



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

MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM LOTE URBANO PARA FINS DE
REUSO E CONTROLE DE ESCOAMENTO

Sâmia Maria Barros de Almeida

JOÃO PESSOA

2024

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

MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM LOTE URBANO PARA FINS DE
REUSO E CONTROLE DE ESCOAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal da Paraíba, como pré-requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Orientador: Prof. Gustavo Barbosa Lima da Silva

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A447m Almeida, Samia Maria Barros de.

Manejo sustentável de águas pluviais em lote urbano para fins de reuso e controle de escoamento / Samia Maria Barros de Almeida. - João Pessoa, 2024.
58 f. : il.

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

1. drenagem sustentável. 2. lote. 3. LID. 4. armazenamento de água. 5. escoamento superficial. I. Silva, Gustavo Barbosa Lima da. II. Título.

UFPB/BSCT

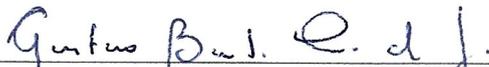
CDU 504(043.2)

FOLHA DE APROVAÇÃO

SÂMIA MARIA BARROS DE ALMEIDA

**MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM LOTE URBANO PARA
FINS DE REUSO E CONTROLE DE ESCOAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 25/10/2024 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Gustavo Barbosa Lima da Silva
Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de
Tecnologia/UEPB

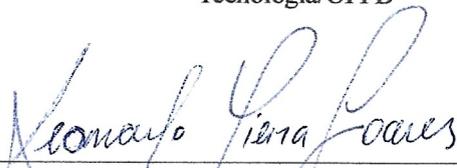
APROVADO



Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Junior
Examinador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de
Tecnologia/UEPB

APROVADO



Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares
Examinador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de
Tecnologia/UEPB

APROVADO



Profa. Dra. Aline Flavia Nunes Remigio Antunes
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, Jaime Almeida “Jaimiu” (*in memoriam*), que tanto me apoiou e com quem aprendi grandes valores de honestidade e responsabilidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença misericordiosa em minha vida, pela Sua fidelidade e amor que me sustentam sempre e pela Sua providência que me guiou nesses anos de estudo.

Aos meus pais, pela educação, cuidado e apoio incondicional, inclusive, quando decidi cursar uma nova graduação.

A todos os professores do curso, por contribuírem no meu crescimento acadêmico e profissional, especialmente, aos professores do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, dos quais cito, profa. Carmem Gadelha, profa. Claudia Coutinho, profa. Albanise Marinho, prof. Hamilcar Filgueira e prof. Leonardo Vieira. Destes recebi apoio e aprendi sobre os aspectos da engenharia, mas também sobre a vida. Senti-me acolhida e compreendida em muitos momentos e com alguns pude conviver mais e trocar experiência.

Agradeço de forma particular ao prof. Gustavo Barbosa, que acolheu o convite para me orientar nesta pesquisa e com paciência ajudou a desenvolvê-la. Nas orientações me ensinava a parte técnica da pesquisa, me passava tranquilidade, mas também me ajudou a enxergar os próximos passos quando muitas vezes estive confusa e “travada”. Ao prof. Gilson Barbosa, que me incentivou a dar continuidade ao tema que escolhi, por seu auxílio e atenção, em que sempre me passou muita motivação.

Aos colegas de curso, que muito animam, motivam e descontraem, ajudando não somente nos trabalhos das disciplinas, mas também a perseverar até o fim do curso. Nós partilhamos os momentos estressantes, mas também de alegria e incluo ainda os colegas de outros cursos, que conheci ao longo desses anos de estudo.

*“Es justo que mucho cueste aquello que
mucho vale”*

Sta. Teresa d'Ávila

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o efeito no escoamento superficial decorrente da aplicação, em lote residencial urbano, de medidas compensatórias para fins de reuso de água e controle de cheias. Foram utilizados dados reais de precipitação diária e chuvas de projeto com diferentes durações e tempos de retorno, bem como, foram propostos cenários com uso de trincheira de infiltração (cenário 2), microrreservatório (cenário 3) e a combinação do barril de chuva seguido da trincheira (cenário 4). Todos esses cenários foram avaliados em comparação com o cenário referência, sem a implantação de dispositivos de controle (cenário 1). Pelo Método de Rippl, analisou-se especificamente o sistema de armazenamento de água da chuva, tendo pré-definido um volume para o reservatório. Assim, obteve-se o volume de água da chuva aproveitada e o percentual de dias em que se atingiu certos níveis da capacidade do reservatório. Pela simulação hidrológica no SWMM, obteve-se o volume total e a vazão máxima do escoamento nos diferentes cenários. Além disso, foi feita a estimativa de custo para cada um e calculado o índice de eficiência econômica. Os resultados indicam que a redução média anual do volume escoado com o armazenamento de água da chuva em um reservatório de 5 m³ foi de 40%. Em relação, à redução da vazão de pico, o microrreservatório alcançou uma eficiência média de 23,6% com desvio padrão de 1,35%. A trincheira de infiltração apresentou sobreposição de hidrogramas nas chuvas com precipitação total a partir de 67,42 mm, chegando a ultrapassar o hidrograma do cenário de referência nos eventos mais críticos (77,62 mm e 85,14 mm). Em relação ao volume total escoado, o cenário 4, com a combinação de técnicas, reduziu de 49,9% a 30% desse volume nas chuvas entre 36,01 mm e 60,20 mm. Porém também apresentou sobreposição de hidrogramas nos eventos mais críticos. A menor estimativa de custo foi obtida no cenário 3 e a maior estimativa no cenário 2. No que se refere ao custo-benefício, o menor índice foi obtido no cenário 4 para a redução do volume total. Dessa forma, apresenta-se como a opção mais eficiente, considerando esta variável. Além disso, o microrreservatório obteve o melhor desempenho em relação à redução da vazão de pico e a trincheira de infiltração como o cenário mais desfavorável. A duração das chuvas teve maior influência nos cenários 2 e 4, tanto na redução do volume total como na redução da vazão de pico.

Palavras-chave: drenagem sustentável, lote, LID, armazenamento de água, escoamento superficial.

