte: Autor (2024)

Tabela 5 - Área de LID's aplicado no
Cenário 02 (C02)

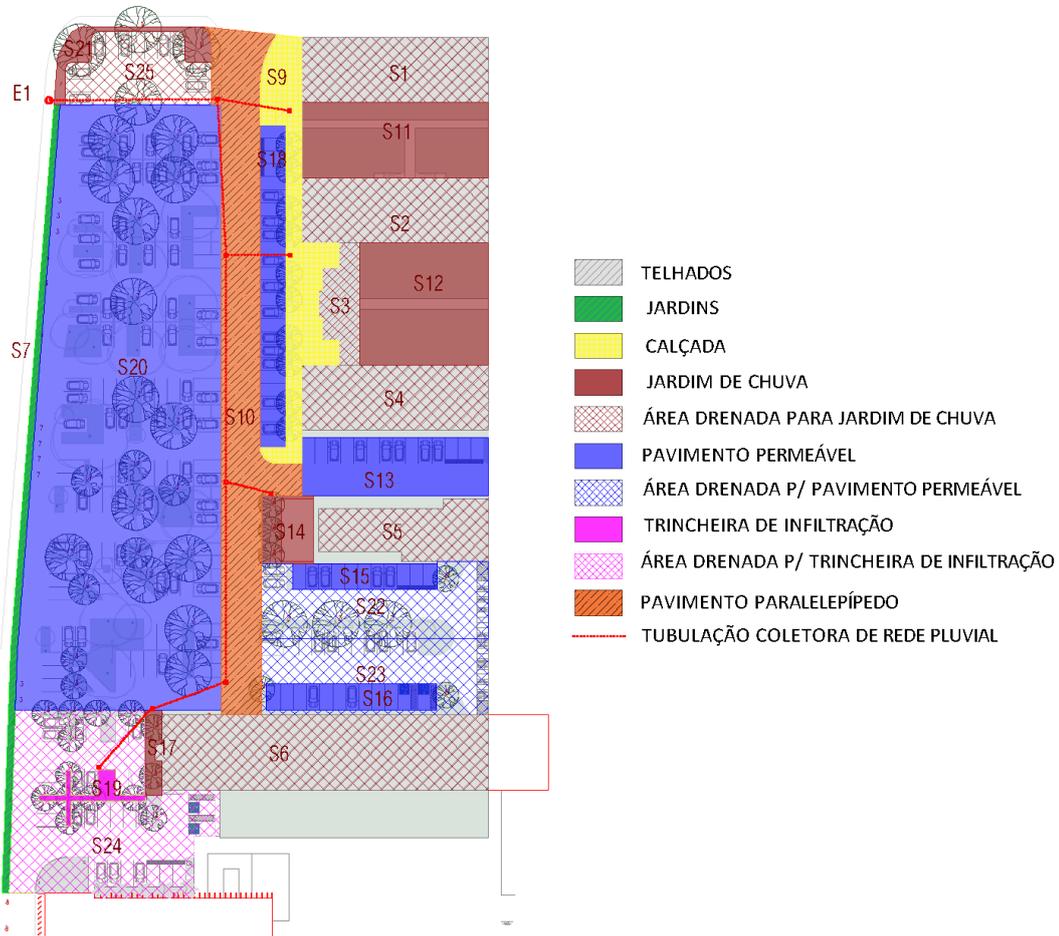
LID	Área (m ²)
PP	1498,14
TI	153,10
JC	1489,16

Fonte: Autor (2024)

3.3.3 Cenário 03

O cenário 03 (C03) propõe-se a uma intervenção de dispositivos maior em termos de área, considerando que todo o estacionamento (baias e circulação secundária) será composto por pavimento permeável, considerando que os canteiros com árvores e todo o pavimento serão um bloco com 100% de área permeável. A quantidade de dispositivos implantados foi de: 05 jardins de chuva (JC), 05 pavimentos permeáveis (PP) e 01 trincheiras de infiltração (TI). A Figura 17 esquematiza a localização dos dispositivos e suas áreas drenadas. Obteve-se um total de 24 sub-bacias após discretização do espaço

Figura 17 - Esquema do Cenário 03 (C03)



Fonte: Autor (2024)

Assim como o C01 e o C02, os fluxos dos jardins e trincheira são destinados para os tubos coletores ao longo do estacionamento até chegar ao exutório. A distribuição espacial da cobertura do cenário e dos dispositivos estão descritos na Tabela 6 e 7.

Tabela 6 - Percentual de cobertura do
Cenário 03 (C03)

Cobertura	Área (m ²)	%
Telhado	2737,21	19,96%
Calçada	459,46	3,35%
Pavimento	3699,75	26,98%
Jardim	183,75	1,34%
LID's	6630,91	48,36%
TOTAL	13711,08	100,00%

Fonte: Autor (2024)

Tabela 7 – Área de LID's aplicado no
Cenário 03

LID	Área (m ²)
PP	5193,95
TI	46,20
JC	1390,29

Fonte: Autor (2024)

3.4 ESTRUTURA DOS DISPOSITIVOS LIDS

Para um adequado controle na fonte da água pluvial, as estruturas dos dispositivos se diferenciam para se adequar a necessidade do espaço, da condição natural do terreno e mecanismo de controle (infiltração, filtração, detenção, retenção). Dessa forma, é necessário pensar na disposição de camadas que favorecem a solução de projeto pretendida.

Para o estudo, o principal mecanismo de controle trata-se da infiltração, a fim de desviar parte do fluxo proveniente das precipitações para a disposição no solo. Além disso, o armazenamento também é um mecanismo utilizado para garantir a infiltração dos dispositivos, já que ele recolhe parte da água e o disponibiliza diretamente para a infiltração, se acumulando conforme a intensidade da chuva. Dessa forma, camadas compostas de material granular devem fazer parte da estrutura e estarem diretamente sobre o solo natural.

Apesar de várias metodologias adotadas para dimensionar o perfil dos dispositivos (IPH; PMPA, 2005; RIGUETTO, 2009), a intenção do trabalho foi definir sua estrutura baseado em estruturas já dimensionadas por estudos e que obtiveram resultados positivos em relação ao controle do escoamento superficial. Dessa forma, define-se um padrão de dispositivos que possa atender as mais variadas demandas e se adaptar aos diversos locais de implantação.

Para o PAVIMENTO PERMEÁVEL, a estrutura definida baseou-se nos estudos e práticas ditadas por Acioli (2005), EPA (1999); Scholz e Grabowiecki (2007) e Virgiliis (2009). Sua estrutura é composta por: uma camada de revestimento com o uso de placas de concreto permeável, cuja espessura é de 8 cm; uma camada de base com areia graduada para assentamento das placas de concreto poroso, cuja espessura é de 10 cm; uma camada de armazenamento com material granular do tipo brita 3 (25 a 50mm), cuja espessura é de 30cm. A Figura 18 apresenta o esquema vertical da estrutura do pavimento permeável

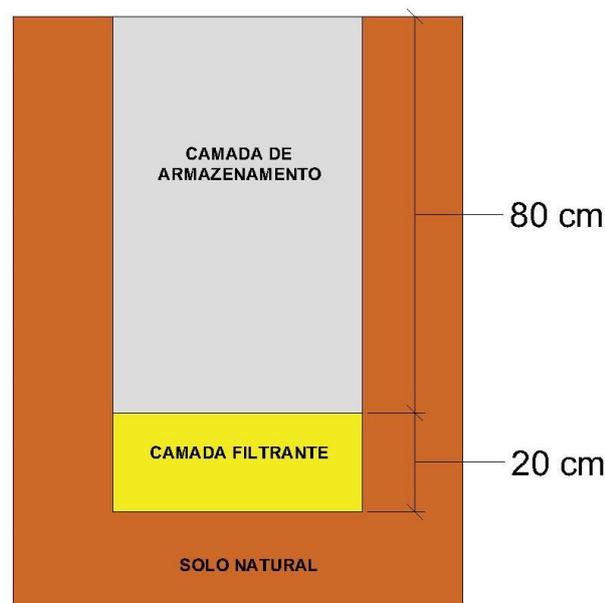
Figura 18 - Estrutura vertical do pavimento permeável adotado



Fonte: Autor (2024)

Para a TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO, a estrutura definida baseou-se nos estudos e práticas abordadas por AECOM *et al.* (2016), BES (2020), Creaco e Franchini (2012), Melo *et al.* (2016) Peiter e Poletto (2012); PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999) e Souza e Goldenfum (2002). Sua estrutura é composta por uma camada de armazenamento contendo material granular do tipo brita 3 (25 a 50 mm) com espessura de 80cm e uma camada filtrante composta de areia graduada com espessura de 20 cm em contato com o solo natural. A Figura 19 apresenta o esquema vertical da trincheira de infiltração

Figura 19 - Estrutura vertical da trincheira de infiltração adotada

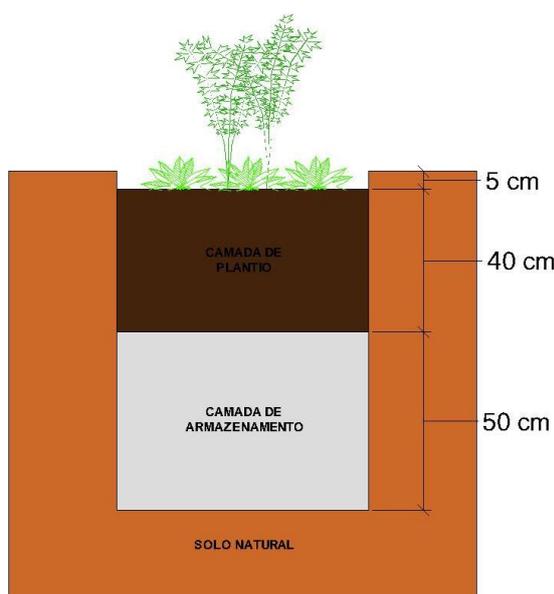


Fonte: Autor (2024)

Para o JARDIM DE CHUVA, a estrutura definida baseou-se nos estudos e práticas abordados por AECOM *et al.* (2016), BES (2020), Coffman *et al.* (1993); Davis (2008), Davis

et al. (2012), Gao *et al.* (2018), Melo *et al.* (2014) e Prince George's County (1999). Sua estrutura é composta por: uma camada de cobertura vegetal de baixo porte com 5 cm de profundidade da superfície; uma camada de plantio contendo terra vegetal para plantio de vegetações, cuja espessura é de 40 cm; uma camada de armazenamento contendo brita 3 (25 a 50 mm), cuja espessura é de 50 cm. A Figura 20 apresenta o esquema vertical do jardim de chuva.

Figura 20 - Estrutura vertical do jardim de chuva adotado



Fonte: Autor (2024)

3.5 CHUVAS DE PROJETO

A chuva de projeto é um parâmetro de extrema importância para os projetos de drenagem visto que o fator a ser controlado se trata do escoamento definido pela chuva. As chuvas tendem a se comportar como eventos imprevisíveis, adquirindo comportamentos variados em relação ao tempo e ao espaço. Além disso, as chuvas de projeto oferecem os principais dados hidrológicos para dimensionamento de dispositivos e para avaliar picos de vazão e volume (IPH; PMPA, 2005; MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

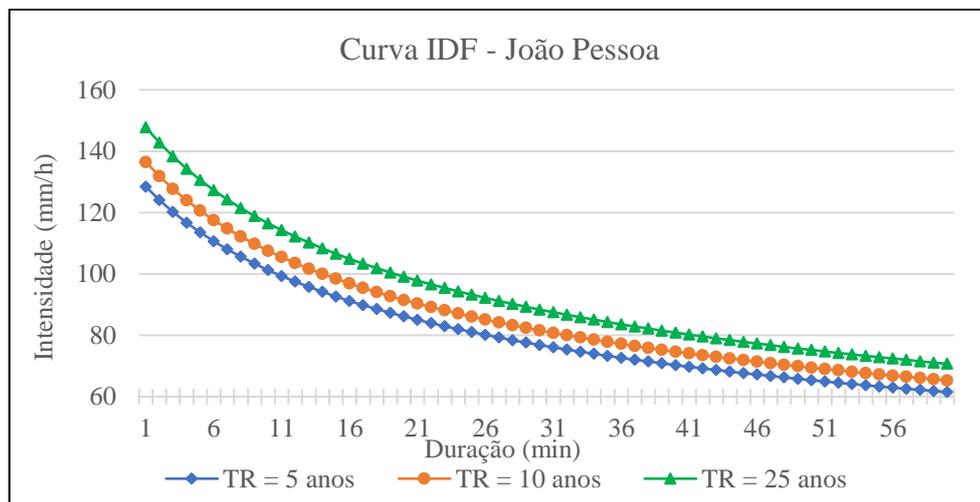
A chuva de projeto utilizada foi obtida a partir das Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), metodologia que utiliza de registros históricos para construir curvas intensidade de precipitação versus duração. Os parâmetros da equação são obtidos

estatisticamente e refletem o registro histórico de precipitações e a sua localização, enquanto suas variáveis (duração da chuva e tempo de recorrência) determinam a intensidade da chuva a ser definida (CANHOLI, 2014). De acordo com ARAGÃO *et al.* (2000), a curva IDF para a cidade de João Pessoa – PB é expressa de acordo com a Equação 1 e o resultado das curvas estão demonstrados na Figura 21.

$$i = \frac{290 \times T_R^{0,087}}{(d + 10)^{0,398}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: i = intensidade (mm/h); T_R = Tempo de Recorrência/Retorno (anos); d = duração (min).

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



Fonte: Autor (2024)

Para o estudo, adota-se TR de 5, 10 e 25 anos, e as durações de chuva de 15, 30 e 60 min. Dessa forma, será obtido 9 hietogramas de projeto no total, onde cada duração será aplicada a cada um dos TR's. As chuvas de projeto definidas servirão para validar o desempenho dos dispositivos de controle do manejo pluvial uma vez que não se realizou dimensionamento dos dispositivos, apenas a adoção de dimensões recomendadas em literatura, manuais e casos de estudos. Além disso, o TR = 25 anos servirá para avaliar o sistema em um evento crítico de precipitação, uma vez que o dimensionamento de dispositivos de micro drenagem e controle na fonte são dimensionados para chuvas de projeto com TR de 2 a 10 anos (São Paulo, 2012).

Ainda sobre a chuva de projeto, com o uso da precipitação da curva IDF, o método a ser utilizado para transformar a curva em uma chuva de tormenta será o método dos blocos alternados, que discretiza os acréscimos de chuva para cada duração de chuva parcial e organiza

em blocos de forma arbitrária, com algumas regras empíricas sobre a determinação de uma chuva crítica. No método dos blocos alternados, quanto maior a discretização no tempo de passo parcial em relação a duração total da precipitação, maior o pico de intensidade definido para o hietograma (Canholi, 2014).

No estudo em questão, a discretização de tempo utilizada foi de $\Delta t = 1 \text{ min}$ para todas as durações prevista. A maior intensidade encontrada será colocada no tempo intermediário da duração total, e seus valores decrescentes serão ordenados um a cada lado, a fim de obter o hietograma de uma chuva crítica, de acordo com a metodologia dos blocos alternados.

Para facilitar a identificação, as chuvas foram classificadas com códigos da seguinte forma: o prefixo TR seguido do tempo de retorno em questão e logo após a duração da chuva. Como exemplo, a chuva de tempo de retorno de 10 anos com duração de 30 minutos é codificada como TR10-30.

3.6 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

De acordo com Tucci (2002), as definições de planejamento e gerenciamento das águas urbanas provenientes das chuvas deve buscar mecanismos econômico-financeiros. A escolha do risco relacionado ao controle das águas pluviais está relacionada com a melhor relação entre os benefícios de controle e o custo de implementação.

Os custos de implantação dos dispositivos aqui apresentados foram definidos de acordo com as composições elaboradas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índices da Construção Civil – SINAPI. A composição de orçamento dos dispositivos foi elaborada baseado nos estudos de Guerra (2023) e Lopes (2020) e na estrutura dos controles definidos anteriormente. As Tabelas 8 e 9 apresentam os itens que fazem parte da composição do estudo.

Tabela 8 - Composição de custos de dispositivos LID's por Lopes (2020)

CÉLULA DE BIORRETENÇÃO						
Base de dados	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805750	Escavação manual em material de 1ª categoria	m ³	28,60	abr/19	Distrito Federal
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m ³	84,79	out/19	Brasília
SINAPI	83669	Fornecimento/Instalação Manta Bidim RT-16	m ²	8,89	out/19	Brasília
SINAPI	7253	Terra vegetal (granel)	m ³	107,64	out/19	Brasília

Preço de mercado	-	Espada de São Jorge	uma muda	13,00	nov/19	-
PAVIMENTO PERMEÁVEL						
Base de dados	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805750	Escavação manual em material de 1ª categoria	m³	28,60	abr/19	Distrito Federal
SICRO	4011418	Pré-misturado a frio - faixa A - areia e brita comerciais	m³	240,07	abr/19	Distrito Federal
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	84,79	out/19	Brasília
SINAPI	83669	Fornecimento/Instalação Manta Bidim RT-16	m²	8,89	out/19	Brasília

Fonte: Adaptado de Lopes (2020)

Tabela 9 - Composição de custo de dispositivos LID's por Guerra (2023)

PAVIMENTO PERMEÁVEL						
Fonte	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805751	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m	m³	46,88	jan/23	Paraíba
SICRO	4011418	Pré-misturado a frio - faixa A - areia e brita comerciais	m³	336,41	jan/23	Paraíba
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	122,15	mar/23	João Pessoa
SINAPI	4019	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	12,59	mar/23	João Pessoa
TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO						
Fonte	Código	Descrição	Unidade	Preço (R\$)	Ano	Local
SICRO	4805751	Escavação manual em material de 1ª categoria na profundidade de 1 a 2 m	m³	46,88	jan/23	Paraíba
SINAPI	4722	Pedra britada n. 3 (38 a 50 mm) posto pedreira/fornecedor, sem frete	m³	122,15	mar/23	João Pessoa
SINAPI	4019	Geotêxtil não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, resistência a tração = 16 KN/m	m²	12,59	mar/23	João Pessoa

Fonte: Adaptado de GUERRA (2023)

Apesar de uma boa estimativa de preço, as linhas de serviço apresentadas podem não representar um valor real de implantação uma vez que várias composições apresentam apenas os custos de aquisição dos insumos, sem considerar os valores gastos com a mão de obra para

a execução do serviço. Dessa forma, a busca nas bases de dados orçamentárias procurou definir serviços que englobassem o custo total da execução do serviço, considerando mão de obra e aquisição de material.

Outra característica a ser ajustada é a conversão de unidades das composições. Devido a implantação dos LID's serem definidas de acordo com a área da sub-bacia, todas as unidades de composição devem refletir o custo pelo metro quadrado. Para as composições que são expressas em metro cúbico (m^3), sua transformação é feita multiplicando o valor unitário pela profundidade da composição a ser executada, restando apenas a área de aplicação. Para as composições que são expressas em metro linear (m), sua transformação é feita dividindo o custo unitário pela medida perpendicular a direção do metro linear, para aplicar o valor unitário no metro quadrado. Para as unidades de hora, carga horária produtiva e carga horária improdutiva, não existe ajuste, pois o tempo e mão de obra para executar o serviço não foi alterado, apenas sua forma de medição.

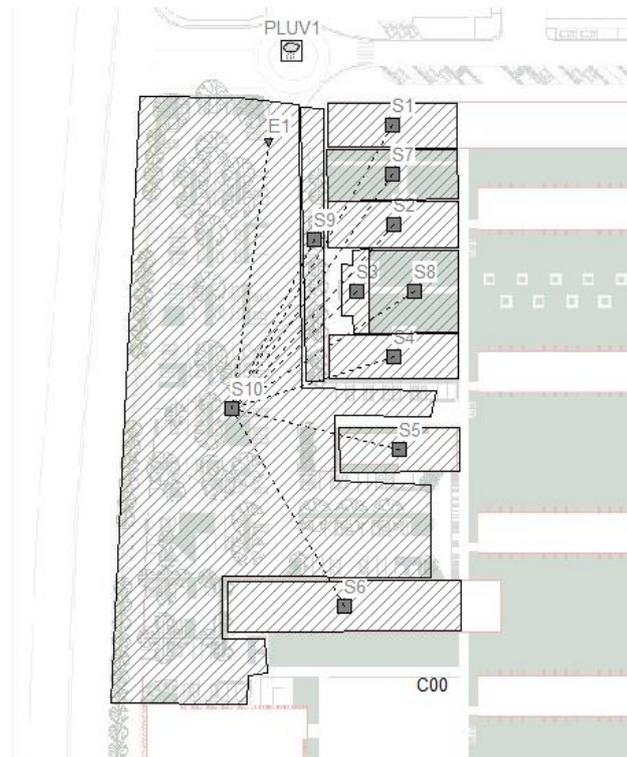
3.7 MODELAGEM SWMM

3.7.1 Definição das Sub-bacias

Para iniciar as modelagens, é necessário dividir toda a área da bacia em sub-bacias com suas propriedades físicas, hidrológicas e hidráulicas. Cada sub-bacia gera um fluxo de água pluvial, que deverá escoar pelas sub-bacias ou tubos até a saída no exutório. As principais características atribuídas a cada sub-bacia trata-se da sua área, inclinação, área permeável e impermeável, o coeficiente de Manning referente a cada área dentro da sub-bacia.

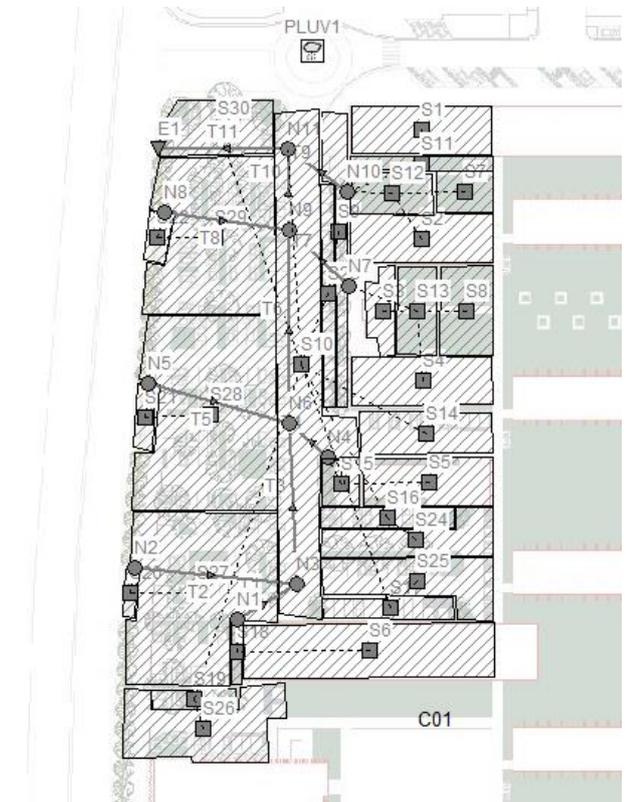
Para cada cenário foi proposto uma divisão diferente das áreas uma vez que cada LID ocuparia 100% da sub-bacia e drena uma área correspondente. As Figuras 21, 22, 23 e 24 representam as sub-bacias (indexador S) definidas para cada cenário de simulação, o exutório da bacia (indexador E), os trechos de tubulação implantados (indexador T), as caixas de passagem ao longo dos condutos (indexador N) e o pluviômetro (indexador P) que define a chuva que desagua na bacia.

Figura 21 - Modelagem do C00 no SWMM



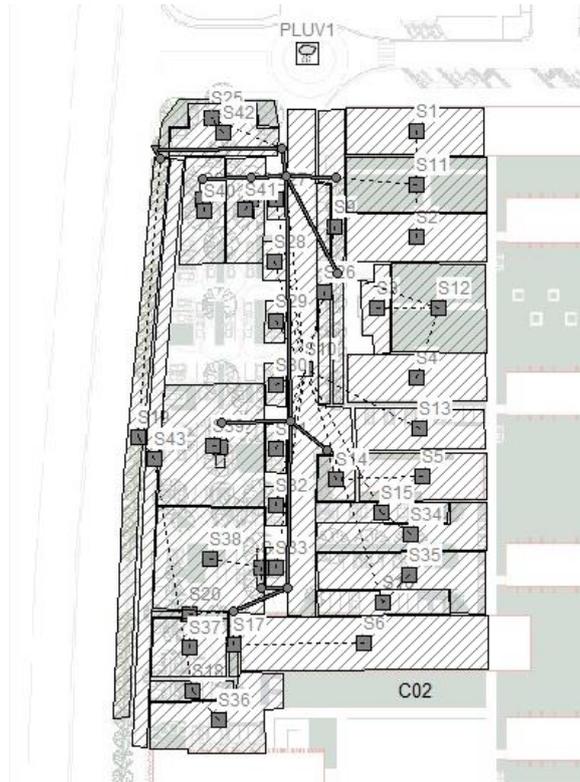
Fonte: Autor (2024)

Figura 22 - Modelagem do C01 no SWMM



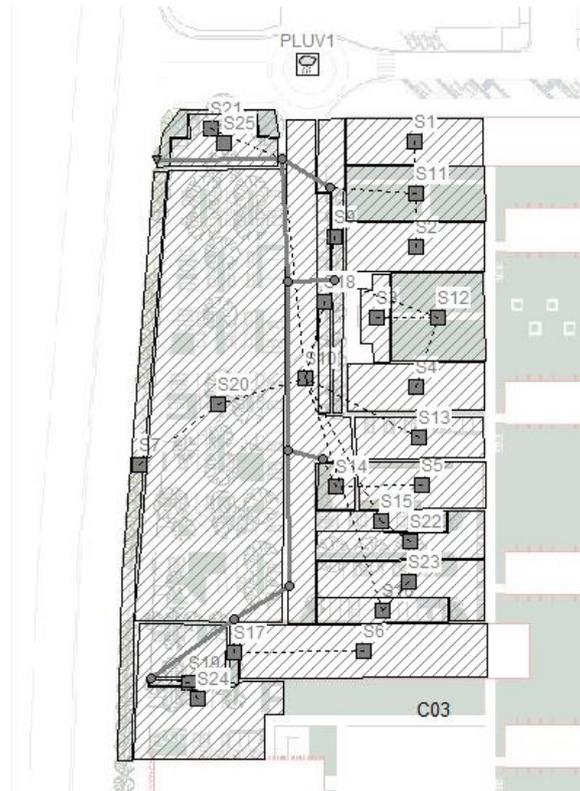
Fonte: Autor (2024)

Figura 23 - Modelagem do C02 no SWMM



Fonte: Autor (2024)

Figura 24 – Modelagem do C03 no SWMM



Fonte: Autor (2024)

Destaca-se aqui algumas características adotadas nas modelagens: para os cenários que houve a necessidade de implantação de tubos coletores de escoamentos, estes foram considerados como tubos de PVC ($n = 0,01$); inclinação mínima de 1%; diâmetros de DN200, DN300 e DN400, para as saídas dos LID's, tubo coletor e ligação ao exutório, respectivamente.