ABSTRACT

This research aims to evaluate the effect on surface runoff resulting from the application, in an urban residential lot, of compensatory measures for the purposes of water reuse and flood control. Real daily precipitation data and project rainfall with different durations and return times were used, as well as scenarios were proposed using an infiltration trench (scenario 2), microreservoir (scenario 3) and the combination of the rain barrel followed by trench (scenario 4). All of these scenarios were evaluated in comparison with the reference scenario, without the implementation of control devices (scenario 1). Using the Rippl Method, the rainwater storage system was specifically analyzed, having pre-defined a volume for the reservoir. Thus, the volume of rainwater used and the percentage of days in which certain levels of reservoir capacity were reached were obtained. Using the hydrological simulation in SWMM, the total volume and maximum flow rate of the runoff in the different scenarios were obtained. In addition, a cost estimate was made for each one and the economic efficiency index was calculated. The results indicate that the average annual reduction in the volume drained by storing rainwater in a 5 m³ reservoir was 40%. Regarding the reduction in peak flow, the microreservoir achieved an average efficiency of 23.6% with a standard deviation of 1.35%. The infiltration trench presented overlapping hydrographs in the rains with total precipitation starting at 67.42 mm, exceeding the hydrograph of the reference scenario in the most critical events (77.62 mm and 85.14 mm). In relation to the total volume drained, scenario 4, with the combination of techniques, reduced this volume by 49.9% to 30% in rainfall between 36.01 mm and 60.20 mm. However, it also presented overlapping hydrographs in the most critical events. The lowest cost estimate was obtained in scenario 3 and the highest estimate in scenario 2. Regarding cost-benefit, the lowest index was obtained in scenario 4 for the reduction of total volume. Therefore, it presents itself as the most efficient option, considering this variable. Furthermore, the microreservoir obtained the best performance in relation to the reduction of peak flow and the infiltration trench as the most unfavorable scenario. The duration of the rains had a greater influence on scenarios 2 and 4, both in reducing the total volume and in reducing the peak flow.

Keyword: sustainable drainage, lot, LID, water storage, surface runoff.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Trincheira de infiltração. | 16 |
| Figura 2: Microrreservatório feito em alvenaria..... | 17 |
| Figura 3: Cisterna ou barril de chuva..... | 18 |
| Figura 4: Fluxograma das etapas da pesquisa. | 24 |
| Figura 5: Representação do lote (sem escala). | 25 |
| Figura 6: Configuração dos cenários no programa SWMM. | 28 |
| Figura 7a: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 30 min | 32 |
| Figura 7b: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 60 min | 32 |
| Figura 7c: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 90 min | 32 |
| Figura 7d: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 120 min | 32 |
| Figura 8: Hidrogramas do C01 para todas as chuvas de projeto. | 35 |
| Figura 9: Volume total escoado para todas as situações..... | 36 |
| Figura 10: Percentual de redução do volume total. | 37 |
| Figura 11: Correlação entre duração da chuva e percentual de redução do volume total nos cenários 2 e 4. | 38 |
| Figura 12: Correlação entre precipitação e percentual de redução do volume total nos cenários 2 e 4..... | 39 |
| Figura 13a: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr5..... | 39 |
| Figura 13b: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr10..... | 40 |
| Figura 13c: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr25..... | 40 |
| Figura 14: Percentual da redução de vazão de pico para todos os cenários..... | 42 |
| Figura 15: Associação entre os percentuais de redução da vazão de pico e da redução do volume total..... | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Camadas obrigatórias (x) e opcionais (o) para cada dispositivo LID..... | 23 |
| Tabela 2: Cenários e as dimensões padrões dos dispositivos adotados. | 26 |
| Tabela 3: Níveis de água no reservatório. | 27 |
| Tabela 4: Parâmetros das sub-bacias utilizados no SWMM. | 29 |
| Tabela 5: Parâmetros dos dispositivos LIDs utilizados no SWMM. | 30 |
| Tabela 6: Composições e insumos para cada dispositivo..... | 31 |
| Tabela 7: Percentual da média anual de dias a partir do nível do volume armazenado..... | 32 |
| Tabela 8: Precipitação de projeto (mm). | 32 |
| Tabela 9: Volume total, profundidade por unidade de área (h) e vazão de pico (Qp)..... | 34 |
| Tabela 10: Volume total e percentual de redução para cada cenário. | 36 |
| Tabela 11: Vazão de pico (L/s), tempo para atingí-la (min) e percentual de redução para cada cenário. | 39 |
| Tabela 12: Índice de eficiência econômica (I) relacionado à redução do volume de escoamento superficial. | 47 |
| Tabela 13: Índice de eficiência econômica (I) relacionado ao volume armazenado e à redução da vazão de pico para o C03..... | 47 |
| Tabela A-14: Médias anuais dos valores utilizados no Método de Rippl e os percentuais de aproveitamento de água da chuva para cada ano..... | 56 |
| Tabela B-15: Tempo para atingir a capacidade de armazenamento total utilizada do microrreservatório..... | 57 |
| Tabela C-16: Índice de eficiência econômica relacionado à redução da vazão de pico em todos os cenários. | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 OBJETIVOS | 12 |
| 3 DRENAGEM URBANA: HISTÓRIA E CONCEITO..... | 12 |
| 4 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS..... | 14 |
| 4.1 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS OU SUSTENTÁVEIS..... | 15 |
| 4.1.1 Trincheiras de Infiltração..... | 16 |
| 4.1.2 Microrreservatórios | 17 |
| 4.1.3 Cisterna ou barril de chuva..... | 18 |
| 4.2 APROVEIDAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA..... | 19 |
| 4.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS | 20 |
| 5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO NO SWMM..... | 21 |
| 6 METODOLOGIA | 24 |
| 6.1 ÁREA DE ESTUDO | 24 |
| 6.2 CENÁRIOS E DISPOSITIVOS LID | 25 |
| 6.3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA REUSO..... | 26 |
| 6.4 CHUVA DE PROJETO (HIETOGRAMA) | 27 |
| 6.5 MODELAGEM NO SWMM..... | 28 |
| 6.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS..... | 30 |
| 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 7.1 ÁGUA ARMAZENADA PARA REUSO..... | 31 |
| 7.2 CHUVA DE PROJETO E HIETOGRAMA..... | 32 |
| 7.4 ESCOAMENTO NO LOTE COM IMPLANTAÇÃO DE LIDS (CENÁRIOS 2, 3 E 4) | 35 |
| 7.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS..... | 46 |
| 8 CONCLUSÃO | 48 |
| REFERÊNCIAS..... | 50 |
| APÊNDICE A – Aplicação do método de Rippl para o balanço do sistema de armazenamento de água da chuva | 56 |
| APÊNDICE B – Capacidade de armazenamento total do microrreservatório utilizada | 57 |
| APÊNDICE C – Índice de eficiência econômica..... | 58 |

1 INTRODUÇÃO

Os dados mais recentes do Diagnóstico Temático sobre drenagem, tomando como referência o ano de 2022, indicam que, no Brasil, 4,3%, dos domicílios estão submetidos ao risco de inundação. Especificamente em João Pessoa, 5800 domicílios (1,4%) encontram-se nessa situação. As vias públicas com cobertura de redes de drenagem ou canais pluviais em área urbana corresponde a uma taxa de 27,6% (SNIS, 2023).

O diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento Básico, mostra 98 pontos onde há alagamentos frequentes, além de, 15 locais onde ocorrem inundações mais sérias (PMSB-JP, 2015). A ocorrência destes eventos se deve a inúmeros fatores, como a obstrução das sarjetas, galerias e bocas de lobo pelo acúmulo de resíduos e excesso de vegetação, falta de planejamento urbano e manutenção dos sistemas de drenagem (Lima; Filgueira, 2018; PMSB-JP, 2015; Pompêo, 2000).

No entanto, a causa originária dos problemas de drenagem urbana se deve à substituição da cobertura vegetal por áreas impermeabilizadas, que ocorreu com a urbanização. Alterou-se os processos físicos do ciclo hidrológico e gerou-se impactos negativos relacionados ao escoamento superficial. Este percebido, inclusive, pelo aumento na magnitude e frequência das inundações (Miguez; Veról; Rezende, 2015; Meneses *et al.*, 2012).

Historicamente, as intervenções propostas para reduzir esses impactos e controlar as cheias, consistem na implantação de medidas estruturais, como a canalização de corpos hídricos e construção de redes de micro e macrodrenagem. Porém, são medidas que se mostram insuficientes frente à contínua mudança da cobertura do solo. Assim, surgem novas medidas influenciadas pelo conceito de sustentabilidade, tendo a mesma finalidade de mitigar os impactos, mas a partir dos próprios processos naturais (Cordero *et al.*, 2012; Miguez; Veról; Rezende, 2015; Tucci; Porto; Barros, 1995; Tucci, 2012).

No Brasil, de 2010 para 2019, a quantidade de pesquisas relacionadas à essas medidas sustentáveis aumentaram. A captação de água da chuva é uma das principais medidas estudadas, porém, a maioria dos estudos não tem foco no controle do escoamento pluvial (Davidovitsch *et al.*, 2023). As soluções apropriadas para solucionar o problema das inundações vem de estudos relacionados à ocorrência de chuvas intensas. Mas as ações concretas devem considerar o estudo dos processos hidrológicos numa abordagem que une aspectos naturais, do sistema urbano e da sociedade (Pompêo, 2000).

Diante disso, este trabalho uni-se à busca por alternativas frente aos problemas de drenagem urbana. Tenta contribuir para o conhecimento do desempenho de medidas sustentáveis e para a redução do impacto gerado no escoamento superficial. Então, propõe-se a

avaliar o efeito da aplicação de medidas compensatórias e do armazenamento de água para reuso no escoamento superficial de um lote padrão em zona residencial com alta densidade na área urbana do Município de João Pessoa (PB).

2 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Avaliar o efeito no escoamento superficial decorrente da aplicação, em lote residencial urbano, de medidas compensatórias para fins de reuso de água e controle de cheias.

Objetivos específicos:

- Analisar o volume de água da chuva desviada do sistema de drenagem urbana para um reservatório de capacidade pré-definida;
- Descrever o comportamento hidrológico das medidas compensatórias diante de diferentes eventos de chuva;
- Examinar a eficiência das medidas no controle do volume total e da vazão de pico por meio da modelagem;
- Examinar a influência da magnitude dos eventos de chuva no desempenho hidrológico das medidas compensatórias.
- Determinar a estimativa de custos da implantação de cada cenário proposto.

3 DRENAGEM URBANA: HISTÓRIA E CONCEITO

A drenagem urbana consiste numa infraestrutura responsável por captar a água da chuva que escoar no solo impermeável de determinada área e direcioná-la para seu destino, sem que fique acumulada (Miguez; Veról; Rezende, 2015). Sob o olhar legal, que está vinculado aos serviços de saneamento, trata-se das

[...] atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes (Brasil, 2020, p. 3).

A concepção da drenagem urbana está intimamente ligada à história do desenvolvimento do saneamento básico. Este, passou pela fase pré-higienista, na qual havia maior preocupação em evitar a proliferação de doenças causada pela contaminação das fontes de abastecimento utilizadas pela população. O esgoto não era coletado nem tratado, ficando em fossas ou na drenagem (Tucci, 2012).

Houve, então, a coleta e o transporte dos efluentes para jusante, mas ainda sem tratamento, dando continuidade ao cenário de poluição agravado pelo aumento da população nos centros urbanos, após a II Guerra Mundial, o que caracterizou a fase higienista. Em ambas, ocorriam inundações, mas na segunda, começou-se a utilizar a canalização de rios naturais (Tucci, 2012).

Entre 1970 e 1990, inicia-se a fase corretiva com o tratamento do esgoto e uso de medidas para amortecer o escoamento ao invés da contenção por canais. O período foi marcado pela recuperação de rios e construção de obras hidráulica, mas ainda havia poluição decorrente de inundações. Depois de 1990, iniciou a fase denominada de desenvolvimento sustentável, intensificando o uso de medidas para o tratamento de efluentes e águas pluviais e para conservar o escoamento natural e uso de infiltração (Tucci, 2012).

Antes mesmo dessas fases, as civilizações antigas já realizavam obras de drenagem relacionadas, inicialmente, à irrigação. Depois passaram a ser utilizadas para impedir alagamentos e para a captação e reuso da água armazenada. Além disso, em locais alagados, a água era drenada para dar espaço à ocupação urbana (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

Com o desenvolvimento, nem todos os países ou cidades passaram por todas as fases citadas, alguns se encontram em transição de uma fase para outra, o que embasa a visão conceitual frente às decisões para solução de problemas (Tucci, 2012). Historicamente, em relação às enchentes, essas soluções não foram tomadas com base na integração de sistemas naturais e urbanos, definindo o planejamento somente como execução de obras para diminuir cheias (Pompêo, 2000).

Da mesma forma, a visão de que as enchentes eram decorrentes somente do excesso de chuvas sem considerar o funcionamento da bacia hidrográfica. Visão que deu base aos projetos convencionais de drenagem, os quais buscavam adequar-se às modificações causadas pela urbanização e aos novos padrões de escoamento. Esta é sem dúvida a causa da alteração nos processos hidrológicos mais importante (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

O processo de urbanização ocorreu após a Revolução industrial, causando o crescimento das cidades de forma desordenada e acelerada com expansão em termos de espaço e densidade populacional. As consequências negativas foram percebidas em vários aspectos, como alteração do ciclo hidrológico, habitações inadequadas, poluição e problemas de saúde. Mas uma das principais foi a mudança no uso do solo, substituindo a cobertura vegetal por superfícies impermeáveis (Andoh; Iwugo, 2002; Benevolo, 2001; Miguez; Verol; Carneiro, 2012).

Com isso, os processos físicos do ciclo hidrológico de infiltração, evaporação, recarga do lençol freático e interceptação ficam reduzidos, e conseqüentemente, há alteração da quantidade e qualidade da água que escoar na superfície em decorrência dos eventos de chuva. Portanto, aumento dos fluxos máximos de escoamento, do volume e na magnitude e frequência de inundações no período chuvoso (Miguez; Veról; Rezende, 2015). A drenagem urbana, então, surge na tentativa de minimizar esses impactos e controlar esses processos (Tucci; Porto; Barros, 1995).