Outro ponto importante que foi adotado para a sub-bacia do estacionamento é que seu índice CN (Curva Número do Método SCN) seria equivalente a 93 para qualquer um dos cenários que tivesse sub-bacias com a característica de pavimento, determinado a partir de uma média ponderada pela área de cada cobertura, contendo área de jardim e cobertura vegetal (CN = 69) e área de pavimento (CN = 98), e solo hidrológico do tipo B (CANHOLI, 2014).

3.7.2 Dados de entrada da simulação

A fim de padronizar as propriedades das sub-bacias que seriam repetidas em todos os cenários, definiu-se, portanto, as características principais de cada tipo de sub-bacia. Tal condicionante garante a simulação maior confiabilidade sobre as análises comparativas a serem definidas de acordo com os dados obtidos da simulação.

Para as sub-bacias que são classificadas como TELHADO, que possuem sua estrutura de telhado de fibrocimento, definiu-se as seguintes características: inclinação de 15%, coeficiente de Manning da área impermeável de 0,011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2000), área 100% impermeável e sem armazenamento na área impermeável. Para o caso da S3, o telhado assume características diferentes devido a seu tipo (laje impermeabilizada com manta) como inclinação de 1%.

Para as sub-bacias que são classificadas como JARDIM definiu-se as seguintes características: inclinação de 0,5%, área impermeável de acordo com a sub-bacia, coeficiente de Manning da área permeável igual 0,15 (grama), coeficiente de Manning da área impermeável igual a 0,012 (calçada em concreto), número CN de 69 (áreas urbanas gramadas) (Canholi, 2014).

Para as sub-bacias que são classificadas como CALÇADA, definiu-se as seguintes características: inclinação de 0,5%, área impermeável de acordo com a sub-bacia, coeficiente de Manning da área permeável igual 0,15 (grama), coeficiente de Manning da área impermeável igual a 0,012 (calçada em concreto), número CN de 96 (ponderação de área permeável e área impermeável) (Canholi, 2014).

Para as sub-bacias que são classificadas como PAVIMENTO, definiram-se as seguintes características: inclinação de 0,5%, área impermeável de acordo com a sub-bacia, coeficiente

de Manning da área permeável igual 0,15 (grama), coeficiente de Manning da área impermeável igual a 0,024 (paralelepípedos), número CN de 93 (ponderação de área permeável e área impermeável) (Canholi, 2014).

Vale salientar que, nas modelagens realizadas, para cada LID implantado foi definida uma nova sub-bacia cuja área será ocupada totalmente pelo dispositivo. Portanto, as características adotadas para a simulação da sub-bacia são definidas de acordo com as propriedades do LID que a compõe.

Um dos dados de extrema importância para a simulação trata-se da largura (*Width*) de escoamento, que define a lâmina de água que escoar de cada sub-bacia. Geralmente o valor adotado trata-se do comprimento perpendicular a direção do escoamento (LENHS, 2010). Tal conceito encontra dificuldades quando as sub-bacias assumem configurações poligonais sem definição, sendo necessário definir um valor adequado de largura que expresse o escoamento da forma mais correta possível. Como solução da problemática, encontra-se a metodologia dos Retângulos Equivalentes.

Villela (1975) define que o Método dos Retângulos Equivalentes foi uma alternativa introduzida na hidrologia com a intenção de definir o escoamento de acordo com as características de forma da bacia. Sendo assim, o método utiliza do perímetro e área da bacia para definir um retângulo equivalente que possa representar a bacia. As Equações 2 e 3 definem, respectivamente, o fator de compacidade da bacia e seu comprimento equivalente.

$$K_C = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq.2})$$

$$l = \frac{K_C \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: P = perímetro da sub-bacia (m); A = área da sub-bacia (m²); K_C = fator de compacidade; l = largura equivalente (m).

Apesar de algumas sub-bacias possuírem formatos retangulares bem definidos, a largura definida para a simulação de todas as sub-bacias passou pelo cálculo da largura equivalente, como demonstrado logo acima. As Tabelas do Apêndice C apresentam os valores de largura para cada sub-bacia de todos os cenários.

Definidas as propriedades das sub-bacias, é necessário definir as considerações de simulação. Para fins desse estudo, o tempo de simulação foi determinado para ser o dobro da maior duração de chuva, a fim de avaliar as condições de escoamento após o fim da

precipitação. Dessa forma, o tempo total de simulação foi de 120 min (2h) e passo de tempo equivalente ao hietograma de projeto, portanto, de 1 min.

Sobre as considerações de infiltração da bacia, a metodologia utilizada foi a *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvida pela U.S. (1982) que utiliza do CN (*Curve Number*) para determinar a infiltração e escoamento de diversos solos. Por fim, a dinâmica utilizada para a análise dos fluxos escoando pela superfície e pelos condutos foi Onda Cinemática. Os dados de fluxo foram definidos para a unidade de L/s de acordo com o Sistema Internacional (SI)

De acordo com a estrutura definida para os dispositivos e as camadas pré-definidas do SWMM (superfície, pavimento, solo, armazenamento e dreno), é necessário identificar a equivalência de camada das regiões definidas no programa. Após a identificação, as propriedades das camadas são adotadas de acordo com o material definido para a estrutura do dispositivo. Cada LID terá sua estrutura vertical definida na modelagem e sua inserção na bacia se dará por meio da atribuição do dispositivo na sub-bacia. Dessa forma, em qualquer sub-bacia e com qualquer área, o LID vai dispor da mesma estrutura vertical com as mesmas propriedades das camadas. As Tabelas 10, 11 e 12 apresentam as definições utilizadas.

Tabela 10 - Parâmetros do pavimento permeável para simulação

Camada	Parâmetros	Unidade	Valor
SUPERFÍCIE	Prof. Armazenamento	mm	0
	Cobertura Vegetal	0-1	0
	Rugosidade	n	0,012
	Superficial	%	0.5
PAVIMENTO	Espessura do Pavimento	mm	80
	Índice de Vazios		0.15
	Superfície Impermeável	0-1	0
	Permeabilidade	mm/h	500
	Fator de Colmatação		0
SOLO	Espessura do Solo	mm	10
	Porosidade	0-1	0,437
	Capacidade de Campo	0-1	0,062
	Ponto de Murcha	0-1	0,024
	Condutividade Hidráulica	mm/h	120
	Gradiente de Condutividade	%	0
	Sucção Capilar	mm	0
ARMAZENAMENTO	Altura	mm	300
	Índice de Vazios	-	0.66
	Taxa de filtração	mm/h	30
	Fator de Colmatação	-	0

Fonte: Autor (2024)

Tabela 11 - Parâmetros do jardim de chuva para simulação

Camada	Parâmetros	Unidade	Valor
SUPERFÍCIE	Prof. Armazenamento	mm	50
	Cobertura Vegetal	0-1	0.1
	Rugosidade	n	0.15
	Declividade Superficial	%	0
SOLO	Espessura do Solo	mm	400
	Porosidade	0-1	0.5
	Capacidade de Campo	0-1	0.2
	Ponto de Murcha	0-1	0.1
	Condutividade Hidráulica	mm/h	110
	Gradiente de Condutividade	%	10
	Sucção Capilar	mm	48
ARMAZENAMENTO	Altura	mm	500
	Índice de Vazios	/	0.67
	Taxa de filtração	mm/h	30
	Fator de Colmatação	/	0
DRENO	Coefficiente de Fluxo	-	2
	Expoente de Fluxo	-	0.5
	Offset	mm	500

Fonte: Autor (2024)

Tabela 12 - Parâmetros da trincheira de infiltração para simulação

Camada	Parâmetros	Unidade	Valor
SUPERFÍCIE	Prof. Armazenamento	mm	0
	Cobertura Vegetal	0-1	0
	Rugosidade	n	0.03
	Declividade Suérficial	%	0
ARMAZENAMENTO	Altura	mm	800
	Índice de Vazios		0.66
	Taxa de filtração	mm/h	30
	Fator de Colmatação		0
DRENO	Coefficiente de Fluxo	-	2
	Expoente de Fluxo	-	0.5
	Offset	mm	700

Fonte: Autor (2024)

4 RESULTADOS

4.1 CHUVAS DE PROJETO

As chuvas de projeto foram elaboradas para os TR's (5, 10 e 25 anos) e durações (15, 30 e 60min) indicadas, sendo usadas como dados de entrada para a simulação SWMM. Trata-se do volume total precipitado na área da bacia. Como resultado, se obtêm precipitações totais que variam entre 23,16mm e 70,74mm, de acordo com a Tabela 13.

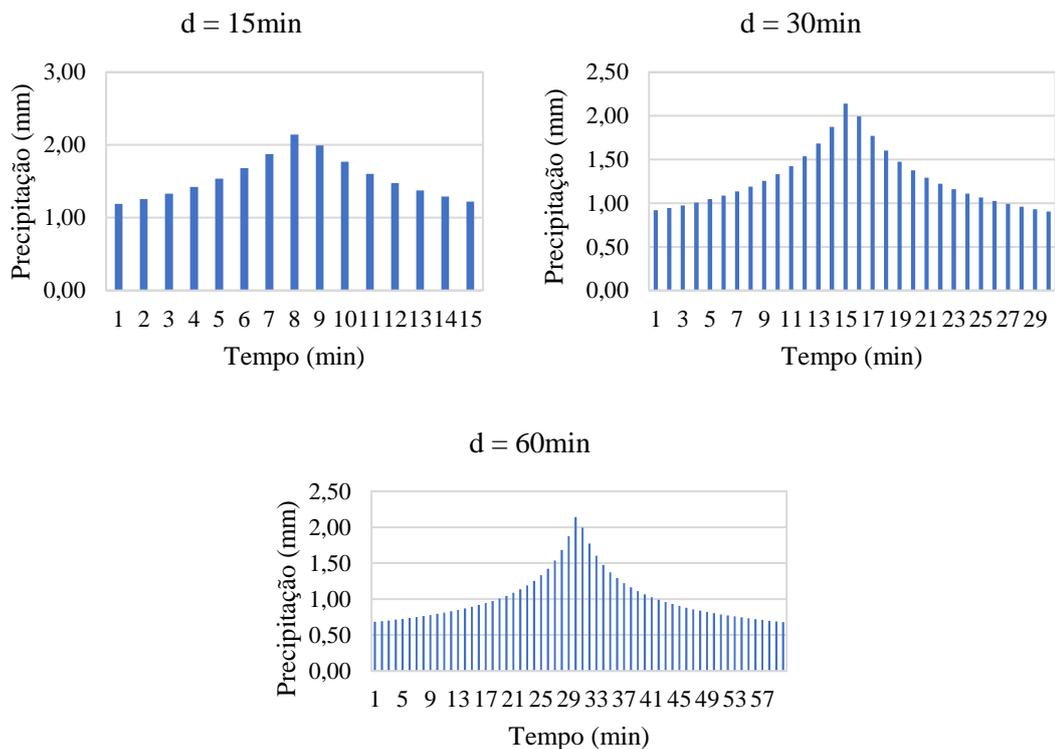
Tabela 13 – Precipitação total das chuvas de projeto, em milímetros (mm)

Duração (min)	TR 5	TR 10	TR 25
15	23,16	24,60	26,64
30	38,42	40,81	44,19
60	61,50	65,32	70,74

Fonte: Autor (2024)

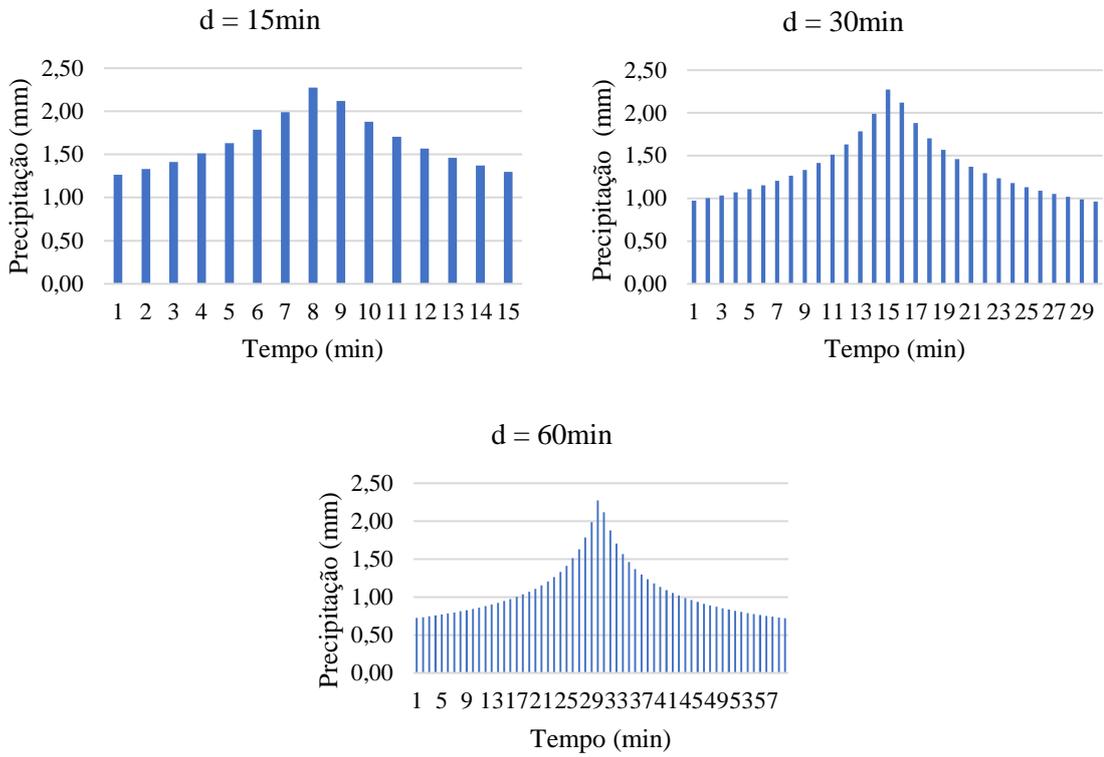
Percebe-se que a quantidade precipitada cresce com o aumento da duração total da chuva e seu tempo de retorno, como esperado. As Figuras 25, 26 e 27 apresentam os hietogramas das chuvas de projeto para cada TR, que foram elaborados por meio do Método dos Blocos Alternados. Os valores de precipitação ao longo do tempo não ultrapassam o valor de 2,50mm.

Figura 25 - Hietograma de projeto TR = 5 anos



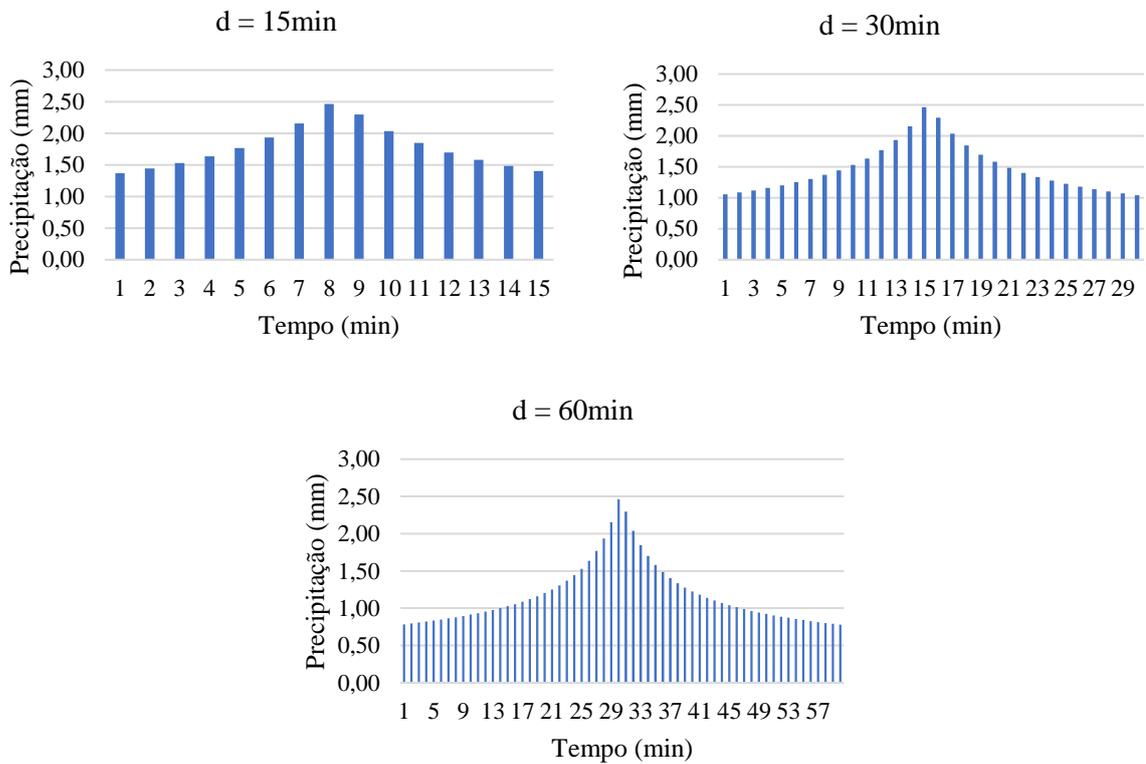
Fonte: Autor (2024)

Figura 26 - Hietogramas de projeto TR = 10 anos



Fonte: Autor (2024)

Figura 27 - Hietogramas de projeto para TR = 25 anos



Fonte: Autor (2024)

As chuvas de projeto definidas servirão para validar o desempenho dos dispositivos de controle do manejo pluvial sob diferentes condições de intensidade e volume precipitado. Além disso, a adoção do TR = 25 anos para o estudo teve como objetivo avaliar o desempenho hidrológico dos projetos sob condições de chuvas mais severas, associadas a maior risco de ocorrência de sobrecarga e inundações no sistema de drenagem.

4.2 CUSTOS

As Tabelas 14, 15 e 16 apresentam o resultado das composições de serviço necessárias para a execução de cada um dos LID's analisados. Os valores encontrados nas bases orçamentárias foram adaptados de acordo com as espessuras da estrutura dos dispositivos, a fim de garantir um valor monetário por área de aplicação.

Tabela 14 - Orçamento da trincheira de infiltração

TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
TIPO	DESCRIÇÃO	UNID.	BASE	PREÇO (R\$)	LOCAL
SERVIÇO	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF_02/2021 (P/ E = 80CM)	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 60.98	PB
INSUMO	AREIA MÉDIA COM TRANSPORTE PARA BASE (E = 2CM)	M2	LOCAL - MAI/23	R\$ 2.00	PB
SERVIÇO	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 10 KN/M (RT-10), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 10.16	PB
SERVIÇO	ENCHIMENTO DE BRITA PARA DRENO, LANÇAMENTO MANUAL. AF_07/2021	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 103.02	PB
SERVIÇO	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 65 MM, (2 1/2") PARA DRENAGEM - EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 - EM)	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 17.43	PB

Fonte: Autor (2024)

Tabela 15 - Orçamento do pavimento permeável

PAVIMENTO PERMEÁVEL					
TIPO	DESCRIÇÃO	UNID.	BASE	PREÇO (R\$)	LOCAL
SERVIÇO	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF_02/2021 (P/ E = 50CM)	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 38.12	PB
SERVIÇO	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.3), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE *10 CM*. AF_07/2019	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 47.29	PB
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	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 3.00	PB
SERVIÇO	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO DRENANTE EM PLACAS DE 40X40CM, ESPESSURA 6CM - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	M2	SINAPI - FEV/2024	R\$ 76.95	PB
SERVIÇO	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 10 KN/M (RT-10), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2	ADAPTADO SINAPI - MAR/24	R\$ 10.16	PB

Fonte: Autor (2024)

Tabela 16 – Orçamento do jardim de chuva

JARDIM DE CHUVA					
TIPO	DESCRIÇÃO	UNID.	BASE	PREÇO (R\$)	LOCAL
SERVIÇO	ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M. AF_02/2021	M2	ADAPTADO SINAPI – MAR/24	R\$ 76.23	PB
SERVIÇO	PLANTIO DE GRAMA E MUDAS COM TERRA VEGETAL.	M2	Adaptado SINAPI – SET/23	R\$ 36.91	PB
SERVIÇO	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 65 MM, (2 ½”) PARA DRENAGEM – EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 – EM)	M	ADAPTADO SINAPI – MAR/24	R\$ 17.43	PB
SERVIÇO	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.3), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE 10 CM. AF_07/2019	M2	ADAPTADO SINAPI – MAR/24	R\$ 78.82	PB
SERVIÇO	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 10 KN/M (RT-10), INSTALADO EM DRENO – FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2	ADAPTADO SINAPI – MAR/24	R\$ 10.16	PB

Fonte: Autor (2024)

Os orçamentos apresentados apontam para os valores totais de R\$193,60/m² para a trincheira de infiltração, R\$175,52/m² para o pavimento permeável e R\$219,55/m² para os jardins de chuva. Com a relação definida pela área de cada dispositivo, o custo total é calculado

pela multiplicação da área implantada. As composições que formam o orçamento apresentados estarão dispostas no Apêndice A.

As quantidades de áreas de cada LID em cada cenário estão descritas na Tabela 17, bem como o custo total por cenário. Os valores de custo de implantação vão ser utilizados para determinar um melhor custo-benefício das propostas.

Tabela 17 – Custo total de implantação dos LID's

Cenário	LID	Área (m ²)	Valor Unitário	Total Parcial (R\$)	Total (R\$)
C01	PP	1125,39	R\$ 175,52	R\$ 197.533,48	R\$ 356.919,41
	TI	44,63	R\$ 193,60	R\$ 8.640,61	
	JC	686,62	R\$ 219,55	R\$ 150.745,33	
C02	PP	1498,14	R\$ 175,52	R\$ 262.960,00	R\$ 619.542,95
	TI	153,10	R\$ 193,60	R\$ 29.640,80	
	JC	1489,16	R\$ 219,55	R\$ 326.942,14	
C03	PP	5193,95	R\$ 175,52	R\$ 911.662,87	R\$ 1.225.842,60
	TI	46,20	R\$ 193,60	R\$ 8.944,37	
	JC	1390,29	R\$ 219,55	R\$ 305.235,37	

Fonte: Autor (2024)

4.3 MODELAGEM DOS CENÁRIOS NO SWMM

Para avaliar o desempenho hidrológico dos dispositivos na sub-bacia definida para o estacionamento do CT, a simulação é iniciada com o C00 (sem intervenção com LID), obtendo-se os dados que serviram como base para a análise. As Tabelas 18 e 19 apresenta os valores de picos de vazão do sistema e o volume total escoado, respectivamente.

Tabela 18 - Dados de vazão máxima do cenário referência (C00)

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	159,19	202,15	237,3	173,08	217,86	255,05	193,16	240,81	280,9

Fonte: Autor (2024)

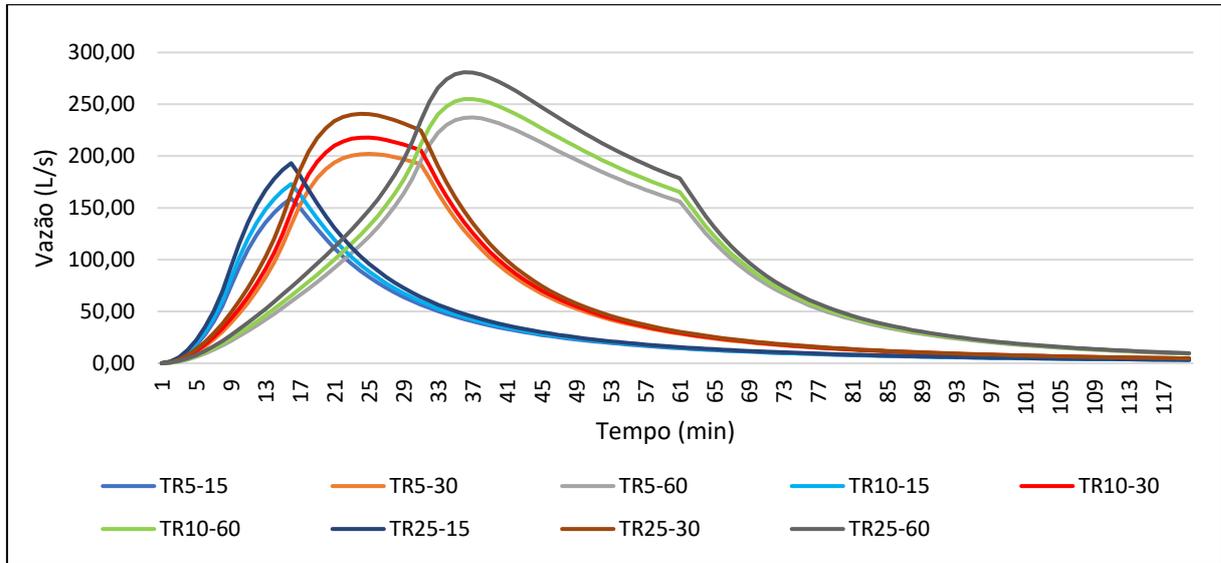
Tabela 19 - Dados de volume total do C00

VOLUME (m ³)									
	TR5			TR10			TR25		
	15min	30min	60min	15min	30min	60min	15min	30min	60min
C00	229.87	392.44	638.29	245.24	418.33	680.29	267.20	455.52	740.55

Fonte: Autor (2024)

Além dos dados de vazão máxima e volumes disponibilizados pelo SWMM, é possível obter os hidrogramas de escoamento superficial, mostrados na Gráfico 2.

Gráfico 2 - Hidrogramas para o C00



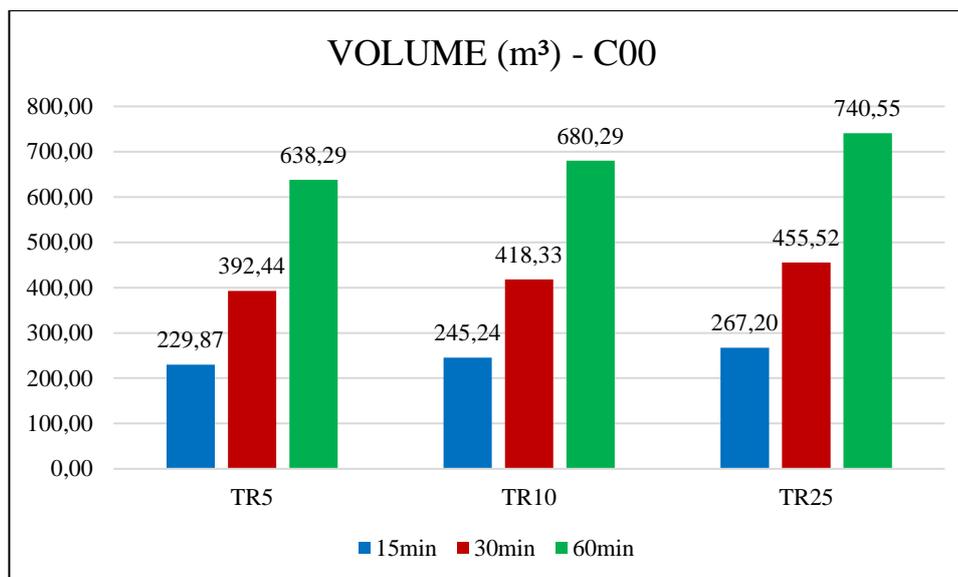
Fonte: Autor (2024)

Ao analisar os gráficos, identifica-se o comportamento esperado de acordo com a variação das durações e tempo de retorno para o escoamento da bacia. Para a mesma duração de precipitação, os valores de vazão são superados a cada TR devido a maior intensidade de chuva. Para a duração de 15 minutos, os valores estimados de vazão de pico variam de 159,19 a 193,16 L/s (21,34%); para duração de 30 minutos, a variação é entre 202,15 e 240,81L/s (19,12%); para duração de 60 minutos, a variação é de 237,30 a 280,90 L/s (18,37%).