A mudança de visão sobre a drenagem urbana acontece, nas últimas décadas, com a influência do conceito de sustentabilidade na concepção do planejamento urbano e a importância dada ao meio ambiente. Exige-se uma releitura da forma de pensar o controle de cheias e a própria drenagem, implicando em novas ações e dando origem ao termo drenagem urbana sustentável (Miguez; Veról; Rezende, 2015; Pompêo, 2000).

A nova visão reconhece a “complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade”. Além disso, houve a percepção de que o sistema de drenagem não respondia completamente aos desafios dessa área. De um olhar local, que precisa adequar-se ao novo perfil do escoamento e controlar cheias, passa-se para um olhar integrado e difuso, que atua na prevenção com práticas sustentáveis (Miguez; Veról; Rezende, 2015; Pompêo, 2000, p. 16).

4 MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O manejo das águas pluviais é parte da gestão dos recursos hídricos, devendo estar integrado ao saneamento ambiental. As atividades planejadas precisam estar integradas, inclusive, ao planejamento urbano da cidade. A concepção tradicional de drenagem urbana apresenta projetos tecnicamente adequados para solucionar os problemas. Porém, com o crescimento da demanda por infraestrutura, tornam-se ineficientes, requerendo altos investimentos para manter o funcionamento (Pompêo, 2000).

O sistema de drenagem convencional é determinado pelo conjunto de elementos, que, conectados, realizam a captação e transporte da água da chuva escoada numa região. É composto pela macro e microdrenagem, devendo proteger a qualidade ambiental, reduzir alterações hidrológicas e a exposição ao risco de inundações, bem como, reduzir os danos causados, dentre outros objetivos. As falhas desse sistema ocasionam alagamentos, inundações e enxurradas (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

A partir do desenvolvimento do conceito de drenagem numa visão mais abrangente e ecossistêmica, surgem novas abordagens, visando reproduzir as características de escoamento

antes da urbanização e tornar os projetos de controle de inundações mais sustentáveis. É o caso das Melhores Práticas de Gerenciamento (*Best Management Practices – BMPs*), dos Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*) e dos projetos de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development – LID*) (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

As BMPs apresentam mais de 10 técnicas relacionadas ao tratamento da qualidade da água pluvial, à redução do escoamento e ao controle de inundações (AECOM *et al.*, 2016). Os SUDS apresentam uma proposta para redução do escoamento em pequenas unidades e o LID traz de integração à estética paisagística, a partir de técnicas de infiltração e armazenamento. Esta última, tornou-se mais popular depois da publicação do documento *Low-Impact Development Design Strategies* (Miguez; Veról; Rezende, 2015; Prince George's County, 1999).

4.1 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS OU SUSTENTÁVEIS

As medidas compensatórias surgem pela busca em reduzir os danos sobre o ciclo hidrológico gerados pelo processo de urbanização. São propostas de soluções que trazem o conceito sustentável para desenvolvimento das cidades com o intuito de resgatar os processos perdidos com a impermeabilização do solo (Miguez; Veról; Rezende, 2015).

São identificadas como dispositivos de controle na fonte por atuarem de forma difusa na origem do escoamento, sem transferir o problema para jusante. Promovem a infiltração da água no solo ou seu armazenamento, com o objetivo de controlar e/ou tratar o escoamento, reduzindo volume e vazões máximas. As práticas ainda auxiliam na recarga dos aquíferos e fomentam o reuso da água (AECOM *et al.*, 2016; Canholi, 2014; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

Dentre essas práticas estão as trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, microrreservatórios, cisternas, valas de infiltração, telhados verdes, biorretenção e jardins de chuva. Nos últimos anos, observa-se o crescente número de pesquisas envolvendo essas técnicas, sendo a biorretenção, a captação de chuva e os telhados verdes aquelas mais exploradas (Davidovitsch *et al.*, 2023). Avalia-se a efetividade frente aos eventos de chuva como nos estudos de Locatelli *et al.* (2015) e Marotto *et al.* (2019) e às situações de inundação, a exemplo do estudo de Diniz (2022).

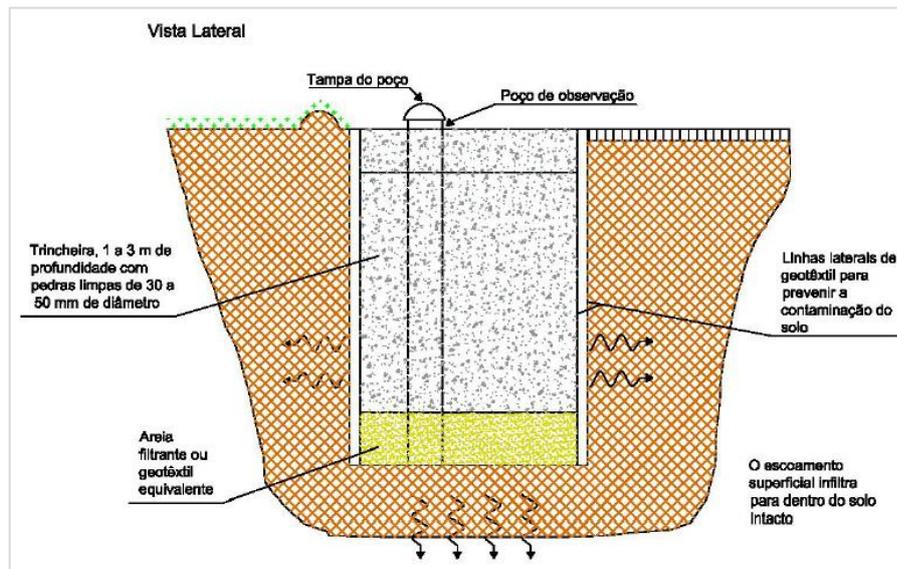
Os dispositivos podem ser aplicados em áreas públicas e em lotes individuais, complementar a drenagem tradicional, em associação com áreas de lazer e melhorar o paisagismo do ambiente urbano. Destaca-se os benefícios ambientais decorrentes da infiltração,

retenção de sedimentos e poluentes e economia de água potável. Mas a falta de manutenção pode ocorrer em proliferação de vetores ou mal funcionamento do sistema (Curitiba, 2002; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

4.1.1 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras utilizam-se do processo de infiltração e percolação da água no solo para controlar o escoamento por meio de até 100% da redução de volume, a depender das suas dimensões. Elas são estruturas longas e estreitas concebidas a partir de valas escavadas e preenchidas por material granular, como brita e cascalho, envolvido por uma manta geotêxtil (Figura 1). Esta funciona como filtro e evita a colmatagem, impedindo que grãos finos de solo entrem na estrutura (AECOM *et al.*, 2016; IPH, 2005; Miguez; Veról; Rezende, 2015; Suderhsa, 2022).

Figura 1: Trincheira de infiltração.



Fonte: Ciria (1996) *apud* IPH (2005).

Esses dispositivos são limitados pela profundidade do lençol freático para evitar contaminação, bem como, pelo baixo valor da taxa de infiltração, interferindo na permeabilidade do solo. Assim, quanto maior a taxa de infiltração do solo nativo, maior efetividade da trincheira (AECOM *et al.*, 2016; IPH, 2005; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

De acordo com Urbonas e Stahre (1993) elas não devem ser utilizadas em locais com solos que possuem a condutividade hidráulica saturada menor que 7,6 mm/h ou que a profundidade do lençol freático seja menor que 1,2 m no período chuvoso. Além disso, não é recomendada a implantação em áreas com grandes declividades e em regiões comerciais ou

industriais ou com atividades que possuam risco de contaminação (Lucas, 2011; Curitiba, 2002).

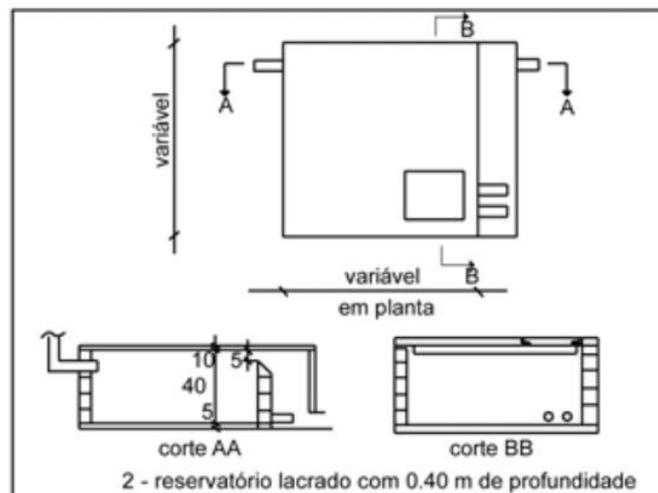
A perda de eficiência também ocorre ao longo do tempo, influenciada pela quantidade de material sólido transportado para dentro do dispositivo, indicando-se a limpeza mesmo com uso de manta geotêxtil (IPH, 2005). Além de diminuir o volume e a vazão máxima do escoamento superficial, promove a recarga do lençol freático e melhora da qualidade da água (AECOM *et al.*, 2016; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

4.1.2 Microrreservatórios

São chamados de reservatório de lote e fazem parte das medidas compensatórias de armazenamento. Acumulam água temporariamente, enquanto ocorre o pico máximo do escoamento e, esta água, é, então, descarregada lentamente na rede de microdrenagem por um orifício no fundo. Ele pode ser enterrado ou aberto, quando instalado na superfície; e estanque ou de infiltração, quando não há orifício, mas ocorre infiltração no solo. Assim, simulam a interceptação feita pela vegetação, antes da urbanização, ou o armazenamento no solo (Curitiba, 2002; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

Eles são estruturas simples semelhantes a uma caixa, sendo feita de alvenaria ou concreto e aplicada em lote urbano comercial ou residencial (Figura 2). Normalmente, não necessitam de adequações urbanísticas ou arquitetônicas, mas são limitadas pela profundidade do sistema de microdrenagem, uma vez que, a descarga ocorre por gravidade. A fim de impedir o entupimento de condutos, provocando a acúmulo de água e proliferação de mosquitos, deve haver manutenção periódica (Curitiba, 2002; Miguez; Veról; Rezende, 2015).

Figura 2: Microrreservatório feito em alvenaria.



Fonte: Cruz *et al* (1998) *apud* Costa Junior e Barbassa (2006).

Esse tipo de dispositivo, aplicado à diversos lotes de uma mesma região, mostrou-se eficiente na redução da vazão de pico em até 63%, mas também diminuiu a altura da lâmina d'água relativa máxima nas galerias da rede de microdrenagem (Lima Neto *et al.*, 2024). Este fato pode gerar economia na rede, diminuindo os diâmetros das tubulações, por exemplo. Mas somente reduz parte dos impactos, uma vez que, ainda existe a impermeabilização de ruas e calçadas das áreas públicas (Lima Neto *et al.*, 2024; Silveira; Tucci; Cruz, 1998).

4.1.3 Cisterna ou barril de chuva

São dispositivos utilizados para coleta e armazenamento de água da chuva, que escoam a partir do telhado de edificações, para posterior utilização (Figura 3). Ocupam pouca área dentro do lote, variando de acordo com o volume armazenado, e podem reduzir o volume do escoamento e cargas de poluentes. A cisterna é também definida como uma variante do microrreservatório, mas, sem o descarregador de fundo (AECOM *et al.*, 2016; Curitiba, 2002; Rossman; Simon, 2022).

Figura 3: Cisterna ou barril de chuva.



Fonte: Rossman e Simon (2022).

A utilização desse dispositivo é limitada pelo tipo de telhado da edificação. Assim, com uso da telha de amianto, por exemplo, ele deve ser evitado. A manutenção exigida está relacionada à limpeza periódica e à vedação, evitando riscos sanitários (AECOM *et al.*, 2016; Curitiba, 2002).

Em Curitiba, a comparação entre cisterna e microrreservatório mostrou o mesmo comportamento em precipitações de grande intensidade, porém, extravasam maior volume de água frente às precipitações de baixa intensidade e duração. A situação é agravada quando não há área permeável no lote que sirva para infiltração, considerando a substituição de um sistema

pelo outro ineficiente (Schina, 2022). Em contrapartida, os dispositivos mostraram-se eficientes na mitigação de 3 a 11% do escoamento superficial em Indiana (EUA), considerando aplicação em 50% da área de bacias altamente urbanizadas (Ahiablame; Engel; Chaubey, 2013).

4.2 APROVEIDAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Os primeiros relatos referentes ao uso de água da chuva datam de milhares de anos, como na Jordânia, em que se armazenava água no período chuvoso para ser utilizada no período seco. Os Incas a utilizavam em sistemas de banho, sendo transportadas do reservatório em condutos escavados em rochas. Em locais, como a Palestina, o uso da água da chuva era realizado em tempos de guerra e pacíficos como única fonte de água potável (Abdelkhaleq; Ahmed, 2007; Heller; Pádua, 2006).

Porém, com o aumento da demanda e o surgimento de critérios de potabilidade, essa prática passou a ser uma alternativa para o abastecimento de água (Azevedo Netto *et al.*, 1973). Cenário que mudou nas últimas décadas devido à crescente preocupação com a poluição e segurança hídrica, tornando-se uma técnica incentivada para reduzir o consumo e descarregar o sistema de abastecimento de água (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016; Santos, 2021).