Além disso, os picos de vazão para a $d = 15\text{min}$ acontecem após 16 e 17 minutos de início da precipitação. Para $d = 30\text{min}$, os picos acontecem no tempo de 25 e 24 minutos, e para $d = 60\text{min}$, os picos de vazão ocorrem nos minutos 36 e 37 após o início da chuva. Tal comportamento indica um tempo de concentração baixo da bacia, atingindo seus maiores fluxos antes mesmo da precipitação finalizar, evidenciando a intensa urbanização do espaço que facilita o escoamento.

Quanto ao volume escoado, o Gráfico 3 apresenta os volumes de cada duração de chuva em seu respectivo tempo de retorno. O volume representa a quantidade total de água que escoou até o exutório da bacia no período de simulação definido.

Gráfico 3 - Volume escoado no C00



Fonte: Autor (2024)

Para o C00, o volume escoado varia expressivamente com a mudança da duração de chuva para um mesmo TR, expressando a tendência de quanto menor a duração da chuva, maior a intensidade. Para o TR = 5 anos, o volume saiu de 229,87m³ na duração de 15min, para 638,29m³ na duração de 60min (aumento de 177,68%); para o TR = 10 anos, o volume variou de 245,25m³ na duração de 15min, até 680,29m³ (aumento de 117,40%); para TR = 25 anos, o volume aumentou de 267,20m³ na duração de 15min, para 740,55m³ na duração de 60min (aumento de 117,15%). Destaca-se que o volume citado se refere apenas ao volume escoado na bacia, diferente do volume precipitado. O relatório da simulação indica que existem valores de precipitação que são infiltrados no solo devido a presença de área permeáveis na bacia (jardins em sua totalidade).

Tais resultados estão de acordo com o relato de Guerra (2023) para o cenário de urbanização atual do Centro de Tecnologia da UFPB, onde chuvas de duração de 30, 60, 90 e 120 minutos, com tempos de retornos iguais a 5, 10 e 25 anos obtiveram vazões que variaram entre 237 e 332 L/s, e volumes que variaram entre 263,45 e 658,32 m³. Dessa forma, a proposta de readequação do estacionamento do CT é uma área de bastante contribuição para o sistema de drenagem urbana devido a elevada impermeabilização do solo.

Para o cenário de referência, conclui-se que a duração da precipitação influencia principalmente no pico de vazão, enquanto o TR influencia diretamente no valor de vazão

escoado. Para o volume, o TR e a duração influenciam diretamente na quantidade de água escoada.

4.3.1 Análise da vazão

Os cenários de implantações de LID's (C01, C02 e C03) foram simulados e os dados de vazão resultantes do SWMM foram extraídos por meio de tabelas que indicam os parâmetros da bacia como precipitação, *outflow* (descarga) e *inflow*. A Tabela 20 apresenta os valores máximos de vazão que a bacia produziu durante as simulações para cada chuva de projeto nos cenários.

Tabela 20 – Dados dos picos de vazão nos cenários

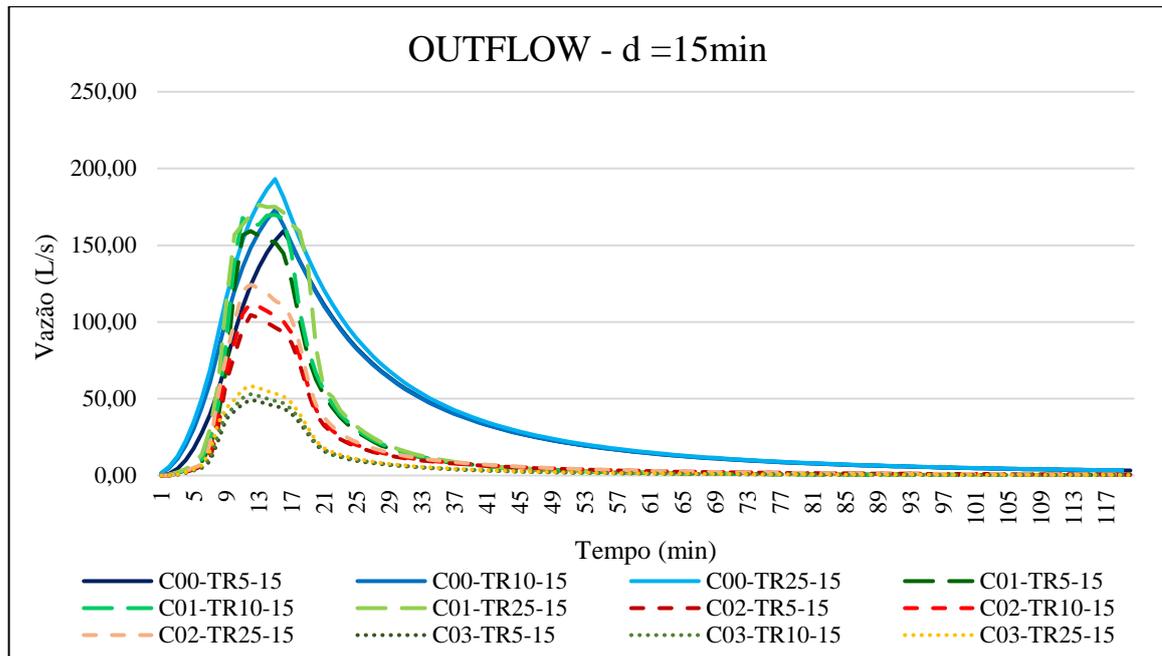
PICOS DE VAZÃO (L/s)									
	TR5			TR10			TR25		
	<u>15min</u>	<u>30min</u>	<u>60min</u>	<u>15min</u>	<u>30min</u>	<u>60min</u>	<u>15min</u>	<u>30min</u>	<u>60min</u>
C00	159.19	202.15	237.3	173.08	217.86	255.05	193.16	240.81	280.9
C01	159.27	178.57	195.54	169.74	188.76	206.03	176.36	201.23	220.91
C02	104.55	118.01	133.25	112.48	126.61	147.21	124.11	139.2	171.81
C03	49.32	55.78	60.54	52.92	60.1	64.94	58.33	66.04	76.43

Fonte: Autor (2024)

Em primeira análise, observou-se que um dos cenários de avaliação apresentou uma descarga de vazão maior do que o C00. A chuva TR5-15 resultou uma vazão de 159,27 L/s, valor praticamente igual ao valor de referência que é de 159,19L/s para a mesma chuva. Tal resultado pode indicar uma errônea distribuição dos dispositivos na bacia. Vale salientar que a área de LID's para o C01 equivale a 13,55 %, podendo não ser suficiente para a área drenada proposta, ocasionando um trabalho sobrecarregado dos dispositivos propostos.

A fim de avaliar graficamente as contribuições de vazão ao longo do tempo, determinou-se os hidrogramas para cada duração de chuva, uma vez que o tempo de retorno é o principal parâmetro para determinação do escoamento da bacia. Os Gráficos 4, 5 e 6 apresentam os hidrogramas citados. Nos gráficos, o C00 aparece em linha contínua, enquanto as propostas de implantação em linhas tracejadas e identificadas de acordo com a legenda.

Gráfico 4 - Hidrogramas de vazão para d = 15min

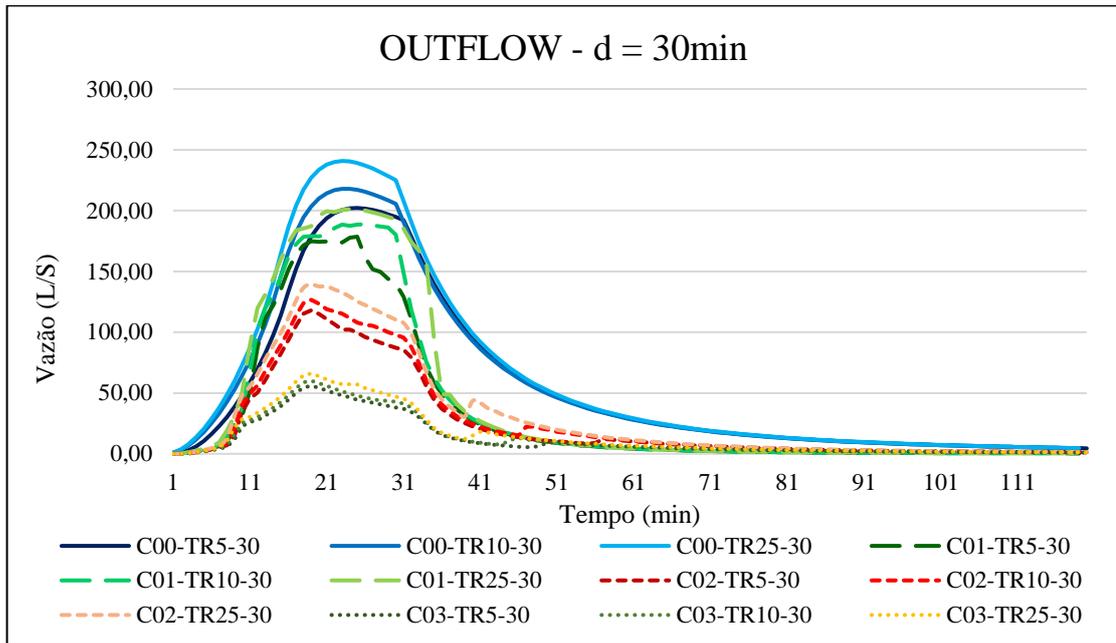


Fonte: Autor (2024)

Avaliando o gráfico 4, é possível determinar que o C02 e C03 obtiveram resultados satisfatórios de controle da vazão da bacia, enquanto o C01 não apresentou redução significativa de vazão em relação ao C00, quando comparados aos C02 e C03. Apesar disso, as curvas de todos os cenários não detêm picos de vazão acentuados, confirmando a capacidade dos dispositivos LID's de amortecimento da curva de vazão da bacia.

Apesar das medidas de controle na fonte buscarem a redução e o atraso do pico de vazão, as propostas em estudo não foram efetivas em retardar a vazão máxima, apenas em diminuir seu valor absoluto. Tal ocorrência deve-se ao fato de que os dispositivos utilizados não possuem maior capacidade de retenção da água pluvial, ficando responsável apenas por direcionar o fluxo já existente para infiltração do solo, sem controlar sua saída de água. O retardo poderia ser ocasionado com o uso de reservatórios, cisternas ou poços que fazem uso do mecanismo de retenção. A ocorrência dos picos de vazões no mesmo período confirma tal análise uma vez os tempos de maior vazão de pico ocorreram próximos ao valor de tempo do C00.

Gráfico 5 - Hidrogramas de vazão para d = 30min



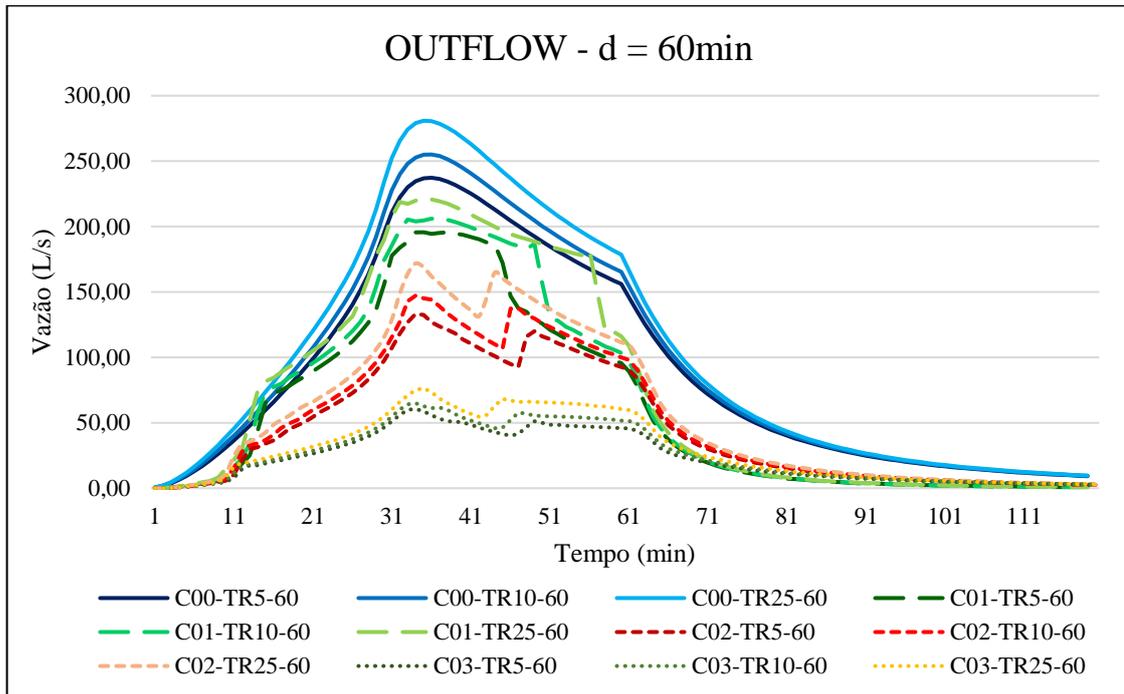
Fonte: Autor (2024)

Para a duração de 30 minutos, o escoamento se comportou como a chuva de 15 min, onde o C01 não obteve resultado significativo de controle da vazão enquanto o C02 e o C03 apresentaram resultados satisfatórios. Além disso, o controle do pico de vazão acentuado foi mantido pelos cenários de controle.

É possível destacar alguns picos vazão nos cenários apesar da redução de vazão. Tal fato pode indicar uma sobreposição de hidrogramas de contribuição de bacias diferentes que obtiveram picos em um mesmo período, apesar do controle estabelecido.

Outro ponto de análise pode ser definido pelo tempo de ocorrência da vazão de pico que, diferente da chuva de 15 min, acontece próximo a tempo médio da chuva, evidenciando um maior fluxo logo após a intensidade máxima de precipitação.

Gráfico 6 - Hidrogramas de vazão para d = 60min



Fonte: Autor (2024)

Para a duração de chuva de 60 min, os três cenários apresentam reduções das vazões em relação ao C00, destacando a eficiência dos dispositivos para durações de chuvas mais extensas. Tal fato pode ser justificado pela relação de intensidade média e duração de chuva, onde precipitações que duram mais tempo, tem sua intensidade média reduzida pela distribuição da chuva ao longo do tempo.

A fim de definir quantitativamente as análises, a Tabela 25 apresenta os valores absolutos de redução de vazão de cada chuva de projeto para cada cenário, calculados a partir da subtração entre o a vazão de saída do C00 e a vazão de saída de cada cenário.

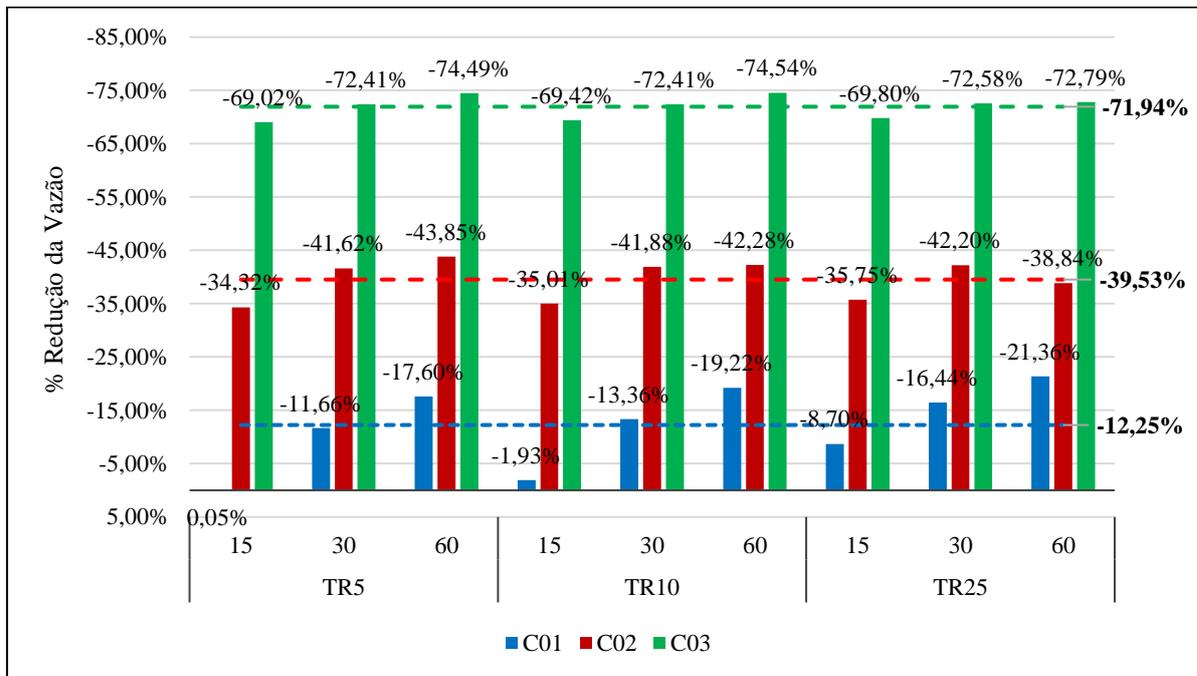
Tabela 21 – Dados de redução da vazão nos cenários

REDUÇÃO DA VAZÃO (L/s)									
	TR5			TR10			TR25		
	15	30	60	15	30	60	15	30	60
C00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C01	0.08	-23.58	-41.76	-3.34	-29.10	-49.02	-16.80	-39.58	-59.99
C02	-54.64	-84.14	-104.05	-60.60	-91.25	-107.84	-69.05	-101.61	-109.09
C03	-109.87	-146.37	-176.76	-120.16	-157.76	-190.11	-134.83	-174.77	-204.47

Como diagnosticado anteriormente, a chuva TR5-15 para o C01 gerou um aumento de vazão em 0,08 L/s. Apesar disso, trata-se do único evento onde a vazão não foi reduzida. No restante, os valores de redução variaram, no geral, entre um valor mínimo de 3,34 L/s (1,93%) e um valor máximo de 204,47 L/s (72,79%). Para cada cenário, desconsiderando a chuva que

gerou acréscimo, os valores mínimos e máximos de vazão reduzida foram, respectivamente: C01 com 3,34 L/s (1,93%) e 59,99 L/s (21,36%); C02 com 54,64 L/s (34,32%) e 109,09 L/s (38,84%); C03 com 109,87 L/s (69,02%) e 204,47 L/s (72,79%). O Gráfico 7 apresenta a porcentagem total de todas as reduções de vazão dos cenários.

Gráfico 7 - Total de reduções das vazões de pico para os cenários com LID's



Fonte: Autor (2024)

Com a determinação dos percentuais de redução das vazões, fica claro que cada cenário tem uma efetividade em relação ao controle do fluxo. Tal condição pode estar atrelada a disposição de LID's no espaço da bacia, onde um maior percentual de área de aplicação dos dispositivos gera uma maior eficiência na redução de vazão. Para o estudo em questão, no C01, onde foi aplicado cerca de 13,55 % de área, obteve-se uma redução de vazão média de 12,25 %; no C02, onde foi aplicada uma área de 22,90 %, obteve-se uma redução média de 39,53 %; no C03, uma área de 48,36 % ocasionou uma redução média de 71,94 %.

Outro ponto a se destacar é que o aumento da duração da chuva ocasiona uma maior redução da vazão. Apesar dos percentuais estarem bastante próximos em seu valor absoluto, existe um acréscimo de redução da vazão com o aumento da duração de chuva, indicando uma relação direta com a duração de chuva e a vazão que escoar da bacia.

4.3.2 Análise do volume

As simulações dos cenários (C01, C02 e C03) foram realizadas e os dados sobre volume escoado na bacia foram extraídos do relatório geral de status da simulação. A Tabela 26 apresenta os dados de volume obtidos.

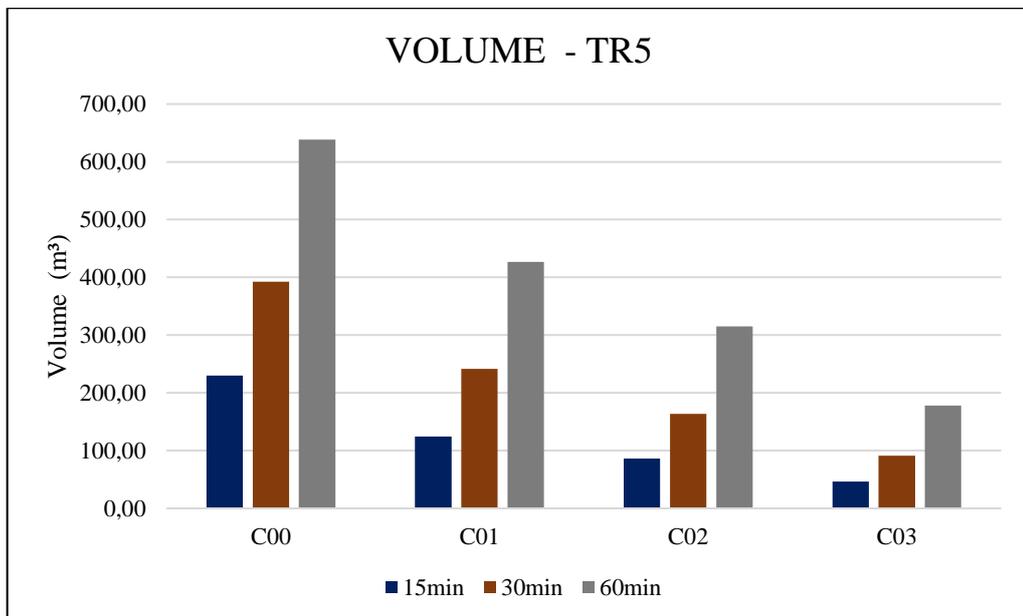
Tabela 22 – Dados de volume escoados no cenário

VOLUME (m³)									
	TR5			TR10			TR25		
	15min	30min	60min	15min	30min	60min	15min	30min	60min
C00	229.87	392.44	638.29	245.24	418.33	680.29	267.20	455.52	740.55
C01	124.634	241.809	426.771	135.164	266.269	466.807	151.603	301.740	526.286
C02	86.489	163.559	315.177	93.235	183.057	347.096	103.176	211.521	394.276
C03	46.659	91.371	177.942	50.155	100.338	196.850	55.146	113.871	225.479

Fonte: Autor (2024)

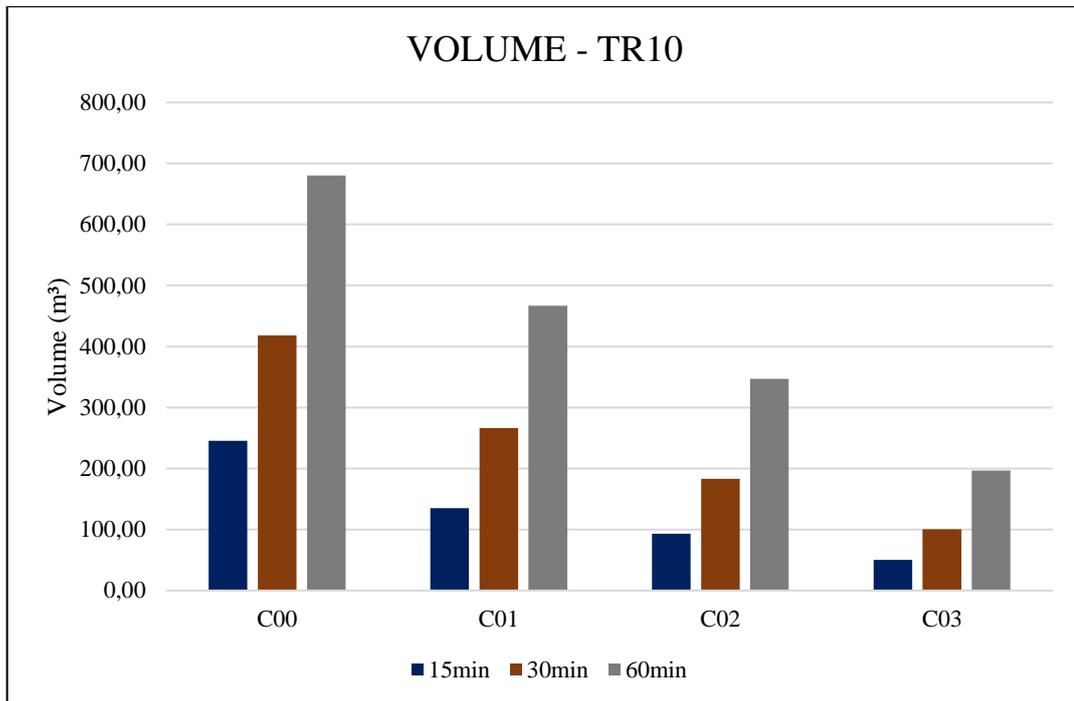
Os valores determinados dizem respeito a lâmina de água por toda a área da bacia, sendo assim, um parâmetro que expressa a capacidade de resposta da bacia aos eventos de diversas durações. Dessa forma, a análise gráfica apresentada a seguir será discretizada de acordo com cada TR definido na chuva de projeto. Os Gráficos 8, 9 e 10 apresentam os valores de volume da simulação.

Gráfico 8 - Volumes escoados para TR = 5 anos



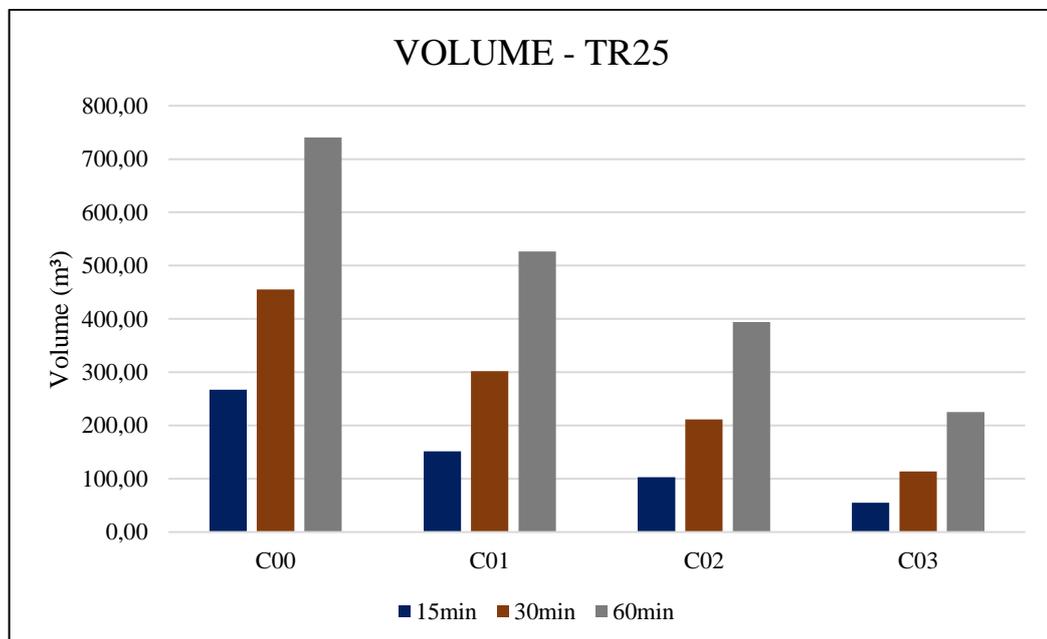
Fonte: Autor (2024)

Gráfico 9 - Volumes escoados para TR = 10 anos



Fonte: Autor (2024)

Gráfico 10 - Volumes escoados para TR = 25 anos



Fonte: Autor (2024)

De acordo com os gráficos de volume em cada TR, percebe-se a efetividade da redução do volume em cada um dos cenários propostos em todos os TR simulados. Tal ponto evidencia a capacidade dos dispositivos LID's em direcionar parte da precipitação da bacia para outros

destinos que não seja o fluxo a jusante, fazendo o uso de infiltração como o caso em estudo. Utilizando da drenagem sustentável, também é possível o armazenamento e disposição final com o uso de outras soluções de controle a fonte.

Apesar da redução do volume, o comportamento de maiores volumes escoados para maiores durações ainda se mantêm. Maiores durações de chuva refletem em maior volume de água precipitando na bacia, ocasionando sobrecargas nos dispositivos. Dessa forma, vários fatores podem impactar a eficiência do LID em controlar a quantidade de água uma vez que a própria limitação de infiltração do solo saturado é um possível limitador da transformação de volume de chuva em volume infiltrado.

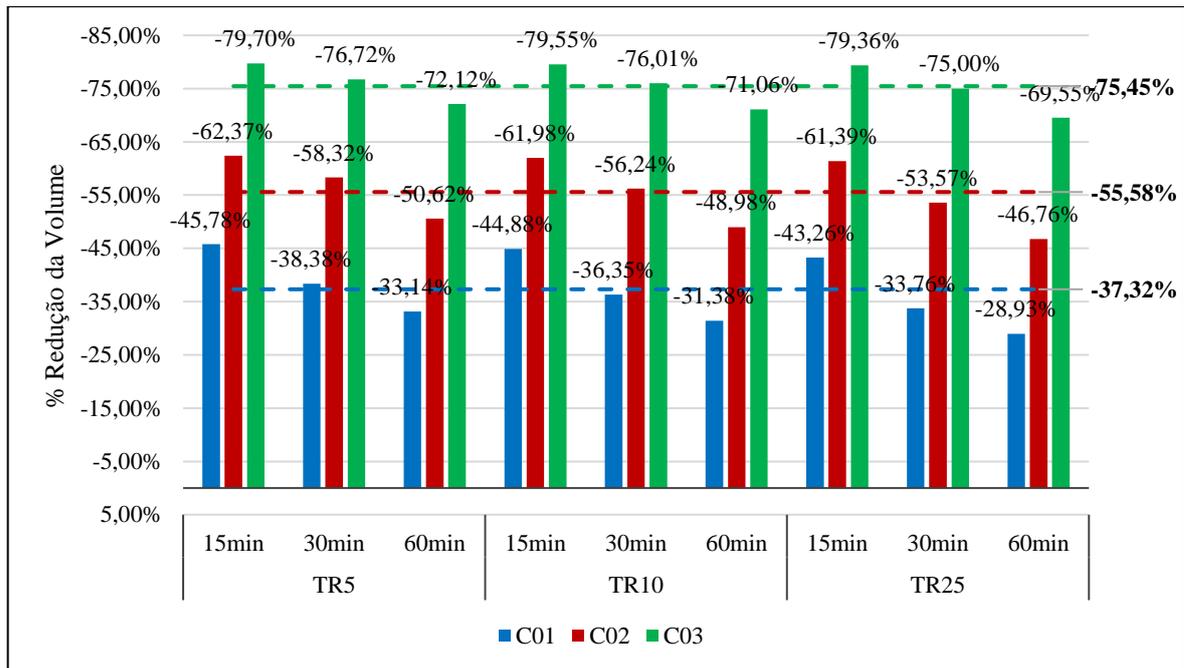
A fim de quantificar as reduções de volume, a Tabela 23 apresenta os valores relativos de redução do volume quando comparados com o C00. Sua determinação se deu por meio da subtração do volume do cenário referência com o volume de cada cenário simulado. Além disso, elaborou-se um gráfico com a redução percentual de volume em relação ao C00, demonstrado no Gráfico 11

Tabela 23 – Dados de redução do volume nos cenários

REDUÇÃO DO VOLUME (m³)									
	TR5			TR10			TR25		
	15min	30min	60min	15min	30min	60min	15min	30min	60min
C00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C01	-105,23	-150,63	-211,52	-110,07	-152,06	-213,48	-115,60	-153,78	-214,26
C02	-143,38	-228,88	-323,12	-152,00	-235,27	-333,19	-164,03	-244,00	-346,27
C03	-183,21	-301,07	-460,35	-195,08	-317,99	-483,44	-212,06	-341,65	-515,07

Fonte: Autor (2024)

Gráfico 11 - Percentual de redução de volume nos cenários simulados



Fonte: Autor (2024)

O gráfico acima apresenta um comportamento contrário ao que acontece com as vazões ao longo das chuvas de projeto. Para cada aumento de duração de chuva, os cenários perdem a capacidade de controlar o volume escoado na bacia. Tal fato pode ter motivação em vários fatores como limitação da infiltração do solo saturado de água ou dispositivos com pouco espaço de armazenamento. Além disso, o índice de redução não alterou significativamente com intensidade de chuva, uma vez que para cada TR, as porcentagens não variaram significativamente para determinar uma relação entre a capacidade de controle do volume com o TR da chuva de projeto.

Apesar dos pontos citados, destaca-se também a capacidade que cada cenário tem em reduzir o volume que se precipita na bacia. Assim como esclarecido na vazão, as melhorias de controle apontadas pelos índices reforçam a relação entre a área de LID's implantadas na área total da bacia. Para os índices de controle do volume, têm-se que: C01 com uma área total de 13,54% conseguiu controlar o volume médio em 37,32%; C02 com uma área total de 22,90% conseguiu controlar um volume médio de 55,58%; C03 com uma área total de 48,36% conseguiu controlar um volume médio de 75,45%.

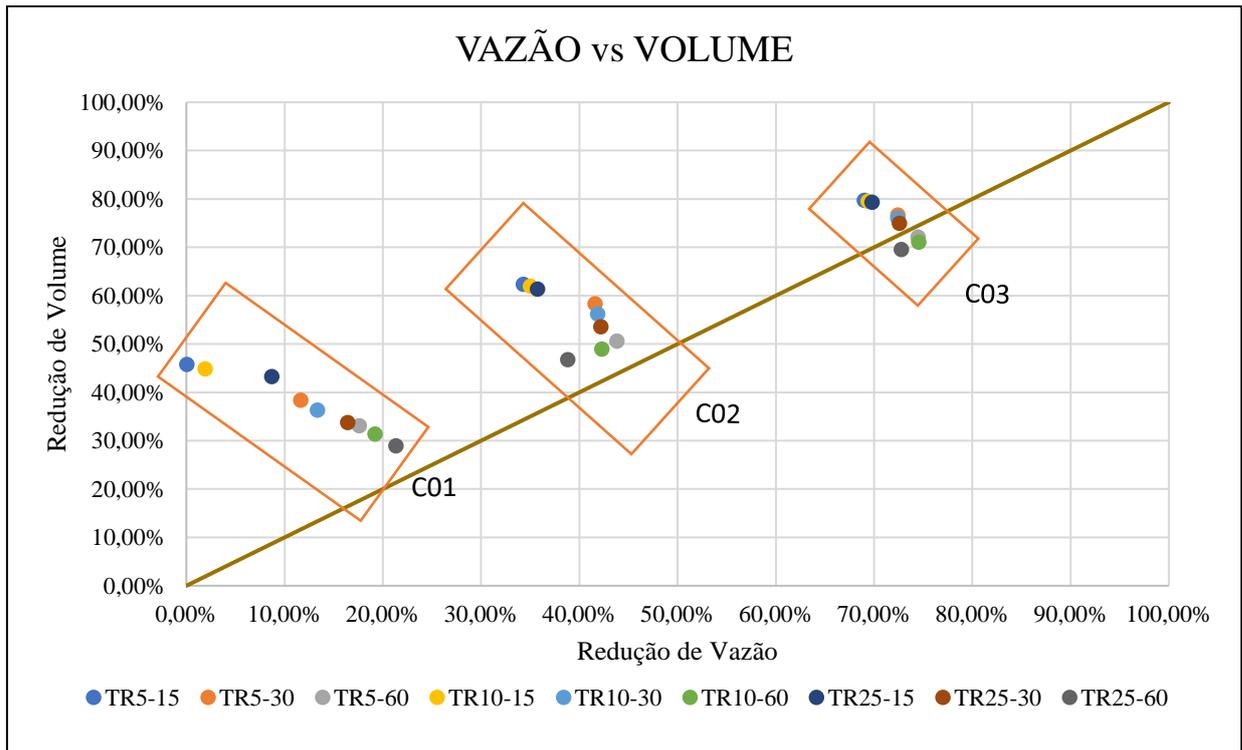
4.4 RELAÇÃO VAZÃO x VOLUME x CUSTOS

Apesar das determinações de eficiência dos dispositivos, os custos de implantação devem ser definidos a fim de garantir viabilidade técnica e econômica das práticas de drenagem

urbana. Para isso, deve-se determinar um parâmetro para avaliação total do projeto, que leve em consideração o custo-benefício.

Para entender as características do projeto proposto, avaliou-se, portanto, a relação entre a redução da vazão versus a redução do volume. O Gráfico 12 apresenta o resultado dessa relação.

Gráfico 12 - Relação de Vazão e Volume em cenários de uso de LID's



Fonte: Autor (2024)

O gráfico aponta que, no estudo em questão, a eficácia dos dispositivos não pode ser caracterizada como uma relação linear entre controle de volume e controle de vazão. Isso possivelmente é explicado pelas condições da bacia e do tratamento dos dispositivos para atingir algum objetivo específico de controle de vazão ou de volume.

Outra tendência que se percebe no Gráfico 12 diz respeito a relação direta dentre cada controle. A depender dos espaços LID's, existe uma maior efetividade em controlar o volume do que a vazão (pontos do C01). Pode-se justificar esse efeito na condição de que a área que drena para o dispositivo atinge a capacidade máxima de controle de forma rápida, escoando o restante do fluxo que chega até ele.

Para validar os custos de implantação, foi gerado o índice de custo por vazão (R\$/L/s) e por volume (R\$/m³), onde será possível determinar o investimento por uma razão comparativa. Os Gráficos 13 e 14 apresentam os índices. Para melhor visualização dos dados,

o índice da chuva TR5-15 que não gerou redução foi retirado, bem como o da chuva TR10-15 que distanciou bastante dos demais índices, dificultando a visualização e análise.

A partir do gráfico, é possível prever e analisar que os pontos próximos a reta de coeficiente angular = 1 apresentam reduções de volume e vazão semelhantes e próximos. De forma análoga, pontos que estão distante da curva apresentam discrepância entre redução de volume e vazão. Tal fato pode indicar que os projetos de manejo pluvial podem atuar de forma mais assertiva quando se entende o principal elemento a ser controlado.

Gráfico 13 - Índices de custo por vazão reduzida

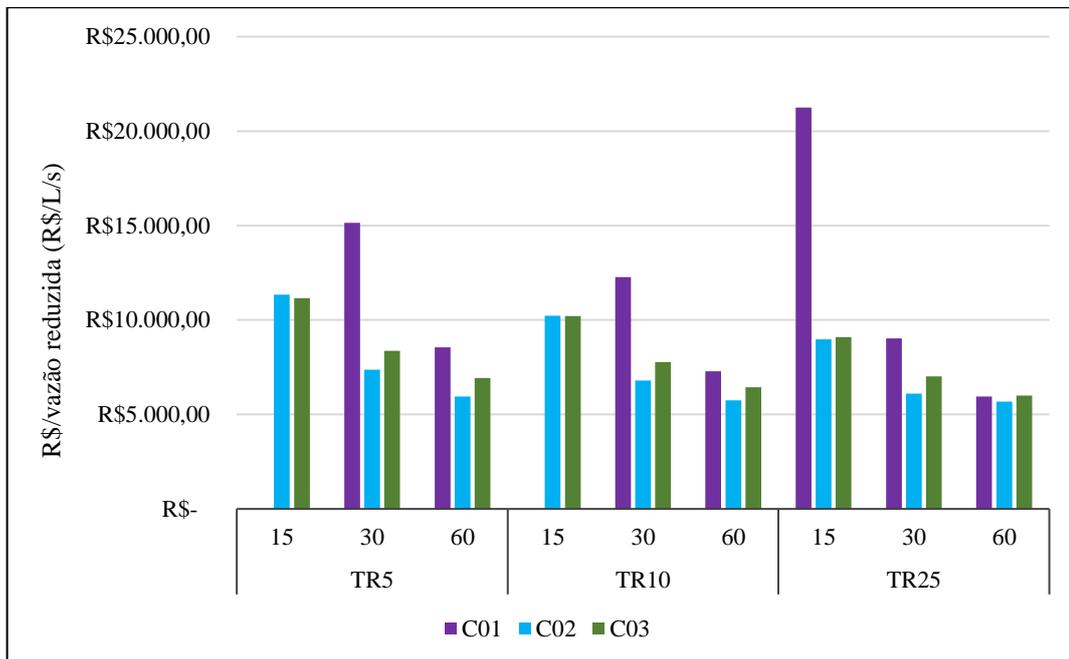
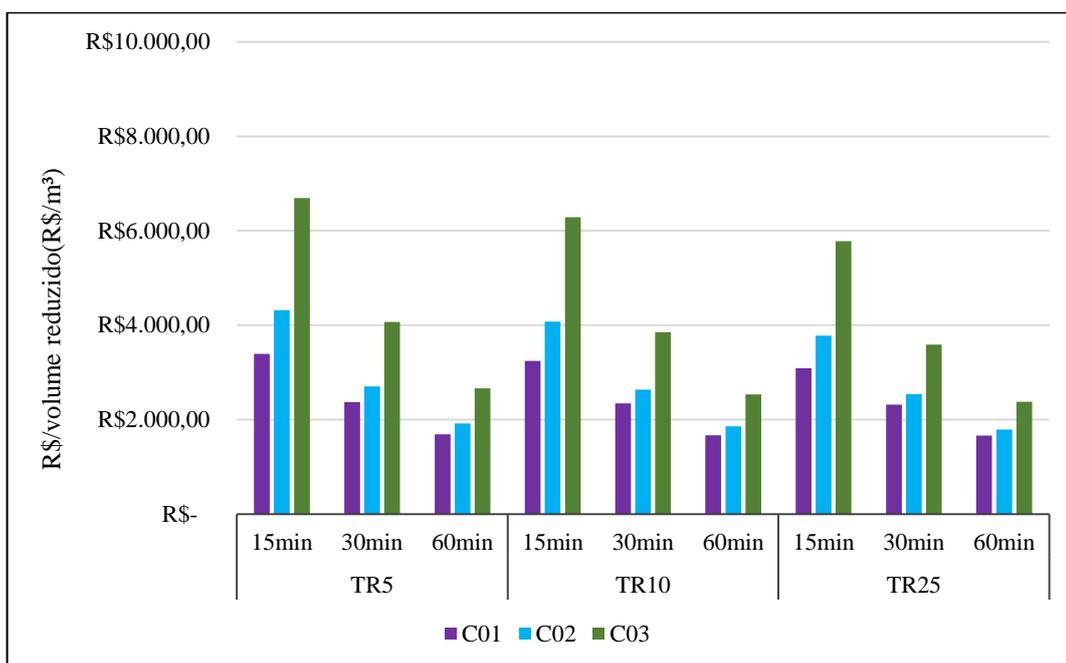


Gráfico 14 - Índices de custo por volume reduzido



Fonte: Autor (2024)

O primeiro ponto a se destacar trata-se de como o C03 se comporta em relação ao seu investimento. O alto investimento na implantação tem um retorno expressivo de controle de vazão, principalmente para as chuvas de maiores duração. Porém, ao avaliar o índice de custo/m³ reduzido, tal valor se aproxima da mesma capacidade de investimento de redução dos cenários C01 e C02 para a chuva TR25-60. Nas demais, o índice do C03 ainda se torna maior quando comparado com os demais cenários. Apesar de efetivo na redução de vazão e de volume, o investimento de maior porte pode não garantir uma maior economicidade de investimento.

Da mesma é possível identificar que o investimento por volume escoado apresentou uma tendência caótica, sem nenhum padrão de controle. Já na vazão, os valores investidos pela eficiência foram superados a cada aumento de duração da chuva, resultando em considerações sobre a necessidade de definir metodologias que auxiliem a definição das condições ótimas de projeto.

Como esperado após avaliar a relação de vazão versus custos, para o C01 e C02 existe uma discrepância do índice de custo/vazão e custo/volume, ocasionando diferenças de investimento que chegam à faixa dos R\$ 5.000,00.

4.5 PROPOSTA DE PROJETO DOS DISPOSITIVOS LID's

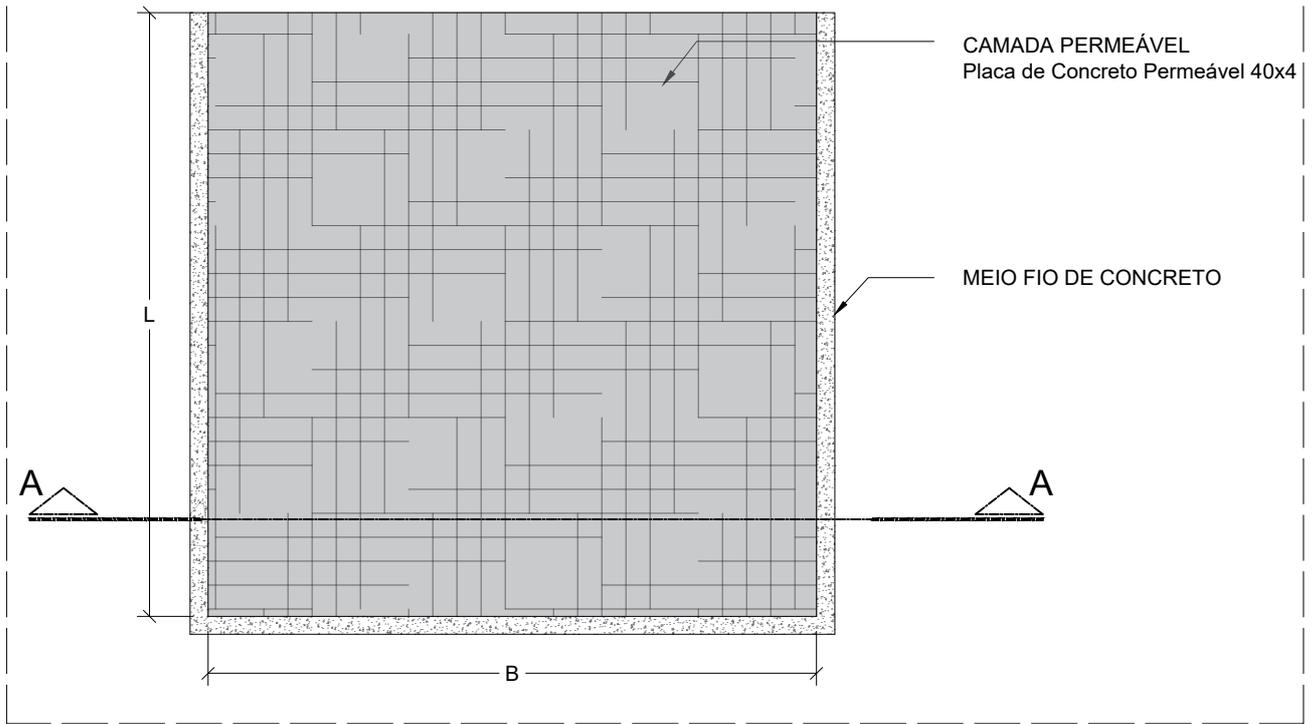
A fim de padronizar o esquema dos dispositivos e criar um projeto executivo com detalhes, definiu-se de acordo com a estrutura simulada e os esquemas apontados na literatura um modelo para cada LID's do presente trabalho.

Para o pavimento permeável, adotou-se o uso de uma camada filtrante com manta geotêxtil entre a camada de base do pavimento (areia) e a camada de armazenamento (brita) com o objetivo de não carrear as partículas menores de areia para os espaços vazios da camada de armazenamento, diminuindo sua eficiência.

Na trincheira de infiltração, adotou-se uma estrutura de meio fio para demarcar as laterais da camada de armazenamento, além de ajudar a direcionar o curso de água para o interior do dispositivo. Da mesma forma que o PP, a trincheira adotou também uma manta de geotêxtil a fim de evitar a colmatação dos vazios da camada de armazenamento.

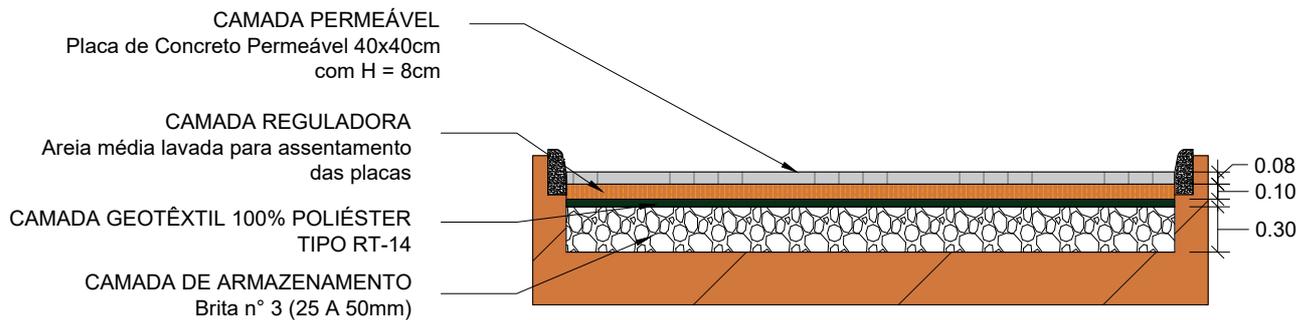
Para os jardins de chuva, as considerações preferidas para sua estruturação compõem: o uso de uma zona de descarga, composta de material granular graduado no final do tubo de descarga, a fim de dissipar a energia da vazão que escoar dos telhados; peças de meio-fio para garantir o acúmulo de água na superfície do substrato; uso de plantas de baixo porte, adaptadas a região e clima do local para garantir a biorretenção.

Os projetos a seguir se apresentam como uma proposta de projeto executivo com recomendações técnicas e detalhes de execução.