Os Sistemas de Aproveitamento de Água da Chuva (SAAC) são compostos basicamente pela superfície de captação, como telhado de edificações; sistema de transporte; filtro; tanque para armazenar a água; tratamento a depender do uso; e rede de distribuição (Sacadura, 2011). Além desses, existem aspectos variáveis ao longo do tempo que influenciam no seu dimensionamento: as séries de precipitação e as demandas a serem atendidas. Esta última é dada como um dos maiores desafios para definir o volume ideal do reservatório, ponderando custos e eficiência no seu atendimento (Perius, 2016).

Eles devem ser projetados de acordo com o clima do local, pois sofrem influência das características pluviométricas (Santos, 2021). Locais que ao longo do ano apresentam boa distribuição do regime de chuvas possuem maior potencial no atendimento das demandas. Em locais com períodos secos e maior sazonalidade nesse regime, devem contar com outro tipo de fornecimento de água (Perius *et al.*, 2021). Outro elemento presente no sistema é o dispositivo de descarte das primeiras águas. Ele melhora a qualidade da água armazenada, favorecendo também a diminuição de custos para manutenção (Perius *et al.*, 2021; Santana, 2012).

Estudos mostram que a economia com água proveniente da rede de abastecimento pode chegar em torno de 80%, diante dos usos de lavanderia, irrigação e descarga de vasos sanitários (Ghaffarianhoseini *et al.*, 2016). Em países, como Alemanha e Japão, a implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva cresceu em, aproximadamente, dois terços das

novas construções unifamiliares e em 10 vezes de 1990 a 2012, respectivamente. Crescimento devido ao incentivo de políticas públicas e financeiro por parte do governo (Campisano *et al.*, 2017; Schuetze, 2013).

No Brasil, estudo em 71 municípios na região agreste de Pernambuco, mostrou que a economia de água da rede de abastecimento pode chegar a 25%, reduzindo os dias de racionamento (Santos; Farias, 2017). Houve crescente quantidade de estudos relacionados à captação de água, nos últimos, porém, a maioria, não trata sobre o tema do controle de cheias (Davidovitsch *et al.*, 2023). Aspecto relacionado aos benefícios ambientais, decorrente do uso de SAAC, como à redução do volume de escoamento superficial, além da conservação dos corpos hídricos (Perius *et al.*, 2021).

4.3 LEGISLAÇÃO E NORMAS

No Brasil, as questões referentes à drenagem urbana são colocadas em segundo plano pelo poder público, apesar dos impactos negativos que tem causado (Silva; Teixeira, 2023). No país não há legislação federal voltada especificamente para o tema. As leis mais próximas são a Lei nº 11.445/2007, que traz diretrizes sobre o saneamento básico e foi atualizada pela Lei nº 14.026/2020, e a Lei nº 9433/1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Esta última, cita a prevenção e defesa frente aos eventos hidrológicos como um dos objetivos, incentivando a “a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais” (Brasil, 1997, p. 470). Já as Leis nº 11.445/2007 e nº 14.026/2020, especificamente sobre o eixo do saneamento básico de drenagem, indicando a criação do Plano Diretor de Drenagem Urbana, incluso como parte dos Planos de Saneamento Básico Municipais.

Elas reforçam o incentivo ao “reuso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas de chuva” como diretriz presente no plano federal de saneamento. Além disso, preveem taxa reduzida aos usuários de serviços pagos por adotarem dispositivos de aproveitamento de água ou para amortecimento de vazão (Brasil, 2007; Brasil, 2020, p. 6).

Todas as capitais brasileiras apresentam alguma legislação voltada para o uso de medidas sustentáveis, porém, não há variedade das técnicas. Aqueles que possuem legislação, indicando o uso de um número maior dessas técnicas são os que sofrem com inundação e as indicam como forma de mitigação dos problemas de drenagem. Os dispositivos mais citados em lei são os reservatórios de retenção/detecção, seguido pelos SAAC, em contrapartida, a minoria refere-se ao uso de trincheiras e telhados verde (Silva; Teixeira, 2023).

Em João Pessoa, o Decreto nº 5900/2007 estabelece instruções normativas de aprimoramento da legislação urbanística, incluindo orientações sobre áreas verdes ou permeáveis na cidade. Outro documento oficial importante, voltado para gestão, é o Plano de Saneamento Básico que traz o diagnóstico e medidas relacionadas ao eixo de drenagem. Dispondo sobre esse tema, a Lei Complementar nº 93 de 2015, trata sobre a Política Municipal de Saneamento Básico e traz como dever dos usuários desses serviços: dar prioridade ao armazenamento de água destinada à infiltração ou para reuso.

Em contrapartida, alguns municípios aplicam em lei a obrigatoriedade do uso de certos dispositivos com o intuito de minimizar os impactos da impermeabilização do solo no escoamento. A Lei Municipal nº 18.112/2015 de Recife, obriga o uso de telhado verde, além de microrreservatórios e SAAC, para edificações com certas características. Em Curitiba, novos empreendimentos acima de 3000 m² são obrigados a adotar dispositivos de contenção de cheias para detenção e/ou retenção de água da chuva (Curitiba, 2020).

Diante disso, alguns institutos e agências elaboram documentos de orientação e manuais técnicos com especificações dos projetos de drenagem. É o caso de Curitiba com o Manual de Drenagem Urbana para a Região Metropolitana de Curitiba; da cidade de São Paulo com o Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais: Aspectos Tecnológicos; e de Porto Alegre com Manual de Drenagem Urbana, vinculado ao Plano Diretor de Drenagem Urbana.

Em relação à captação de água da chuva, tem-se a Norma Brasileira (NBR) 15527 atualizada em 2019, que trata de requisitos técnicos para o aproveitamento de água para fins não potáveis. Inclui os parâmetros de qualidade da água exigidos por legislação específica e ressalta critérios para o dimensionamento, como a viabilidade técnica, econômica e ambiental. Propõe, ainda, a possibilidade de a água excedente dos reservatórios ser destinada à infiltração (ABNT, 2019).

Dos 26 estados mais o Distrito Federal, somente 7 possuem legislação voltada, especificamente, para o aproveitamento de água da chuva. Todas com o objetivo principal de atender às demandas de água não potável e não o escoamento superficial. Porém, metade das legislações cita sua redução como benefício dos SAAC (Pacheco *et al.*, 2017).

5 MODELAGEM E SIMULAÇÃO NO SWMM

O uso da modelagem para simular processos hidrológicos e hidráulicos auxilia na interpretação e previsão de fenômenos, considerando seus aspectos quantitativos e qualitativos. Tornaram-se ferramentas importantes para análise de eventos complexos, como o estudo das

águas subterrâneas e do escoamento superficial, pois permitem processar e analisar dados, bem como, avaliar modelos teóricos (Dias; Drumond; Silva, 2019; Santos, 2009).