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO PERMEÁVEL

Escala: 1:50



CORTE AA

Escala: 1:50

NOTAS TÉCNICAS

- Todas as medidas estão em metros.
- Dimensões L e B a definir de acordo com o espaço disponível para a instalação.
- Dispositivo base para chuvas de TR ≤ 5 anos.
- Dispositivo sem previsão de dreno. Em caso de sobrecarga, o fluxo seguirá superficialmente

RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

- A camada de armazenamento deve ser preenchida a cada 10cm e compactada por equipamento mecânico.
- Para o bom funcionamento do dispositivo, o solo natural deve possuir boa permeabilidade hidráulica saturada e não deve ser compactado durante a execução do pavimento.
- Após execução, evitar movimentação de terra próximo para evitar colmatagem precoce das camadas permeáveis.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB

Centro de Tecnologia / Departamento de Eng. Civil e Ambiental

TCC: Implantação de dispositivos de baixo impacto no projeto de readequação do estacionamento do CT/UPB: manejo sustentável e viabilidade econômica

Desenho:

Projeto Executivo de dispositivo LID: Pavimento Permeável

Projetista:

Kaliel Pereira Dantas

Orientador:

Gustavo Barbosa L. Silva

Prancha:

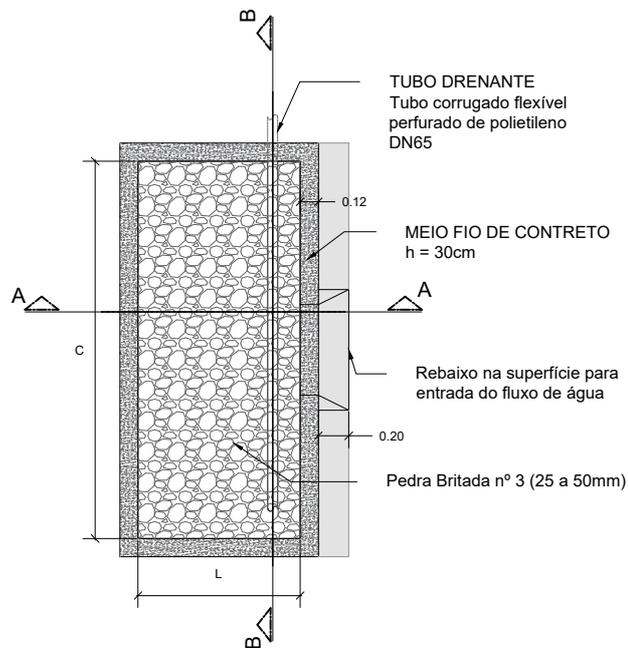
Data:

25/03/2024

Escala:

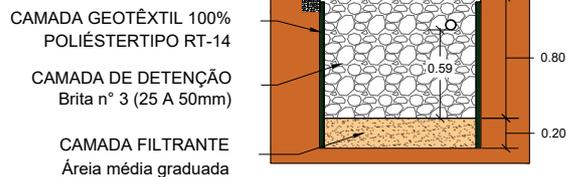
1:50

01/01



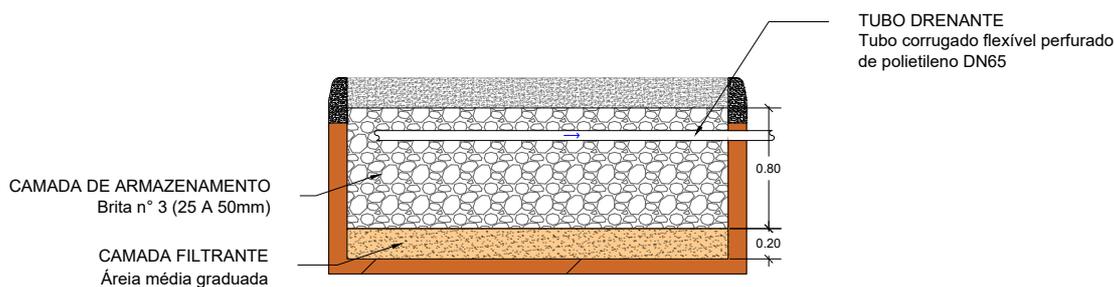
PLANTA BAIXA - TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

Escala: 1:50



CORTE AA

Escala: 1:50



CORTE BB

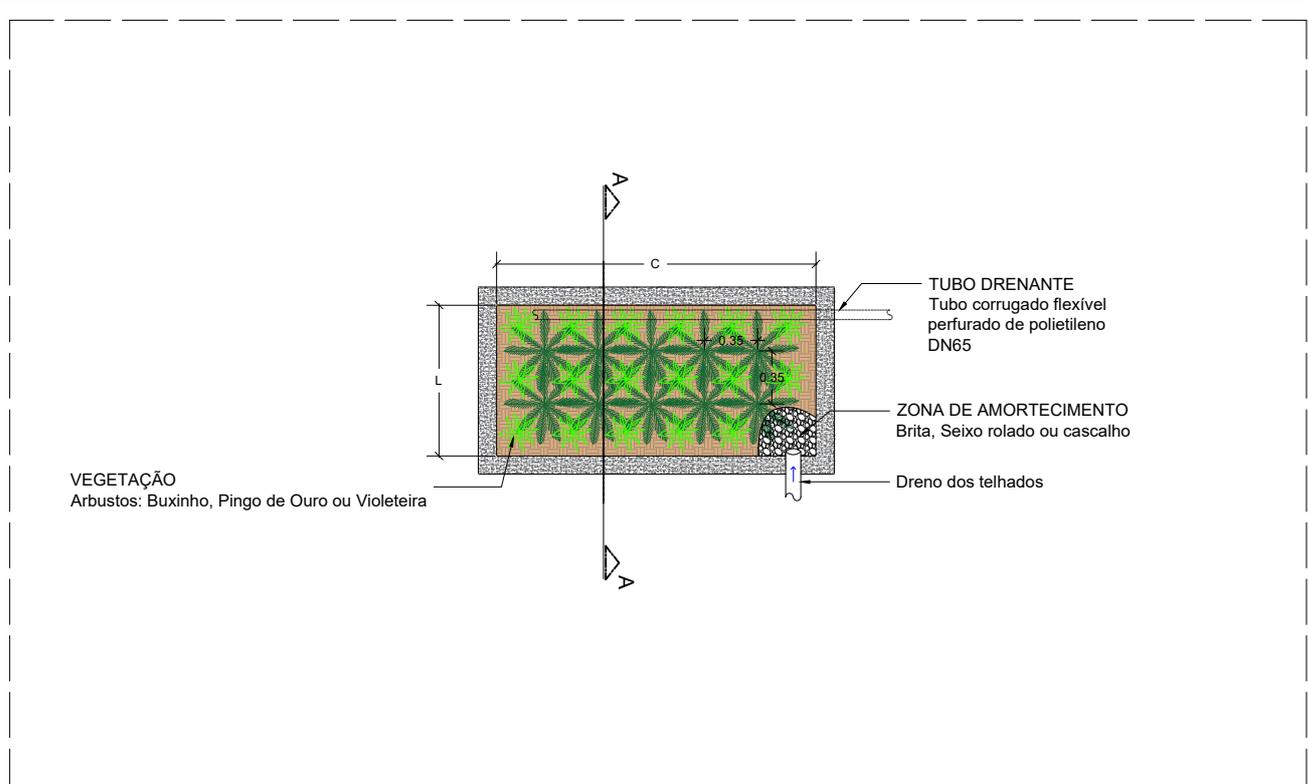
Escala: 1:50

NOTAS TÉCNICAS

- Todas as medidas estão em metros.
- Dimensões C e B a definir de acordo com o espaço disponível para a instalação.
- Dispositivo base para chuvas de TR ≤ 5 anos.
- A entrada de água do dispositivo deve estar livre de qualquer obstáculo.
- O nível da superfície deve apresentar um desnível de 5cm para o topo da camada de armazenamento

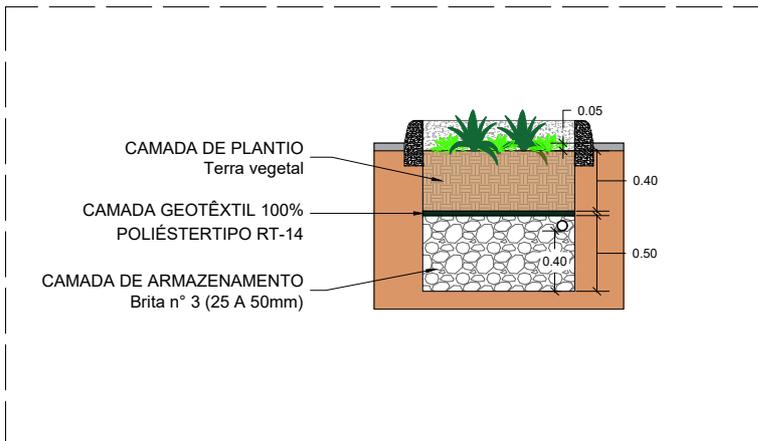
RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

- A camada de armazenamento deve ser preenchida a cada 10cm e compactada por equipamento mecânico.
- Para o bom funcionamento do dispositivo, o solo natural deve possuir boa permeabilidade hidráulica saturada e não deve ser compactado durante a execução do dispositivo.
- Após execução, evitar movimentação de terra próximo para evitar colmatção precoce das camadas permeáveis.



PLANTA BAIXA - JARDIM DE CHUVA

Escala: 1:50



CORTE AA

Escala: 1:50

NOTAS TÉCNICAS

- Todas as medidas estão em metros.
- Dimensões C e L a definir de acordo com o espaço disponível para a instalação.
- Dispositivo base para chuvas de TR ≤ 5 anos.
- Camada de plantio deve ser adequada para a vegetação escolhida.
- A camada de plantio permite vegetação de baixo e médio porte, até 30cm de altura.

RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

- A camada de armazenamento deve ser preenchida a cada 10cm e compactada por equipamento mecânico.
- Para o bom funcionamento do dispositivo, o solo natural deve possuir boa permeabilidade hidráulica saturada e não deve ser compactado durante a execução do pavimento.
- Após execução, evitar movimentação de terra próximo para evitar colmatagem precoce das camadas permeáveis.
- Se a área não for um polígono regular, o dreno deve seguir paralelo a maior distância.
- A camada de terra vegetal não deve ser compactada para garantir a aeração e permeabilidade do solo.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB

Centro de Tecnologia / Departamento de Eng. Civil e Ambiental

TCC: Implantação de dispositivos de baixo impacto no projeto de readequação do estacionamento do CT/UPB: manejo sustentável e viabilidade econômica

Desenho: Projeto Executivo de dispositivo LID: Jardim de Chuva	Projetista: Kaliel Pereira Dantas	Orientador: Gustavo Barbosa L. Silva	Prancha: 01/01
	Data: 25/03/2024	Escala: 1:50	

5 CONCLUSÕES

É possível identificar que o projeto de readequação do estacionamento do CT confere a área um enorme índice de urbanização, caracterizado pelas coberturas dos edifícios e a pavimentação da maior parte da bacia (88,55%). Tal condição de projeto representa uma área com grande capacidade de escoamento rápido das águas pluviais, ocasionando problemas no sistema de drenagem urbano para tormentas mais críticas

O uso de técnicas de controle na fonte com a metodologia LID foi satisfatório em qualquer um dos cenários propostos. Renunciando ao custo e as questões projetuais, a implantação dos dispositivos em cada um dos cenários acometeu mudanças hidrológicas no escoamento da bacia, provando a capacidade que o LID pode ajudar na retomada das características naturais do espaço ocupado. Porém, destaca-se que a necessidade de projeto deve estar bem definida uma vez que os dispositivos projetados podem apresentar eficiências diferentes em controle de vazão e volume.

A simulação hidrológica por meio do SWMM 5.1 se mostrou bastante eficaz em dispor de vários parâmetros que possam refletir a realidade atual. Além da avaliação total do sistema, é possível avaliar cada item da bacia total e desvendar as condições que impactam no funcionamento do sistema. Além disso, a facilidade em manuseio da plataforma, bem como de visualização dos resultados confere ao simulador uma perspectiva promissora para uso em diversas aplicações e por diversos usuários, desde projetistas do espaço urbano de um condomínio horizontal, até chefes de estados que buscam propor medidas que beneficiem a toda uma cidade.

Para os cenários propostos, fica claro a relação que a área de implantação dos LID's pode ser um fator preponderante para a eficiência do sistema total. Quanto menor a relação de área de LID/área drenada, menor a eficiência dos dispositivos de atuarem conforme os mecanismos ao qual foram projetados (infiltração e armazenamento). Nesses casos, o dispositivo opera em sua capacidade máxima de controle, rejeitando o escoamento excedente e deixando fluir conforme uma superfície impermeável.

A implantação dos dispositivos que fazem o controle fluvial na fonte apresentou extrema capacidade de controle do escoamento por meio de infiltração e armazenamento. A redução de vazão foi superada a cada cenário com o aumento da duração de chuva, enquanto a redução de volume reduzia para cada aumento de duração.

Os dispositivos LID elaborados evidenciaram uma eficácia extremamente positiva quanto a redução de volume e vazão para os cenários isolados. Apesar da incidência de chuvas

de projeto na bacia com maior TR, para chuvas de mesma duração, a percentual relativo à redução de ambas as variáveis permanecem próximos (uma variação máxima em torno de 10%). Isto indica que os dispositivos implantados conseguem absorver as precipitações esperadas (TR de 5 e de 10 anos), quando as precipitações mais críticas (TR = 25 anos).

Em relação aos custos, houve uma extrema diferença entre os preços de implantação de cada cenário, acarretando um montante em torno de R\$9.000,00. Apesar da extrema diferença, os três cenários obtiveram bons índices de investimento por variável reduzida, onde em um cenário mais crítico (TR5-60) os resultados médios obtidos foram de R\$5.000,00/L/s para vazão e R\$2.000,00/m³ para o volume. A diferença de valores foi esperada devido a relação de vazão e volume não apresentarem um comportamento angular unitário.

Por mais que os valores de investimento pela variável reduzida possam ter se mostrado atrativos, é necessário avaliar a disponibilidade de investimento e intervenção no espaço. Índices de redução próximo para valores de investimentos distintos indicam que existe um ponto onde o investimento ofertado ao sistema de drenagem com a metodologia LID não vai gerar maior benefício hidráulico/hidrológico.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACIOLI, L. A. **ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS PARA O CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA FONTE**. Dissertação (Mestrado)—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mar. 2005.
- AECOM *et al.* **Georgia Stormwater Management Manual: Technical Handbook** . Atlanta: Atlanta Regional Commission, 2016. v. 2
- AGOSTINHO, M. D. S. P.; POLETO, C. SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: DISPOSITIVOS. **Holos Environment**, v. 12, n. 2, p. 121, 13 dez. 2012.
- ANA, A. N. DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº46/2018/SPR**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d1c36d85-a9d5-4f6a-85f7-71c2dc801a67/attachments/NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2024.
- ANDOH, R. Y. G.; IWUGO, K. O. **Sustainable Urban Drainage Systems: A UK Perspective** . 9th International Conference on Urban Drainage. **Anais...**Portland: 2002.
- ARAGÃO, R. *et al.*. **Chuvas intensas no Estado da Paraíba**. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nortes . **Anais...**Natal: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10844/89: Instalações prediais de águas pluvias**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16416/2015: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- BALLARD, B. W. *et al.*. **The SuDS Manual**. 5. ed. London: CIRIA, 2015. v. 1
- BENEVOLO, L. **História da Cidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2001.
- BES, B. OF E. S. **2020 Stormwater Management Manual**. Portland Enviromental Services of Portland, , dez. 2020.
- 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.
- BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 3. ed. São Paulo: Bluncher, 2011.
- BRASIL. **Lei Federal 11.445, de 5 de Janeiro de 2007**. Brasil. Senado Federal, 5 jan. 2007.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos Textos, 2014.

COFFMAN, L. *et al.*. **Development of bioretention practices for stormwater management**. Water Resources Planning and Management and Urban Water Resources. **Anais...** Publ by ASCE, 1993.

CREACO, E.; FRANCHINI, M. A dimensionless procedure for the design of infiltration trenches. **Journal AWWA**, v. 104, n. 9, p. 501–509, set. 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.

DAVIS, A. P. Field Performance of Bioretention: Hydrology Impacts. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 13, n. 2, p. 90–95, fev. 2008.

DAVIS, A. P. *et al.*. Hydrologic Performance of Bioretention Storm-Water Control Measures. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 5, p. 604–614, maio 2012.

EPA, E. P. A. **BIORETENTION DESIGN HANDBOOK: DESIGNING HOLISTIC BIORETENTION FOR PERFORMANCE AND LONGEVITY**. [s.l.: s.n.].

EPA, U. S. E. P. A. **Storm Water Technology Fact Sheet: Porous Pavement**. Washington, D. C. : [s.n.].

EPA, U. S. E. P. A. *et al.*. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1**. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency EPA, 2015.

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

FISRWG, F. I. S. R. W. G. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. [s.l.] Createspace Independent Publishing Platform, 1998. v. 1

GAO, J. *et al.*. Hydrologic performance of bioretention in an expressway service area. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 7, p. 1829–1837, 1 abr. 2018.

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.

IPH, I. DE P. H. (UFRGS); PMPA, P. M. DE P. A. (DEP). **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de Drenagem Urbana. Prefeitura Municipal de Porto Alegre**BrasilPrefeitura Municipal de Porto Alegre, , set. 2005. Disponível em: <https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf>. Acesso em: 19 fev. 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.

KIA, A. *et al.*. Structural and hydrological design of permeable concrete pavements. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, p. e00564, dez. 2021.

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

LOPES, M. D. **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, T. DOS A. T. DE *et al.*. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 147–165, dez. 2014.

MELO, T. DOS A. T. DE *et al.*. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 53–72, set. 2016.

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.

MENESES, L. F. *et al.*. EVOLUÇÃO URBANA E VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS SUPERIORES NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 2, 17 fev. 2012.

MIGUEZ, M. G.; VEROL, A. P.; CARNEIRO, P. R. F. Sustainable Drainage Systems: An Integrated Approach, Combining Hydraulic Engineering Design, Urban Land Control and

River Revitalisation Aspects. Em: JAVAID, M. S. (Ed.). **Drainage Systems**. [s.l.] InTech, 2012. p. 21–54.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

NOVOTNY, V. **Diffuse Pollution Monitoring and Abatement in Future cities**. KoreaNortheastern University, , 2008.

PEITER, T. V.; POLETO, C. ESTUDOS DOS EFEITOS DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL. **Revista de estudos ambientais**, v. 12, n. 2esp, p. 57–67, 2012.

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

RIGUETTO, A. M. **Manejo de águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

SÃO PAULO (CIDADE), S. M. DE D. U. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos**. São Paulo: SMDU, 2012. v. 2

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 Brasileira 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.

SILVA, J. P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. Dissertação (Mestrado)—Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

SOUZA, V. C. B.; GOLDENFUM, J. A. **TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO COMO ELEMENTO DE CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: UM ESTUDO EXPERIMENTAL**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...**Belo Horizonte - MG: ABRHidro, 2002.

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, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 13 dez. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades - Global Water Partnership - Word Bank - Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97–112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília: CEPAL, 2012.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. **Drenagem Urbana**. [s.l.] ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995. v. 1

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater Detention: For Drainage, Water Quality, and CSO Management**. New Jersey: Practice-Hall, 1990.

U.S., D. OF A. **Computer Program for Project Formulation: Hydrology**. Soil Conservation Service, , 1982.

USDA, N. R. C. S. (NRCS). Chapter 7: Hydrologic Soil Groups. Em: **National Engineering Handbook: Part 630 - Hydrology**. [s.l.] USDA, 2009.

VILLELA, S. M. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VIRGILIIS, A. L. C. DE. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação (Mestrado)—São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.

APÊNDICE A

Composições dos custos

TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO						
	CÓDIGO	SERVIÇO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	
COMPOSIÇÃO	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 9KN/M (RT-9), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2			R\$ 10,16
INSUMO	4011	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER, RESITENCIA A TRACAO = 09 KN/M	M2	1,2105	8,06	R\$ 9,76
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0049	24,62	R\$ 0,12
COMPOSICAO	88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0148	19,27	R\$ 0,29
COMPOSIÇÃO	102719	ENCHIMENTO DE BRITA PARA DRENO, LANÇAMENTO MANUAL. AF_07/2021	M3			R\$ 128,78
INSUMO	4722	PEDRA BRITADA N. 3 (38 A 50MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	1,1	89,26	R\$ 98,19
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3711	24,62	R\$ 9,14
COMPOSICAO	88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,1134	19,27	R\$ 21,46
	38051	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 65 MM, (2 1/2") PARA DRENAGEM - EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 - EM)	M			R\$ 17,43
COMPOSICAO	38052	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 100 MM, (4") PARA DRENAGEM - EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 - E.M)	M	1,003	12,02	R\$ 12,06
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0652	24,62	R\$ 1,61

COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1957	19,27	R\$ 3,77
------------	-------	--------------------------------------	---	--------	-------	----------

PAVIMENTO PERMEÁVEL						
	100322	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.3), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE 10 CM. AF_07/2019	M3			R\$ 157,63
INSUMO	4722	PEDRA BRITADA N. 3 (38 A 50 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	1,19	89,26	R\$ 106,22
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,579	24,62	R\$ 38,87
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,634	19,27	R\$ 12,22
COMPOSICAO	91277	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,032	9,37	R\$ 0,30
COMPOSICAO	91278	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,03	0,64	R\$ 0,02

		EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO DRENANTE EM PLACAS DE 40X40CM, ESPESSURA 6CM - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	M2			R\$ 76,95
INSUMO	370	AREIA MÉDIA COM TRANSPORTE	M3	0,0568	R\$ 100,00	R\$ 5,68
INSUMO	40671	PLACA/PISO DE CONCRETO POROSO/PAVIMENTO PERMEAVEL/BLOCO DRENANTE DE CONCRETO, 40 CM X 40 CM, E = 6 CM, COR NATURAL	M2	1,0174	R\$ 64,65	R\$ 65,77
COMPOSIÇÃO	88260	CALCETEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1259	R\$ 24,41	R\$ 3,07
COMPOSIÇÃO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1259	R\$ 19,27	R\$ 2,43

	97083	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			R\$ 3,00
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,045	24,62	R\$ 1,11
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,089	19,27	R\$ 1,72

COMPOSICAO	95264	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA, POTÊNCIA 3 CV - CHP DIURNO. AF_09/2016	CHP	0,025	5,91	R\$ 0,15
COMPOSICAO	95265	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA, POTÊNCIA 3 CV - CHI DIURNO. AF_09/2016	CHI	0,042	0,77	R\$ 0,03

COMPOSIÇÃO	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 9KN/M (RT-9), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2			R\$ 10,16
INSUMO	4011	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER, RESITENCIA A TRACAO = 09 KN/M	M2	1,2105	8,06	R\$ 9,76
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0049	24,62	R\$ 0,12
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0148	19,27	R\$ 0,29

JARDIM DE CHUVA

		PLANTIO DE GRAMA E MUDAS COM TERRA VEGETAL.	M2			R\$ 36,91
INSUMO	3322	GRAMA ESMERALDA OU SAO CARLOS OU CURITIBANA, EM PLACAS, SEM PLANTIO	M2	0,6372	R\$ 17,00	R\$ 10,83
INSUMO	38640	MUDA DE ARBUSTO, PINGO DE OURO/VIOLETEIRA H = 10 A 20 CM	UN	4	R\$ 2,42	R\$ 9,68
INSUMO	7253	TERRA VEGETAL (GRANEL)	M3	0,0446	R\$ 257,14	R\$ 11,47
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1923	R\$ 20,20	R\$ 3,88
COMPOSICAO	88441	JARDINEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0481	R\$ 21,66	R\$ 1,04

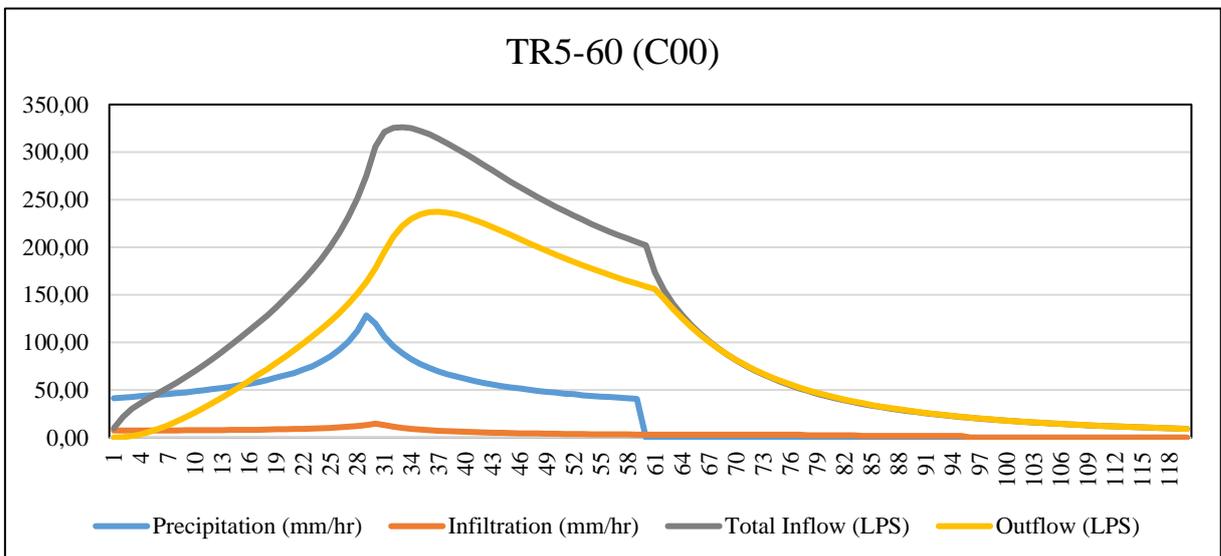
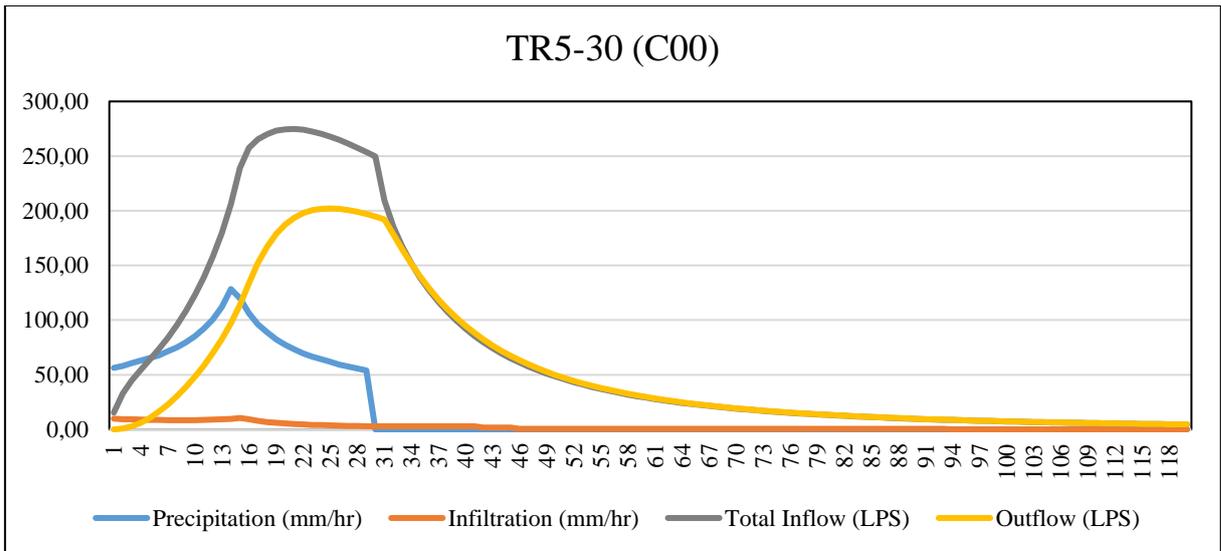
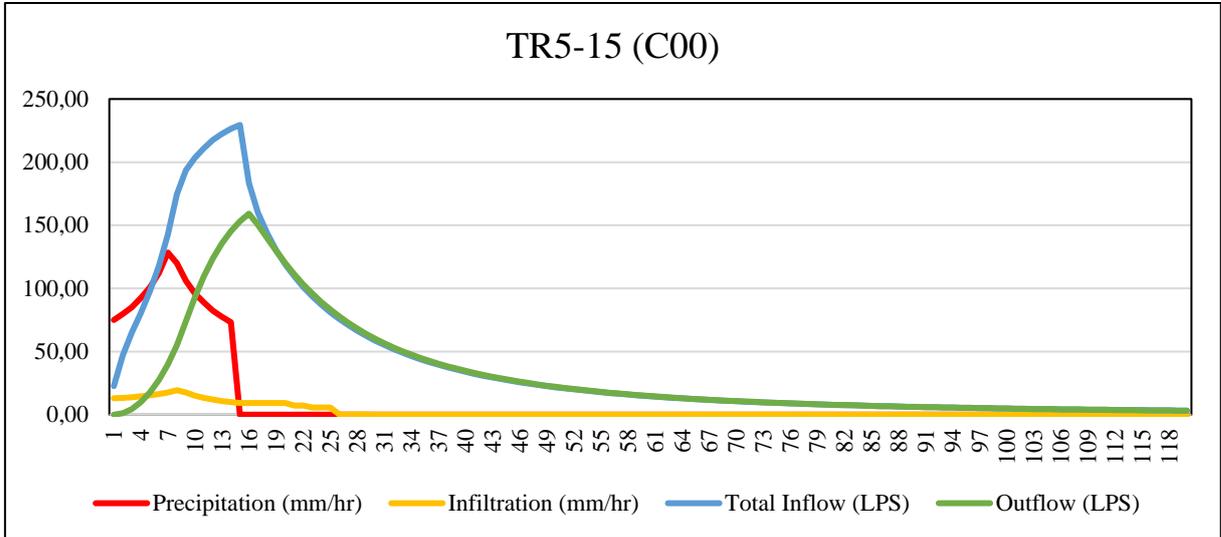
	38051	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 65 MM, (2 1/2") PARA DRENAGEM - EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 - EM)	M			R\$ 17,43
COMPOSICAO	38052	TUBO DRENO, CORRUGADO, ESPIRALADO, FLEXIVEL, PERFURADO, EM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DN 100 MM, (4") PARA DRENAGEM - EM ROLO (NORMA DNIT 093/2006 - E.M)	M	1,003	R\$ 12,02	R\$ 12,06
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0652	R\$ 24,62	R\$ 1,61
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1957	R\$ 19,27	R\$ 3,77