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um *software* desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em 1971. Trata-se de um modelo dinâmico para simulação do escoamento superficial, principalmente de áreas urbanas, em termos de quantidade e qualidade. Utiliza-se de sub-bacias que recebem precipitação de um único evento ou contínua à longo prazo, gerando escoamento e cargas de poluentes (Rossman; Simon, 2022).

É possível avaliar situações a partir do comportamento hidrológico e hidráulico com uso de diversos elementos, como canais e tubulações, bombas, dispositivos de armazenamento e tratamento, incluindo diversos tipos de LID's. Há também variados processos hidrológicos que podem ser considerados na simulação, a exemplo da evaporação, infiltração e percolação, acumulação e degelo de neve, precipitação que varia no tempo, captação e retenção dessa precipitação entre outros (Rossman; Simon, 2022).

Avaliações do modelo o mostram como adequado para realizar simulações hidrológicas de média e grande escala (Niazi *et al.*, 2017). Além disso, foi satisfatório em simular oito de nove técnicas LIDs (Platz; Simon; Tryby, 2020). Comparando os dispositivos *storage unit* e *rain barrel* para simular microrreservatórios, verificou-se que, o programa “pode apresentar inconsistências devido aos erros de continuidade de massa em relação ao escoamento e à propagação de vazões”. Houve diferença nos valores obtidos pelos diferentes métodos de cálculo, porém, foram eficientes em determinar o amortecimento do hidrograma da bacia (Dias; Drumond; Silva, 2019).

O SWMM pode ser interligado a outras ferramentas ou modelos, como o GIS¹, o SWAT², OGS³ e o USGS VS2D⁴ (Niazi *et al.*, 2017). Com o GIS, é possível tornar os resultados da simulação mais confiáveis, pois oferece ao SWMM características da bacia hidrográfica urbana mais precisa (Qiuwen, 2015). O uso combinado com o SWAT amplia a análise de uma área, uma vez que, este gera dados de escoamento de diversos usos do solo e o SWMM do escoamento urbano (Kim *et al.*, 2011).

Seus principais usos estão relacionados ao dimensionamento de redes de drenagem; dimensionamento de estruturas voltadas para retenção de água, bem como, os acessórios que

¹ Sistemas de Informação Geográfica.

² Soil & Water Assessment Tool.

³ OpenGeoSys.

⁴ *Software* desenvolvido por *Geological Survey* (U.S.).

controlam inundações; delimitar essas zonas inundadas; avaliar a eficácia de técnicas sustentáveis e práticas de manejo, inclusive, envolvendo o carreamento de poluentes; e avaliar o impacto de infiltração e afluência da água da chuva em transbordamentos de esgoto sanitário (Rossman; Simon, 2022).

Cada aspecto do objeto de estudo tem uma representação, a qual recebe os dados que o caracterizam. As áreas são representadas por sub-bacias, que funcionam como reservatórios, recebendo água de chuvas definidas em pluviômetros. Os parâmetros hidráulicos são representados a partir de condutos, orifícios, vertedores e bombas. Os LID's são representados a partir de camadas verticais predefinidas, obrigatórias ou não, que diferem de acordo com o dispositivo (Tabela 1) (Rossman; Simon, 2022).

Tabela 1: Camadas obrigatórias (x) e opcionais (o) para cada dispositivo 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: Manual do SWMM (Rossman; Simon, 2022).

Em relação ao modelo computacional utilizado no SWMM, que toma por base princípios de conservação de massa, energia e quantidade de movimento, cada processo físico tem seus métodos de cálculo específicos. Para o escoamento superficial, que ocorre depois de superado o armazenamento em depressão nas sub-bacias, faz-se uso das equações da continuidade e de Manning.

Na infiltração são usados os Métodos de Green-Ampt, de Horton e o *Curve Number* (CN), bem como, as versões modificadas dos dois primeiros. Green-Ampt considera o nível de umidade do solo em camadas e Horton considera o decréscimo da infiltração de modo exponencial. Já o CN, admite valores tabelados da capacidade de infiltração, baseados na classificação do solo em grupos hidrológicos e seu uso. Para os dispositivos LID's há um balanço do caminho percorrido pela água entre o que passa de uma camada a outra e o que fica retido (Rossman; Simon, 2022).

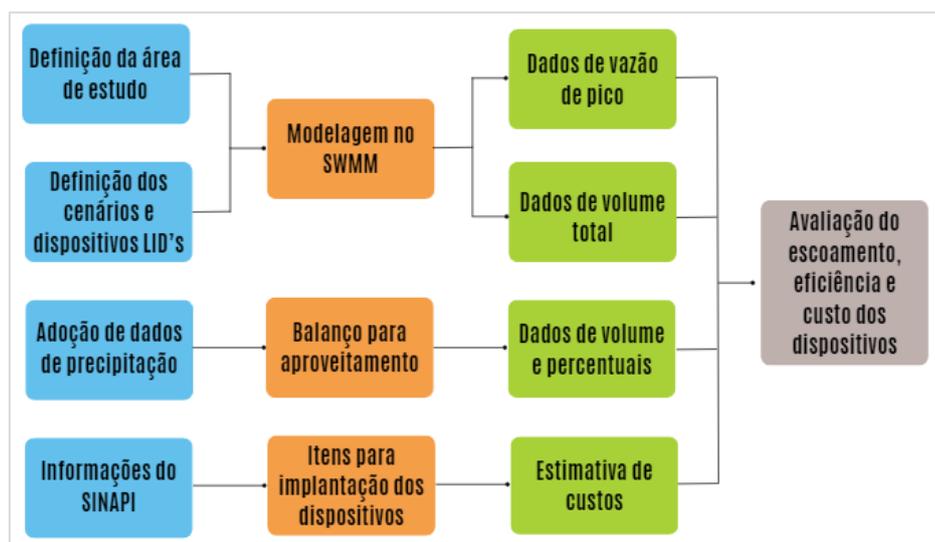
6 METODOLOGIA

Esta pesquisa, de caráter descritivo e quantitativo, refere-se ao estudo do escoamento gerado em um lote padrão definido para a zona habitacional (ZH1) de João Pessoa, a partir da implantação de medidas alternativas de drenagem e do armazenamento de água da chuva para reuso. Faz-se a descrição do impacto que essas medidas possuem no escoamento, quantificando a vazão de pico e o volume escoado por meio da simulação computacional, bem como, o volume de água aproveitado anualmente com o armazenamento.

Os métodos de concepção dos dispositivos de drenagem e para armazenamento de água para reuso são diferentes, embora, baseados no mesmo princípio hidrológico que é a precipitação. Dessa forma, a avaliação do impacto no escoamento decorrente do armazenamento de água para reuso, foi feita, inicialmente, a partir do critério de volume precipitado e aproveitado.