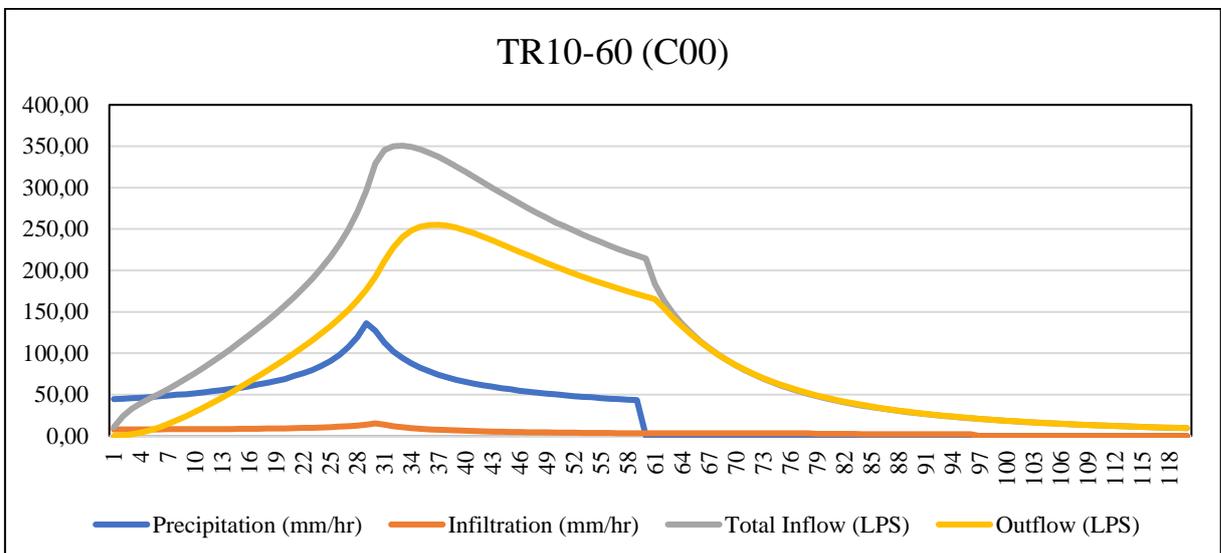
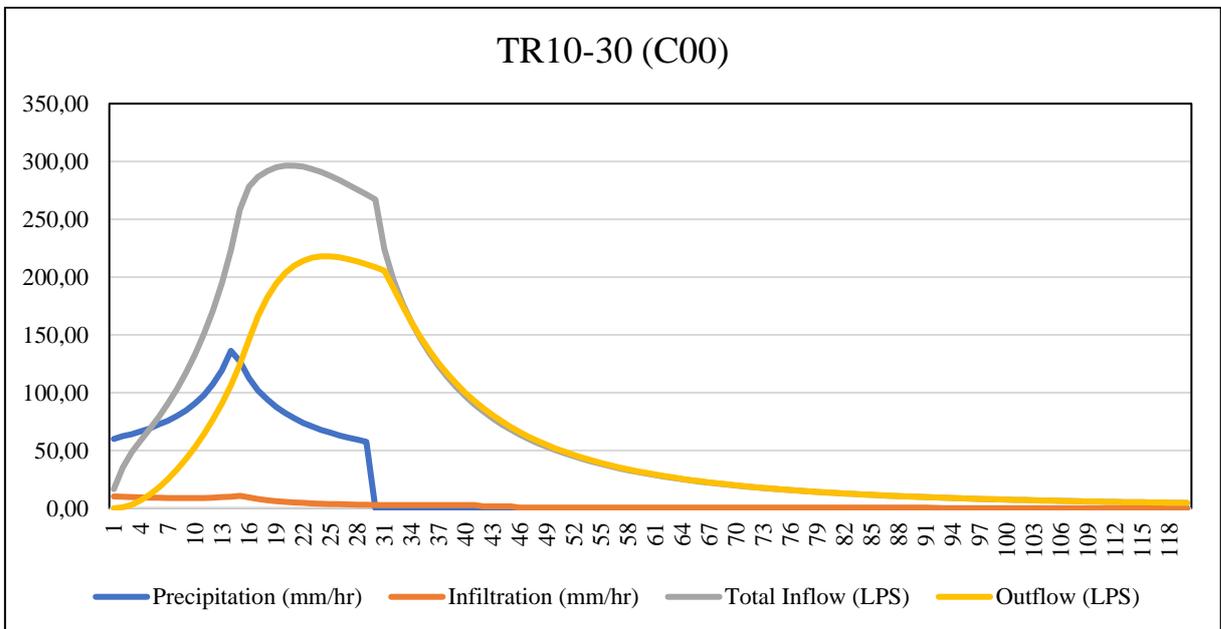
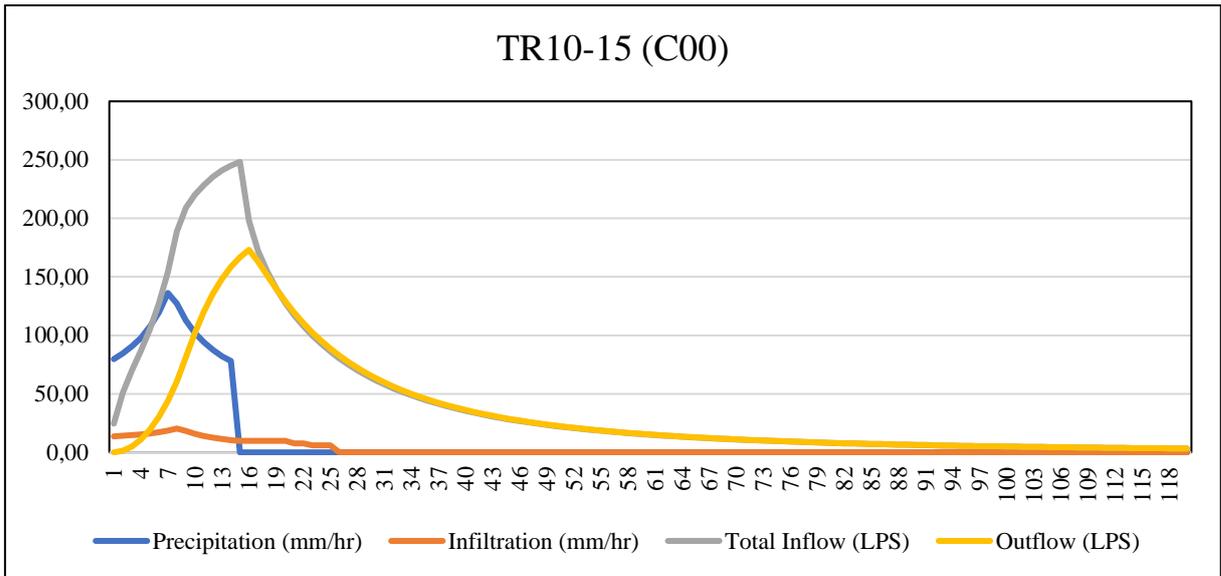
COMPOSIÇÃO	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 9KN/M (RT-9), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	M2			R\$ 10,16
INSUMO	4011	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER, RESITENCIA A TRACAO = 09 KN/M	M2	1,2105	R\$ 8,06	R\$ 9,76
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0049	R\$ 24,62	R\$ 0,12
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0148	R\$ 19,27	R\$ 0,29

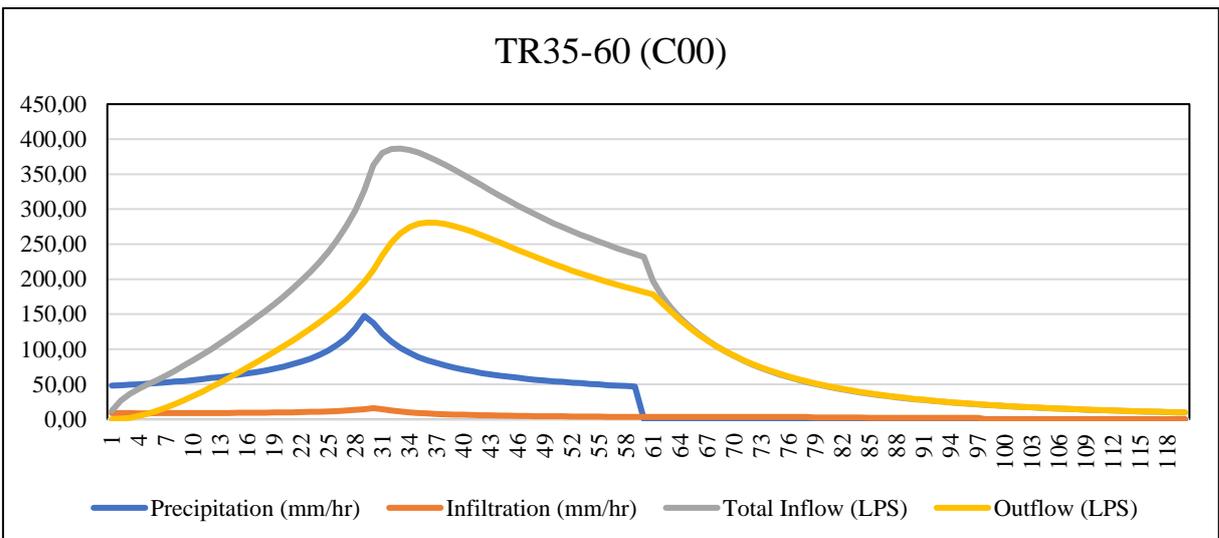
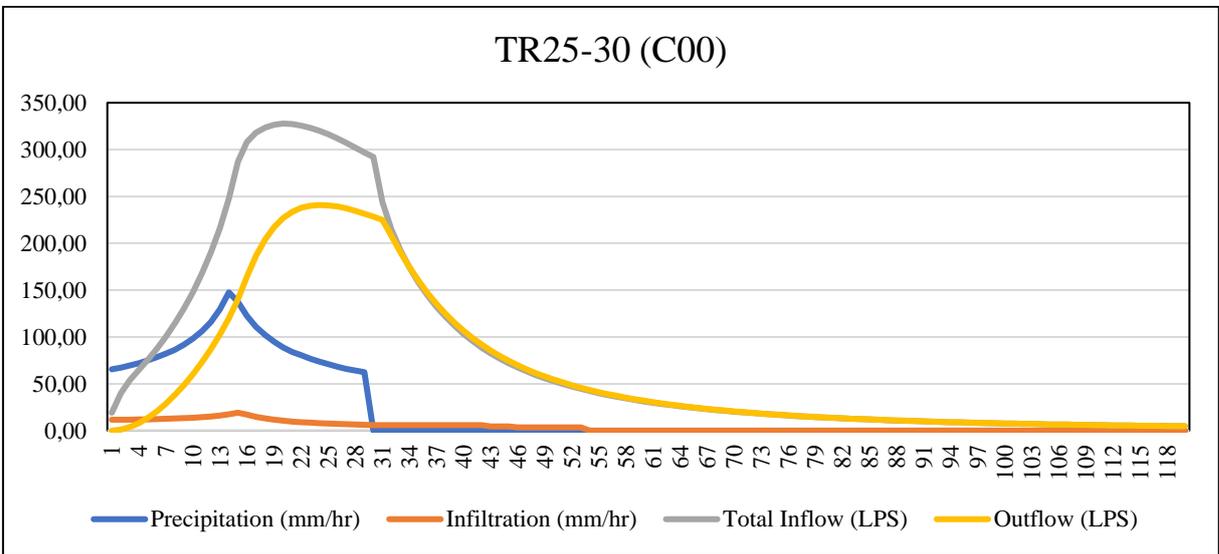
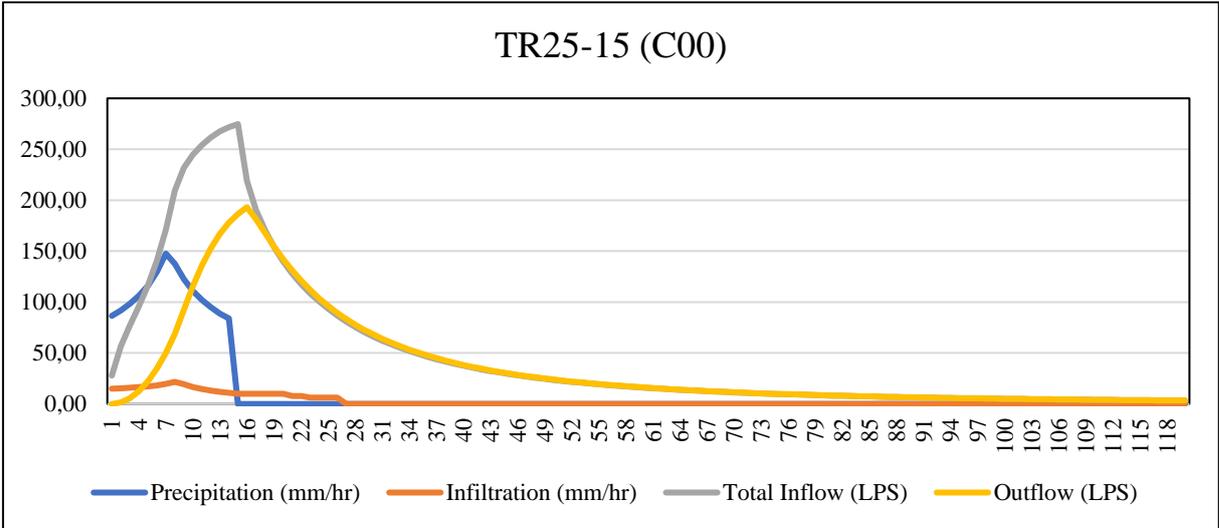
	100322	LASTRO COM MATERIAL GRANULAR (PEDRA BRITADA N.3), APLICADO EM PISOS OU LAJES SOBRE SOLO, ESPESSURA DE 10 CM. AF_07/2019	M3			R\$ 157,63
INSUMO	4722	PEDRA BRITADA N. 3 (38 A 50 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	M3	1,19	R\$ 89,26	R\$ 106,22
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,579	R\$ 24,62	R\$ 38,87
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,634	R\$ 19,27	R\$ 12,22
COMPOSICAO	91277	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,032	R\$ 9,37	R\$ 0,30
COMPOSICAO	91278	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,03	R\$ 0,64	R\$ 0,02

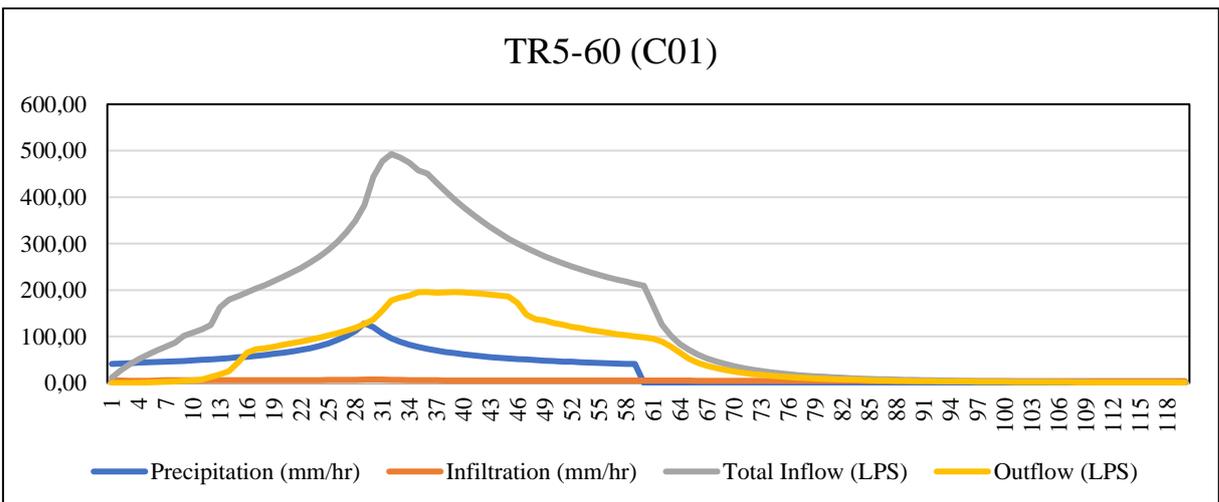
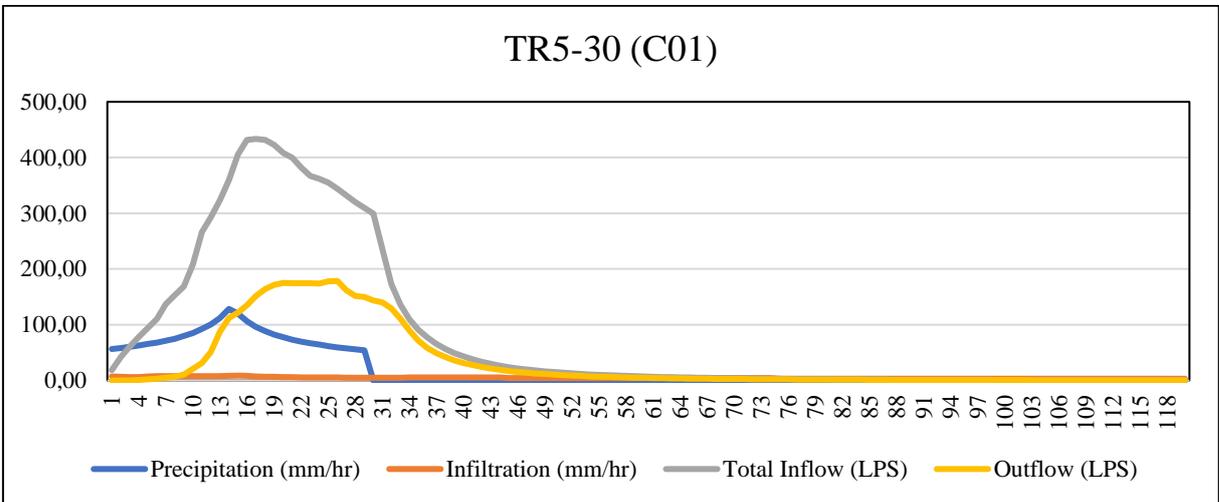
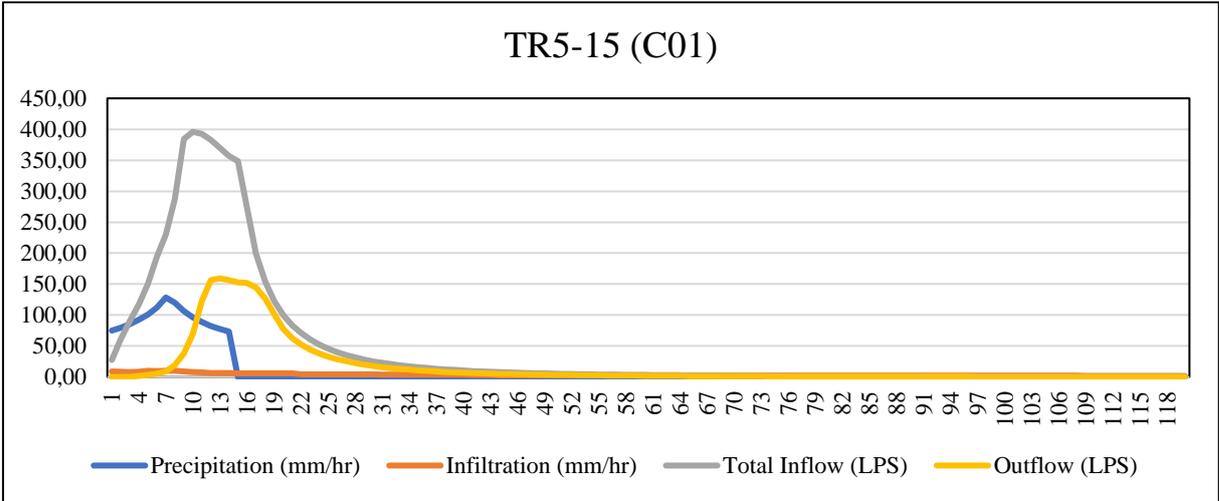
APÊNDICE B

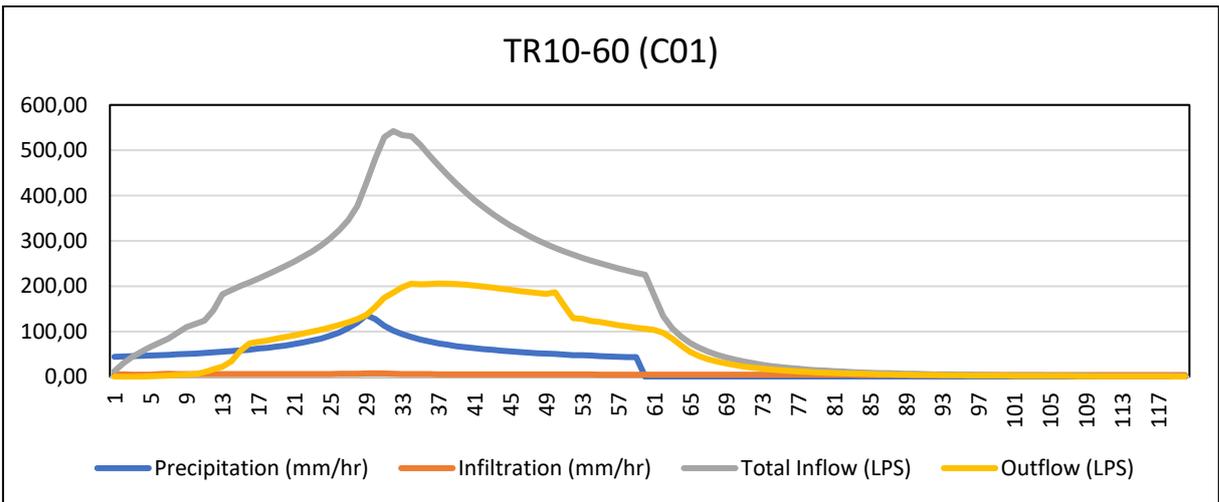
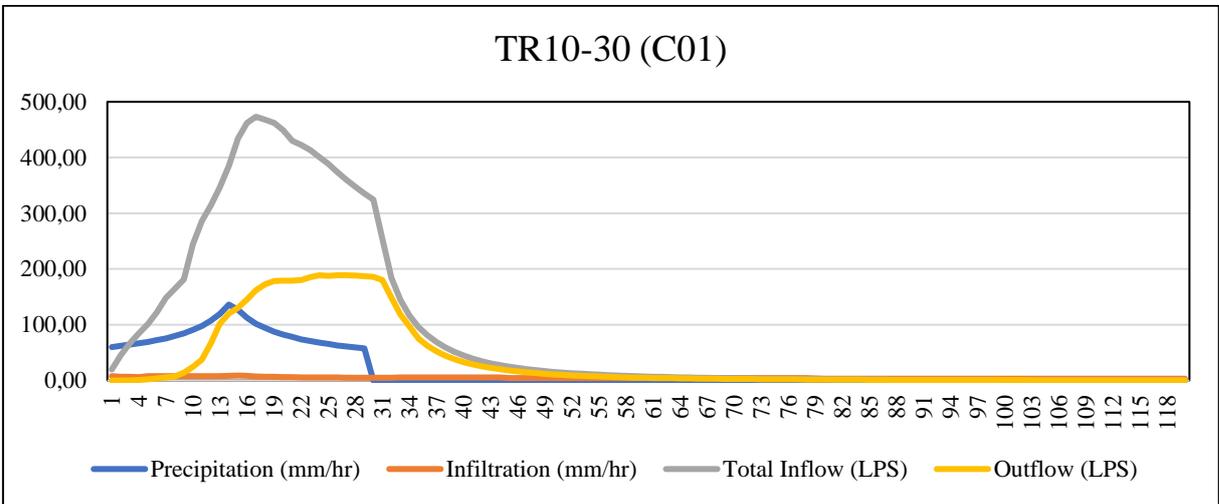
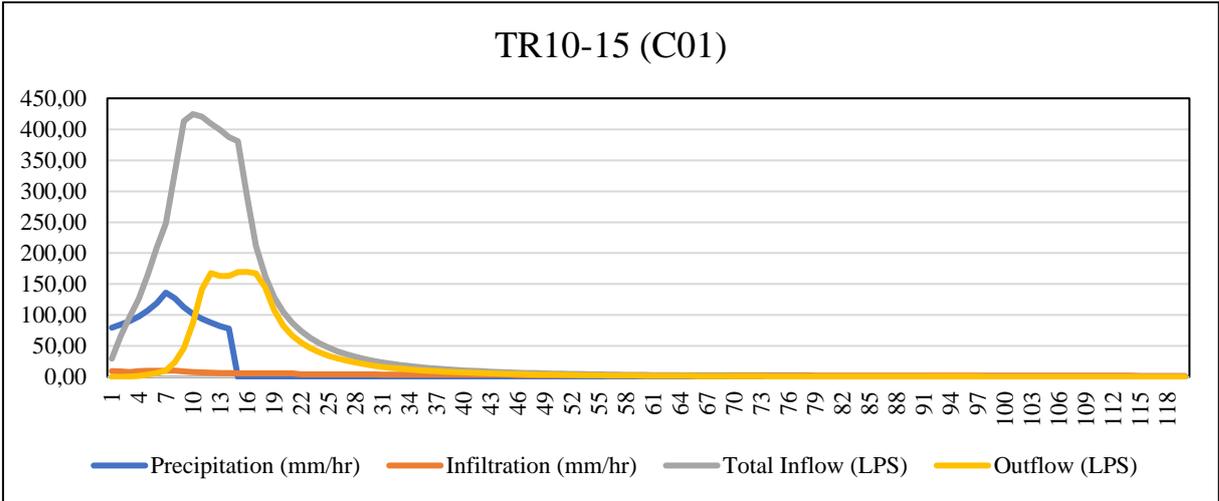
Gráficos de cada chuva de projeto em cada um dos cenários.

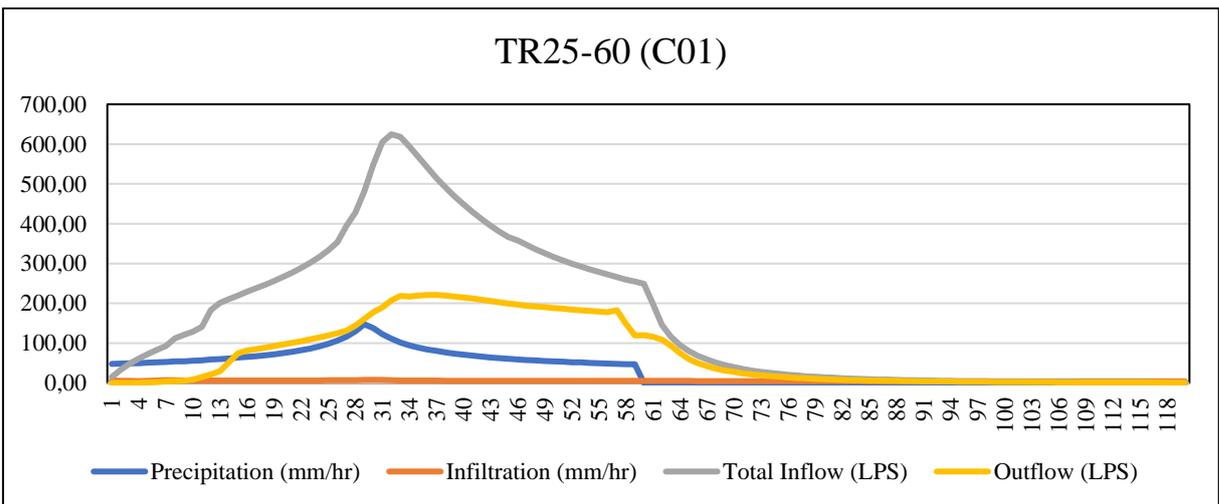
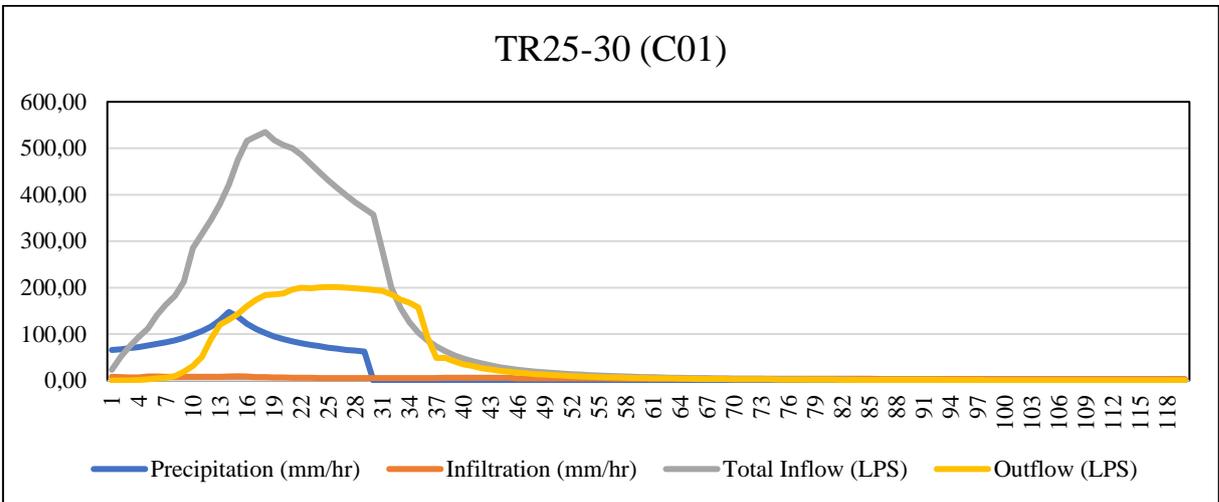
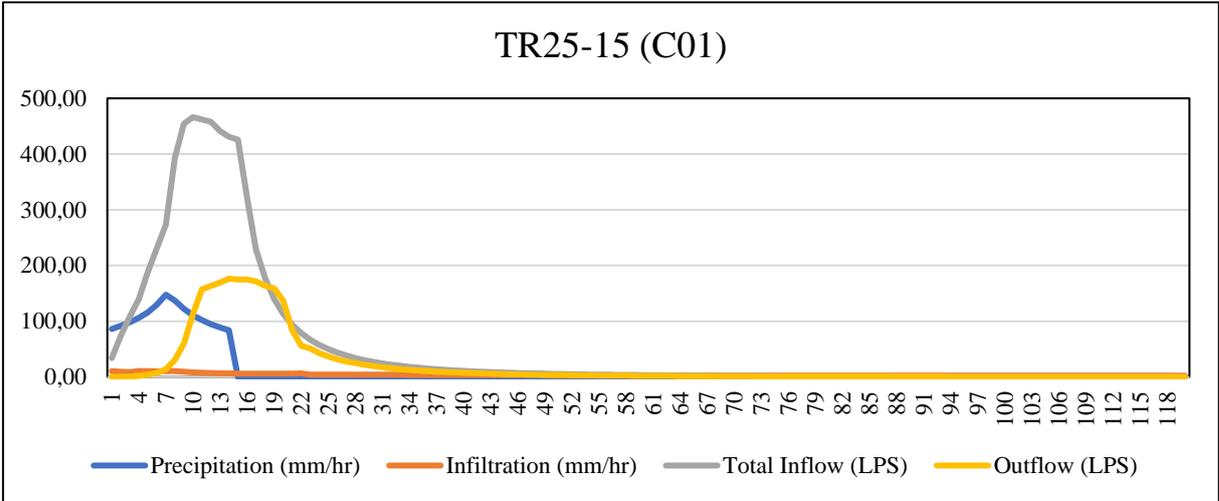


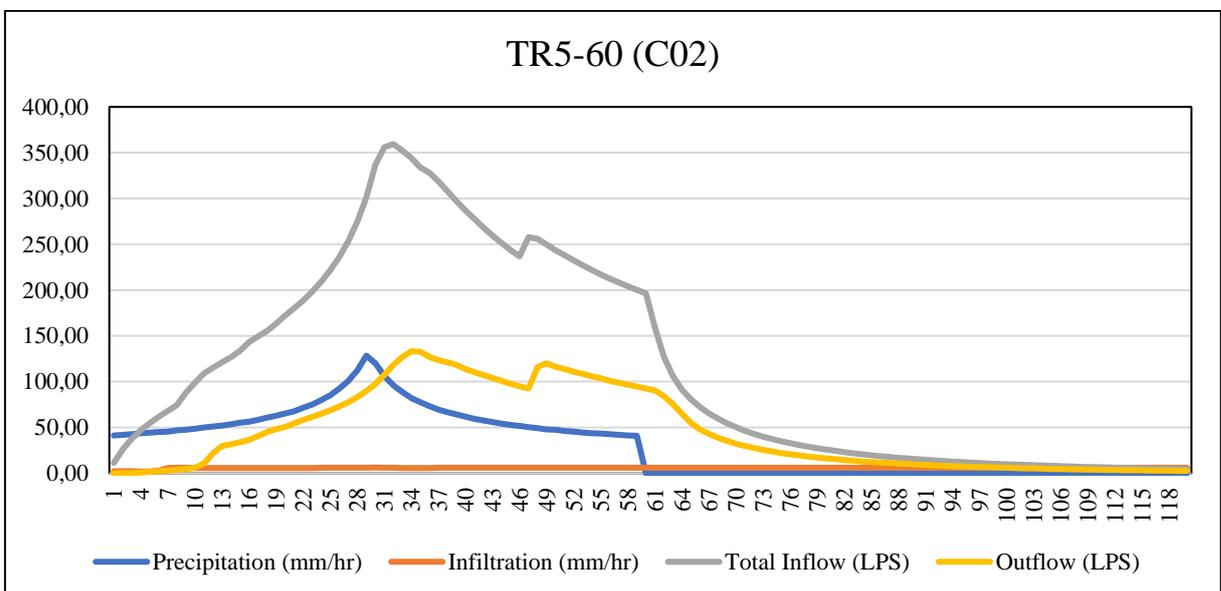
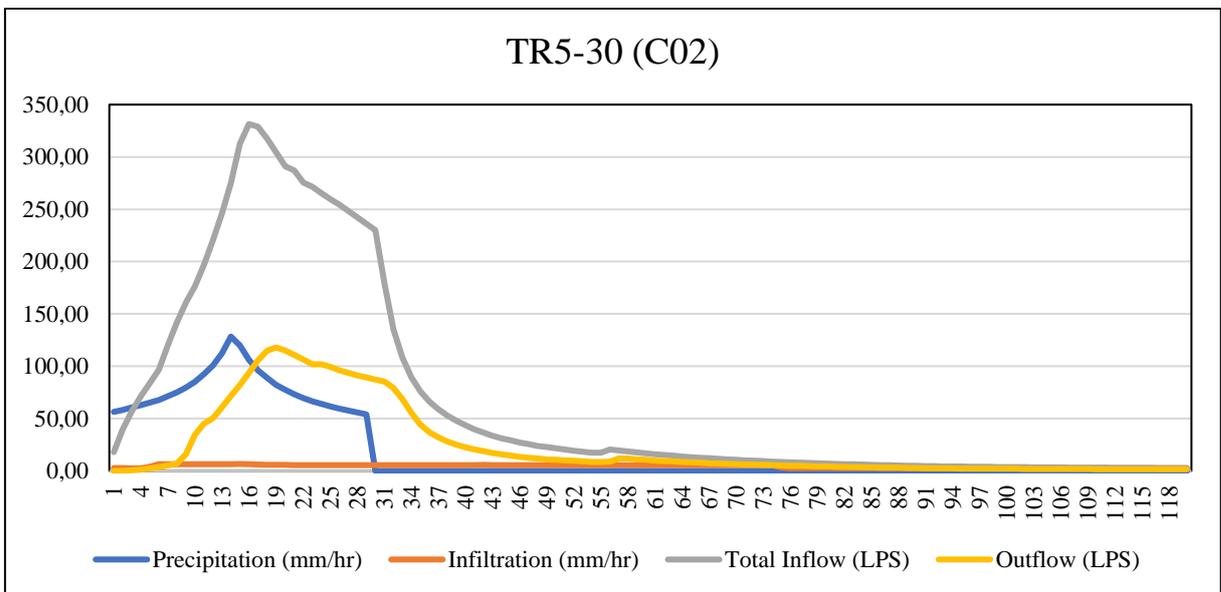
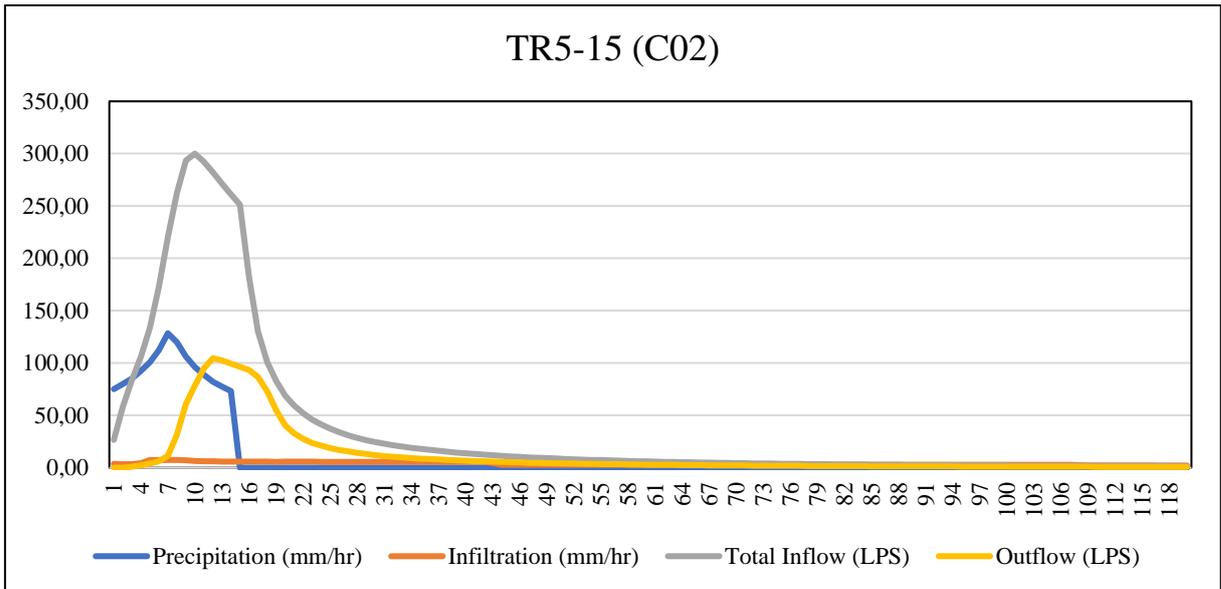


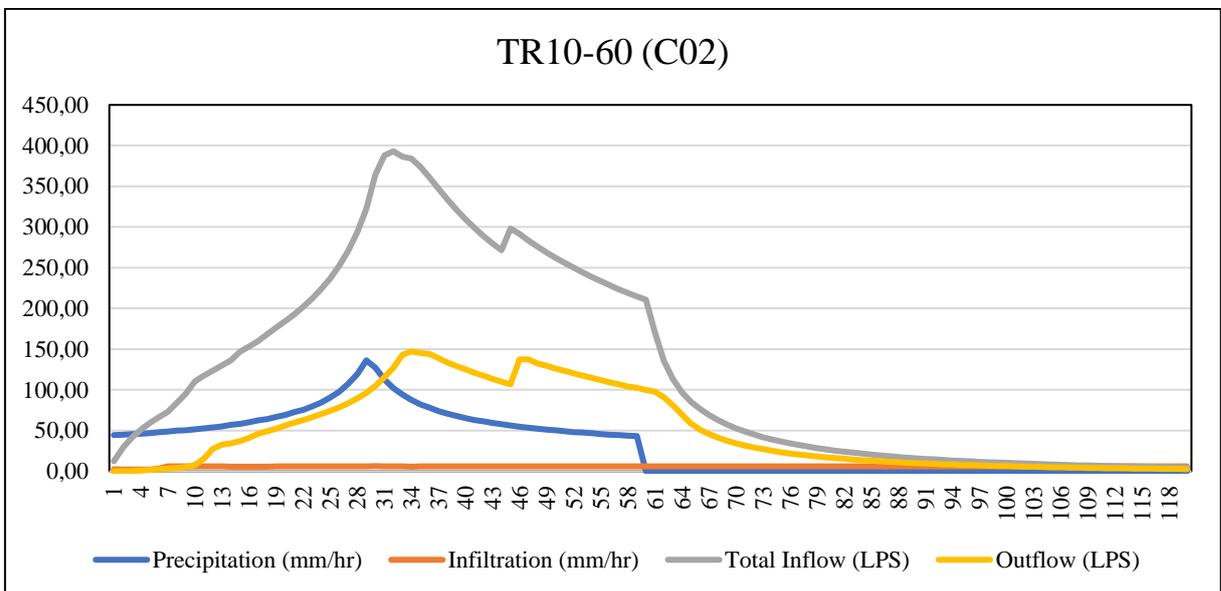
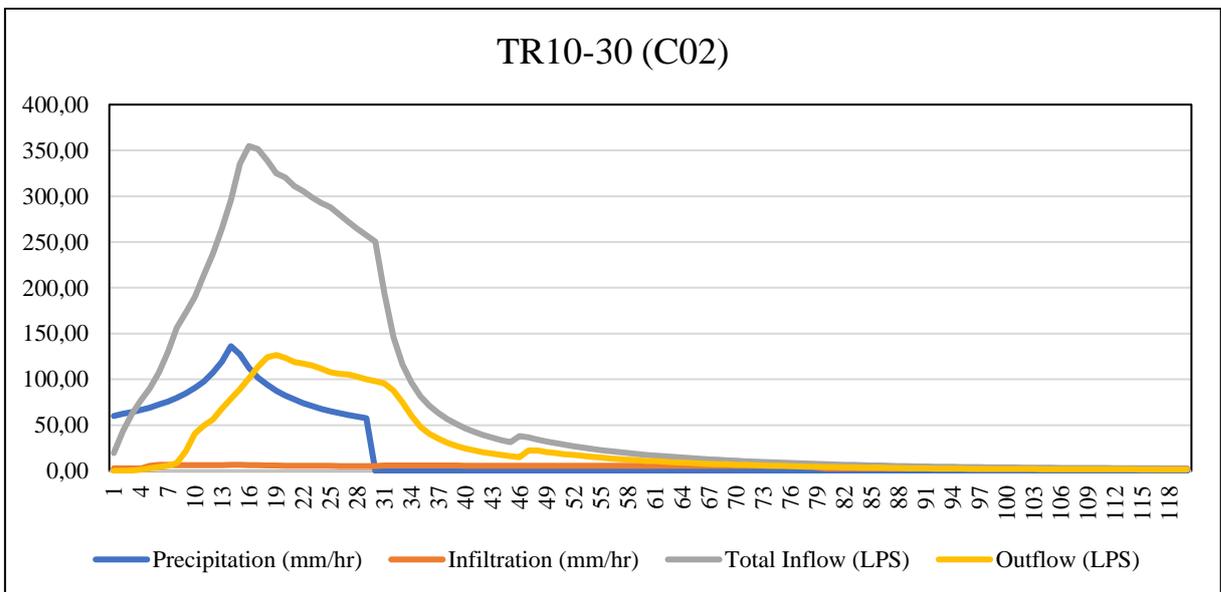
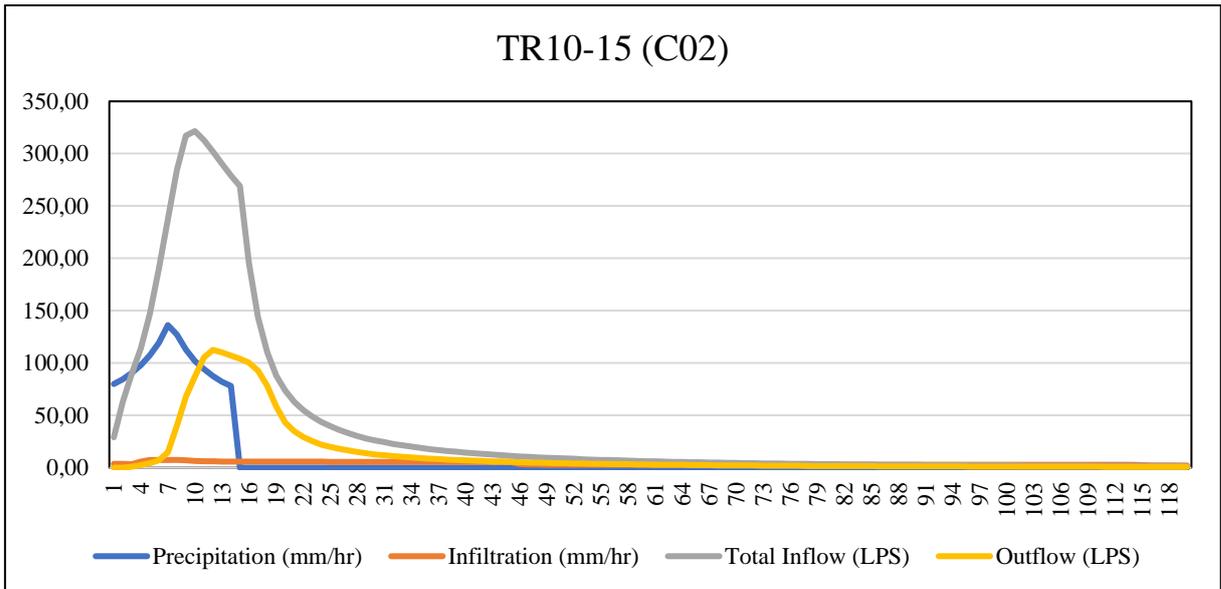


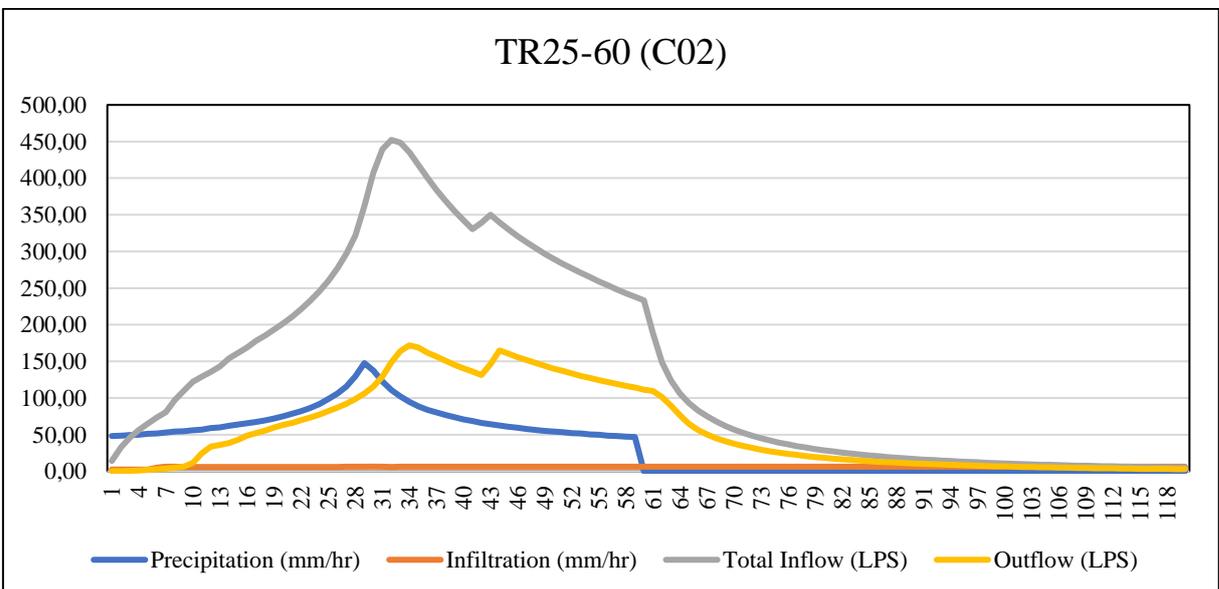
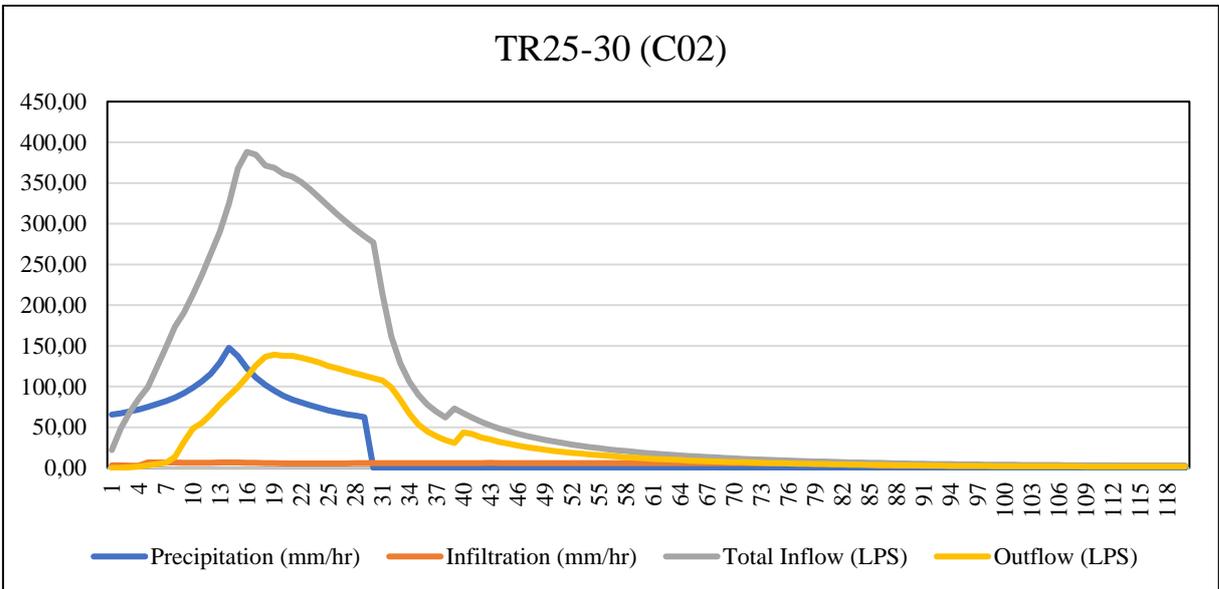
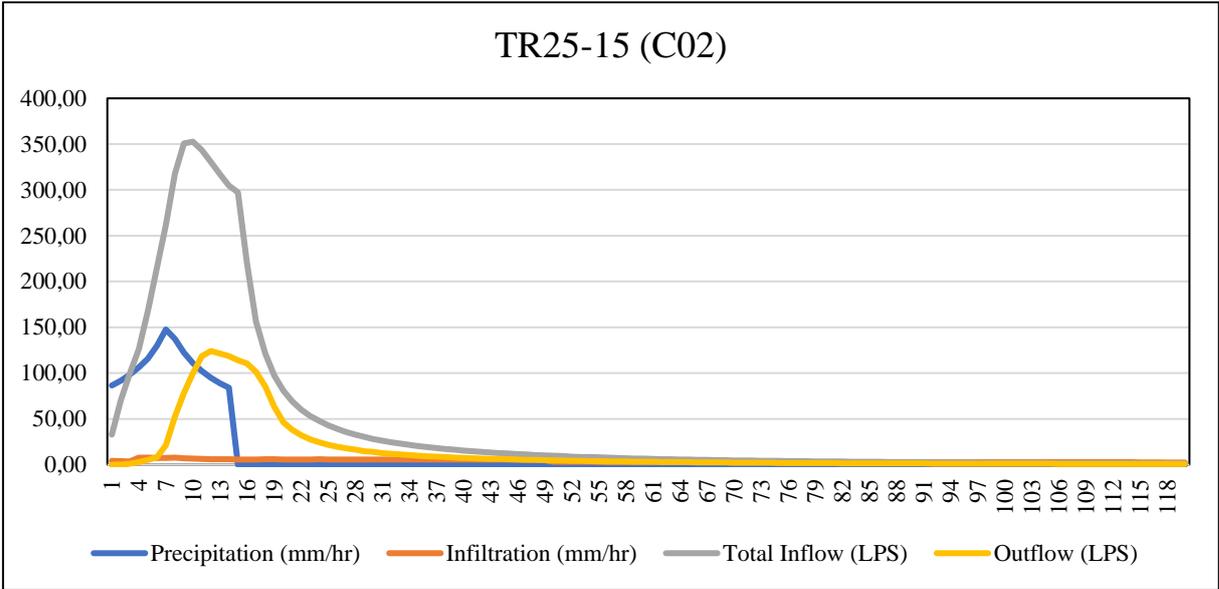


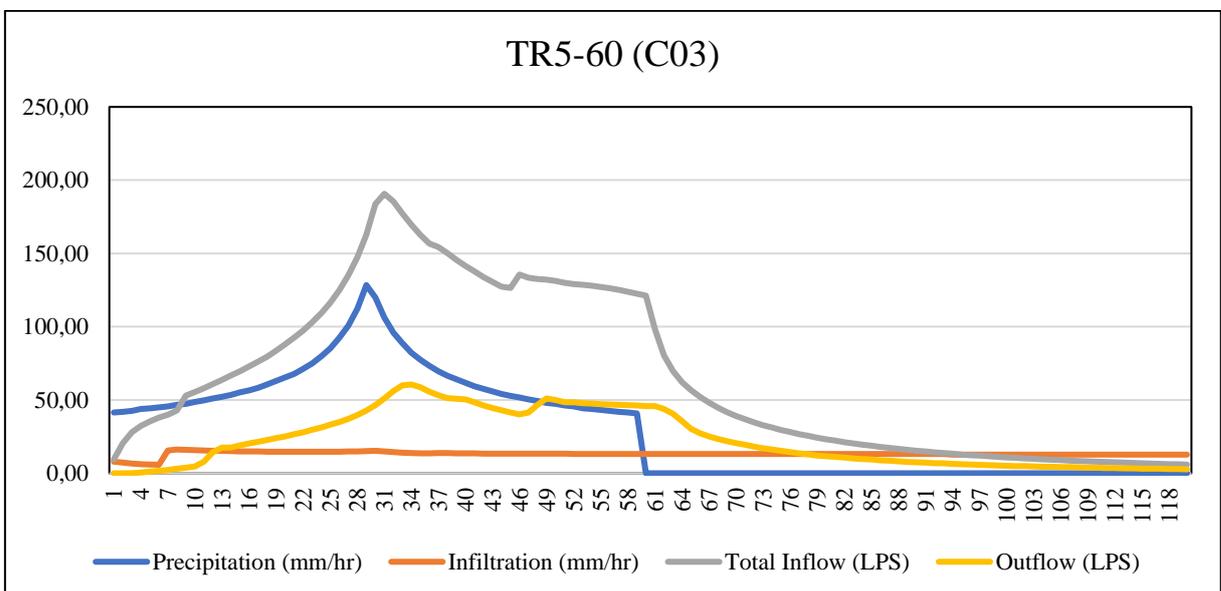
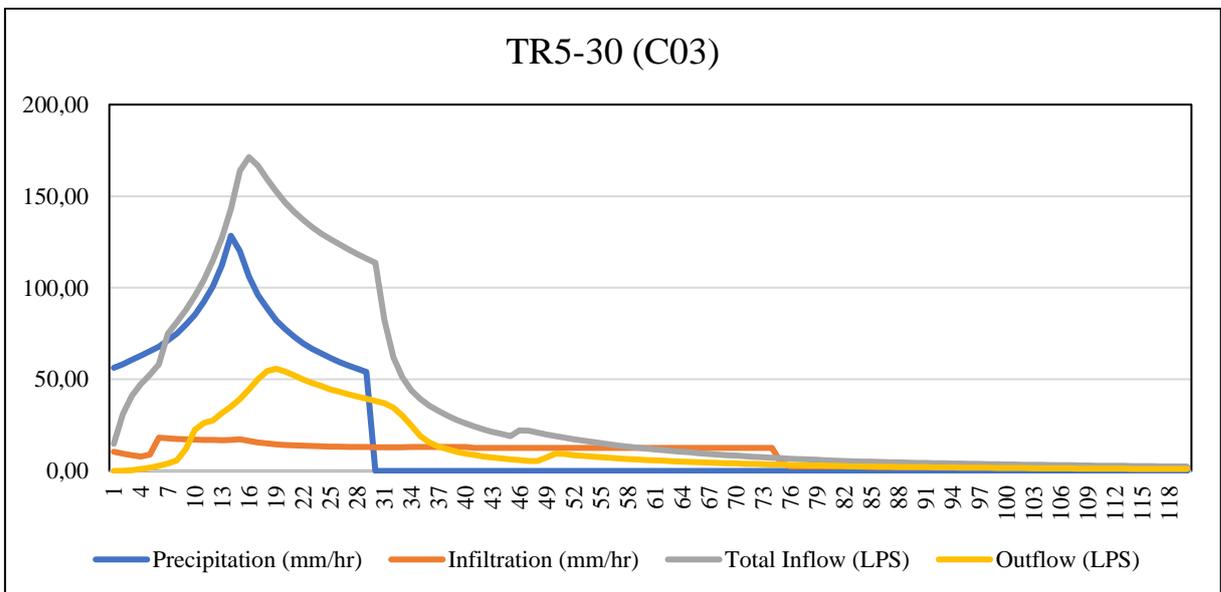
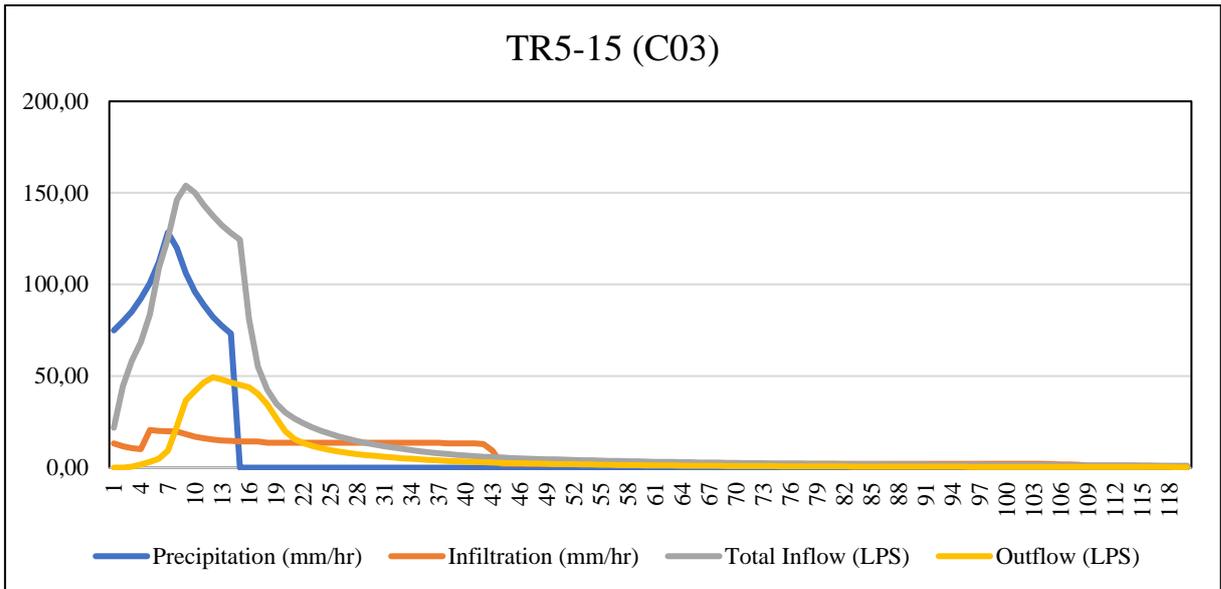


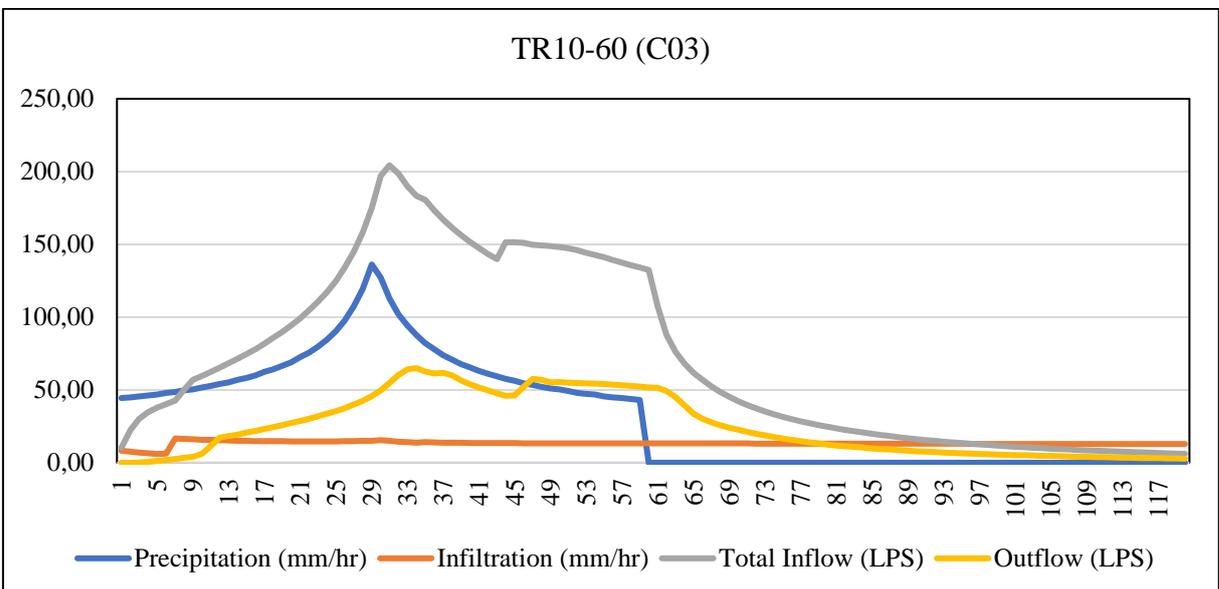
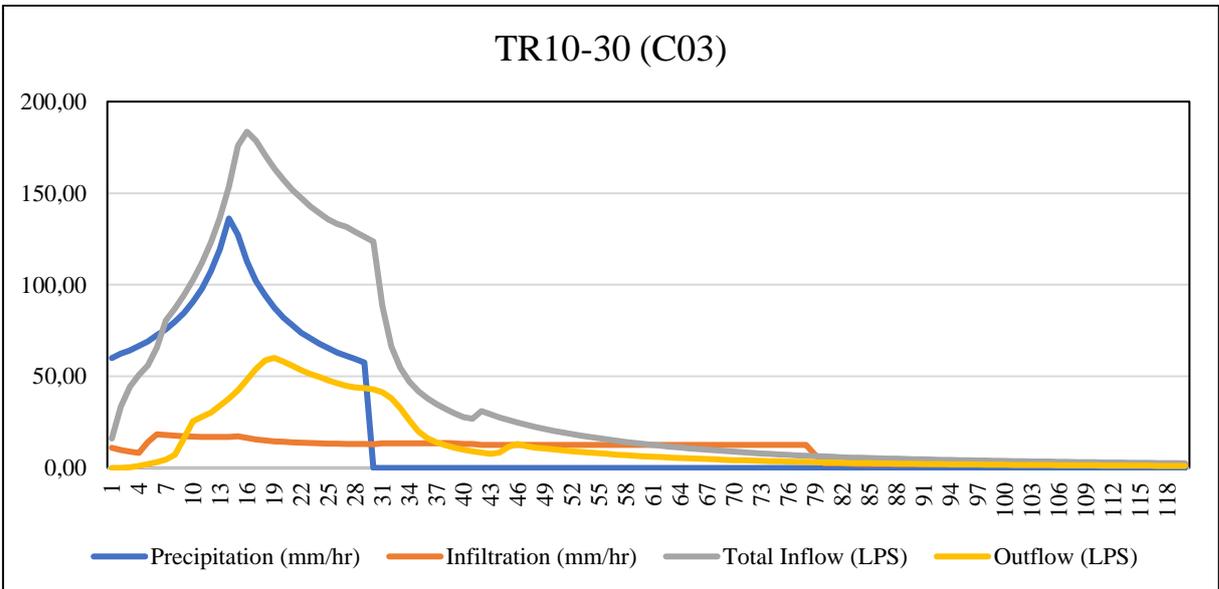
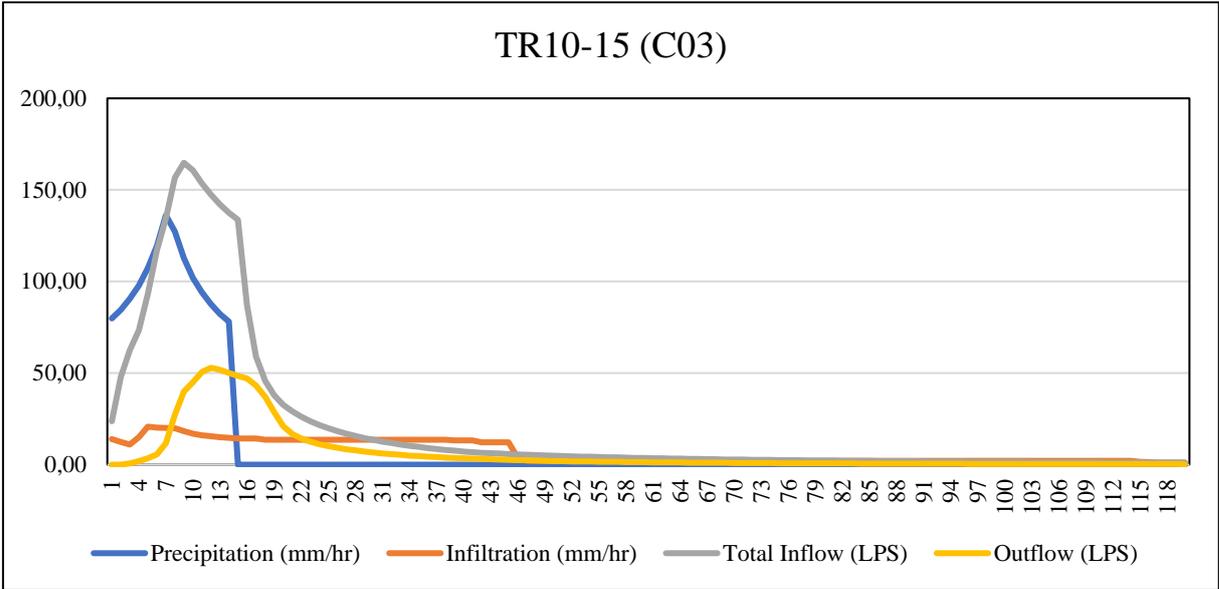


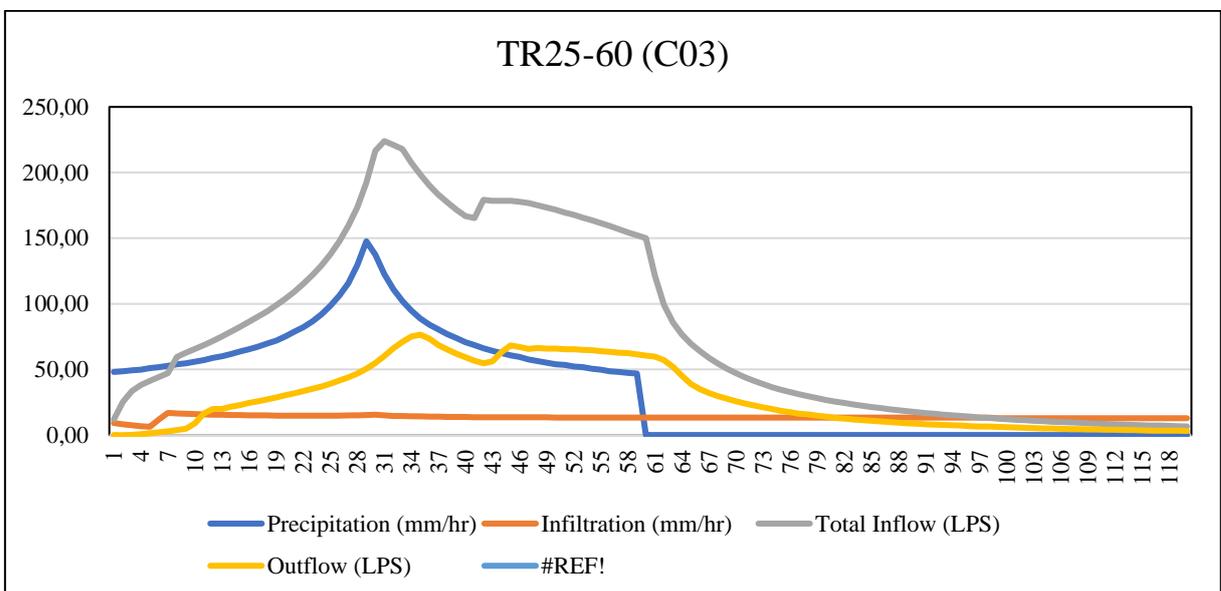
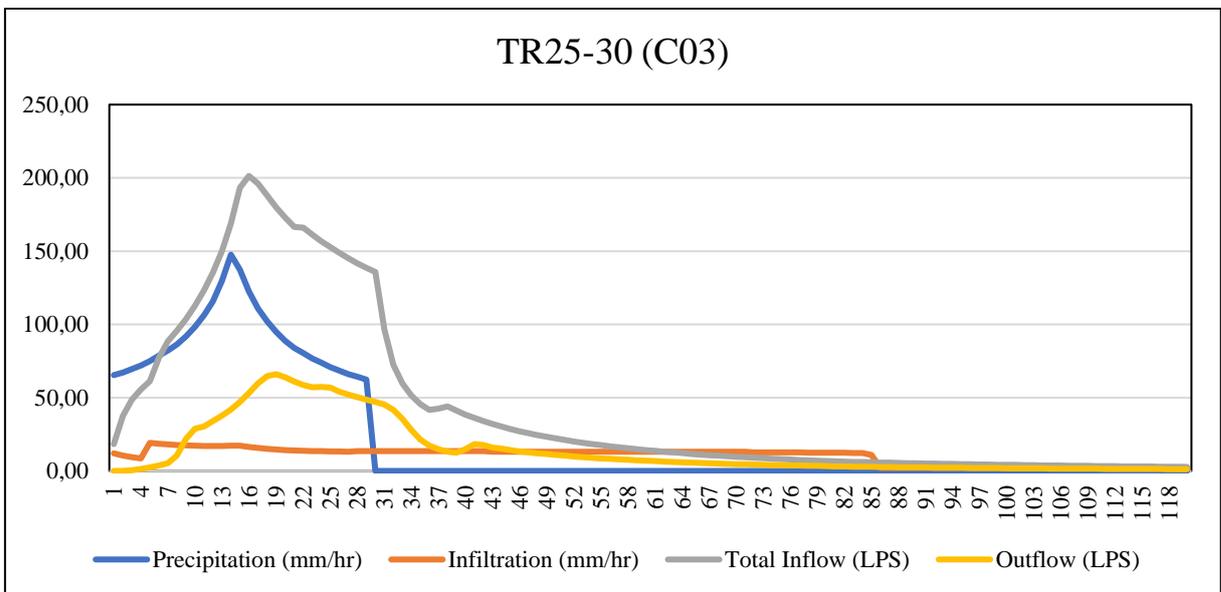
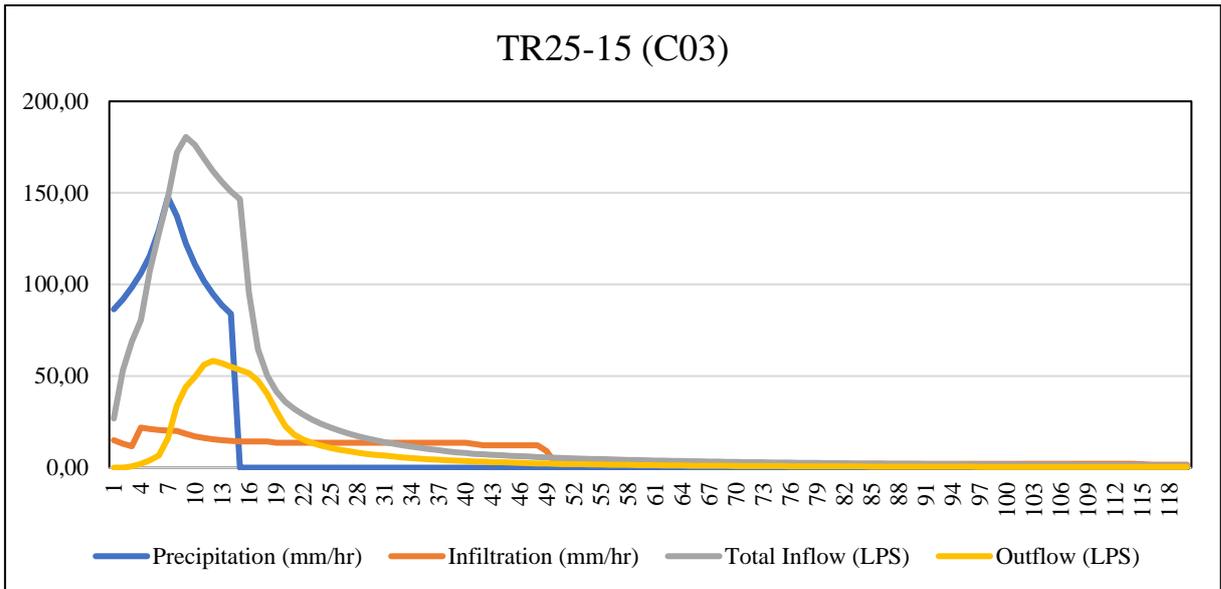












APÊNDICE C

Parâmetro *Width* do SWMM calculado para as sub-bacias determinadas em cada cenário

Largura equivalente para as sub-bacias do C00

Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)
S1	97,10	454,14	1,2849	12,740
S2	97,00	452,33	1,2861	12,690
S3	62,87	140,97	1,4932	5,457
S4	97,00	452,34	1,2861	12,690
S5	96,65	321,97	1,5190	8,037
S6	157,28	915,46	1,4659	14,310
S7	101,06	525,30	1,2435	14,737
S8	96,80	585,28	1,1283	23,766
S9	210,18	459,46	2,7651	4,604
S10	652,89	9403,83	1,8986	32,158

Fonte: Autor (2024)

Largura equivalente das sub-bacias para o C01

Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)
S1	97,10	454,14	1,2849	12,740
S2	97,00	452,33	1,2861	12,690
S3	62,87	140,97	1,4932	5,457
S4	97,00	452,34	1,2861	12,690
S5	96,65	321,97	1,5190	8,037
S6	157,28	915,46	1,4659	14,310
S7	94,26	211,53	1,8277	5,059
S8	80,00	387,04	1,1467	16,517
S9	210,18	459,46	2,7651	4,604
S10	284,03	1263,21	2,2536	9,603
S11	78,60	122,06	2,0062	3,424
S12	58,96	191,71	1,2009	9,751
S13	64,00	198,24	1,2818	8,460
S14	94,40	405,66	1,3217	11,380
S15	45,44	126,77	1,1381	9,920
S16	65,74	139,35	1,5705	5,036
S17	75,74	164,35	1,6661	5,036
S18	41,83	47,84	1,7054	2,633
S19	52,26	103,54	1,4483	4,905
S20	27,73	12,87	2,1801	1,007
S21	37,42	17,71	2,5075	1,007
S22	30,11	14,05	2,2649	1,007
S23	135,00	312,50	2,1536	5,036
S24	127,06	494,48	1,6113	9,146

S25	117,06	485,74	1,4978	10,083
S26	124,97	658,32	1,3735	13,512
S27	171,52	1564,45	1,2229	26,508
S28	169,06	1739,18	1,1432	35,653
S29	150,36	1380,92	1,1410	32,155
S30	90,78	470,34	1,1804	16,124

Fonte: Autor (2024)

Largura equivalente das sub-bacias para o C02

Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)
S1	97,10	454,14	1,2849	12,740
S2	97,00	452,33	1,2861	12,690
S3	62,87	140,97	1,4932	5,457
S4	97,00	452,34	1,2861	12,690
S5	96,65	321,97	1,5190	8,037
S6	157,28	915,46	1,4659	14,310
S9	210,18	459,46	2,7651	4,604
S10	429,22	2118,44	2,6298	10,446
S11	101,06	525,30	1,2435	14,737
S12	96,80	585,28	1,1283	23,766
S13	94,40	405,66	1,3217	11,380
S14	45,44	126,77	1,1381	9,920
S15	65,74	139,35	1,5705	5,036
S16	75,74	164,35	1,6661	5,036
S17	41,83	47,84	1,7055	2,633
S18	52,26	103,54	1,4483	4,905
S19	308,21	153,10	7,0243	1,007
S20	41,52	19,76	2,6340	1,007
S21	24,48	20,48	1,5255	2,014
S22	25,48	23,52	1,4816	2,256
S23	24,48	20,48	1,5254	2,014
S24	23,36	18,90	1,5154	1,954
S25	96,06	100,84	2,6977	2,216
S26	135,00	312,50	2,1536	5,036
S27	30,48	51,20	1,2012	5,036
S28	30,48	52,40	1,1874	5,277
S29	30,74	51,85	1,2039	5,036
S30	30,48	51,20	1,2012	5,036
S31	35,48	63,70	1,2536	5,036
S32	30,48	51,20	1,2012	5,036
S33	30,48	51,20	1,2012	5,036
S34	127,06	494,48	1,6113	9,146
S35	117,06	485,74	1,4978	10,083
S36	136,57	471,84	1,7730	7,857

S37	62,00	240,14	1,1282	15,340
S38	108,59	641,58	1,2090	17,502
S39	107,26	669,01	1,1694	19,885
S40	71,08	171,83	1,5292	5,813
S41	72,73	240,81	1,3216	8,770
S42	82,26	336,71	1,2642	11,360
S43	344,12	1501,15	2,5046	9,284

Fonte: Autor (2024)

Larguras equivalentes das sub-bacias para C03

Sub-bacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Kc	W(m)
S1	97,10	454,14	1,2849	12,740
S2	97,00	452,33	1,2861	12,690
S3	62,87	140,97	1,4932	5,457
S4	97,00	452,34	1,2861	12,690
S5	96,65	321,97	1,5190	8,037
S6	157,28	915,46	1,4659	14,310
S7	308,61	183,75	6,4203	1,209
S9	210,18	459,46	2,7651	4,604
S10	303,91	1270,28	2,4046	8,942
S11	101,06	525,30	1,2435	14,737
S12	96,80	585,28	1,1283	23,766
S13	94,40	405,66	1,3217	11,380
S14	46,22	131,04	1,1386	10,051
S15	65,74	139,35	1,5705	5,036
S16	75,74	164,35	1,6661	5,036
S17	41,83	47,84	1,7055	2,633
S18	135,00	312,50	2,1536	5,036
S19	72,00	46,20	2,9871	1,342
S20	305,55	4172,10	1,3340	35,863
S21	96,06	100,84	2,6977	2,216
S22	127,48	494,48	1,6167	9,104
S23	117,06	485,74	1,4978	10,083
S24	227,15	1112,54	1,9204	10,905
S25	82,71	336,71	1,2712	11,225

Fonte: Autor (2024)