Além disso, foram adotados cenários com diferentes dispositivos, submetidos à variadas intensidades de precipitação, definidas como chuvas de projeto. A avaliação do escoamento, então, foi realizada com auxílio da simulação computacional feita no programa SWMM, gerando-se dados de volume total e vazão de pico. Com base nesses critérios, foram calculados percentuais de redução (eficiência), que indicam a efetividade de cada dispositivo.

Figura 4: Fluxograma das etapas da pesquisa.



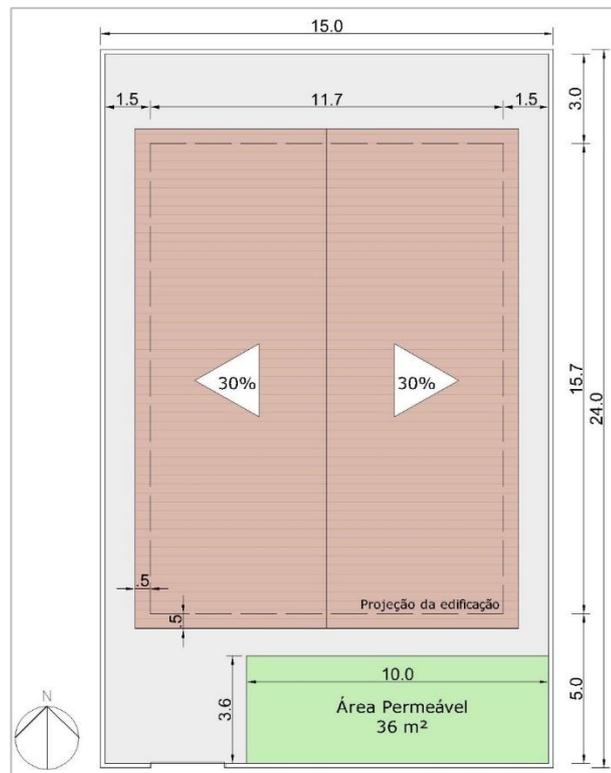
6.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo a Lei de Zoneamento de João Pessoa, a ZH1 é caracterizada pelo uso residencial, predominantemente, com maior densidade, taxa de ocupação máxima de 50% e taxa de área permeável mínima de 10%. Este tipo de uso pode ser classificado como unifamiliar,

bifamiliar e multifamiliar (João Pessoa, 2024). A primeira foi considerada nesta pesquisa, havendo, assim, uma unidade residencial no lote.

A sua área foi definida em 360m², tomando por base o Decreto n° 9.718/2021 da referida cidade. Foi adotado o máximo de impermeabilização do solo, utilizando-se os percentuais citados para definir a área impermeável, portanto, 180m² de área construída e 36m² de área permeável. Outras especificações construtivas foram consideradas para auxiliar na concepção da área de estudo baseadas na legislação já citada e no Código de Obras, Lei 1347/1971 (Figura 5).

Figura 5: Representação do lote (sem escala).



6.2 CENÁRIOS E DISPOSITIVOS LID

Os dispositivos LID foram definidos, pensando-se na redução do escoamento gerado pelo telhado da residência. Assim foram selecionados a trincheira de infiltração (TI), o microrreservatório (MR) e o barril de chuva (BC). Este último, representando um reservatório para armazenamento de água para reuso não-potável e os outros foram selecionados diante da facilidade de manutenção.

Com base nisto, foram definidos 4 cenários para a simulação: C01, C02, C03 e C04 (Tabela 2). Determinou-se um cenário de referência, sem a implantação de dispositivos de

controle na fonte ou para armazenamento de água, servindo como parâmetro comparativo em relação aos demais cenários. Um outro foi determinado com a combinação de dois dispositivos postos em sequência, barril de chuva seguido da trincheira de infiltração.

Tabela 2: Cenários e as dimensões padrões dos dispositivos adotados.

| Cenários | LID | Dimensões* (m) | Volume (m ³) |
|----------|------------------|---------------------------|--------------------------|
| C01 | Sem dispositivos | - | - |
| C02 | TI | 10 x 1 x 1,5 | 15 |
| C03 | MR | 1,5 x 1,5 x 1 | 2,25 |
| C04 | BC + TI | 2,70** x 1,85 + 3 x 1 x 1 | 5 + 3 |

* Comprimento x Largura x Profundidade.

** Área do barril de chuva.

Para cada dispositivo, adotou-se medidas padrão utilizadas em todos os cenários, não sendo realizado nenhum dimensionamento. As dimensões da TI basearam-se nos estudos de AECOM (2016), Melo *et al.* (2016) e Chahar (2012); do MR, basearam-se nos estudos de Diniz (2022) e Silva (2019); e do BC, baseou-se no estudo de Luna (2022). A configuração do C04 e o dimensionamento da trincheira utilizada nele, baseou-se no estudo de Cordero (2013).

6.3 ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PARA REUSO

Foi realizado um balanço pelo Método de Rippl, comumente utilizado para dimensionar reservatórios para armazenamento de água da chuva, tendo como dados de precipitação uma série histórica de 30 anos para a cidade de João Pessoa. O cálculo é feito entre a entrada de água pela precipitação e o consumo previsto, resultando em um saldo, do qual obtém-se valores acumulados.

Destes, por fim, calculou-se o volume armazenado e que extravasou do reservatório, tomando por base dimensões adotadas de 5 m³. Um reservatório com esse volume foi considerado eficiente e de baixo custo para a região de estudo (Luna, 2022). No cálculo da entrada de água, utilizou-se o coeficiente de escoamento superficial para telhado no valor de 0,85, média do intervalo indicado em manual (IPH, 2005).

O consumo previsto foi calculado baseando-se no consumo per capita de 180L/hab.dia e considerando 70% como percentual de usos não potáveis da água na residência e, portanto, podendo ser atendido por águas de chuva. Além disso, considerou-se 3 habitantes, de acordo com a “média de moradores em domicílios particulares permanentes ocupados” do IBGE (2024), que define 2,8 por domicílio.

Foram utilizados dados de precipitação diária obtidos do banco de dados de precipitação diária interpolada elaborado por Xavier, King e Scanlon (2017). Esse é um banco de dados organizado em grade com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ de todo território brasileiro, tendo, em torno de 11 mil pontos de dados diários. Os dados utilizados nessa pesquisa são referentes ao ponto da grade mais próximos da coordenada -7.15, -34.85, no período de 1993 a 2022.

Ao final dos cálculos foi feita a média dos 30 anos para obter valores anuais médios e o volume aproveitado foi obtido pela diferença entre a entrada de água e a quantidade que extravasou, em volume. Além disso, foram calculados percentuais de dias, considerando o nível de água em que o reservatório se encontrava durante o período estudado (Tabela 3). Dado que serviu de embasamento para a situação simulada no SWMM, uma vez que, ao ocorrer um evento de chuva, esse reservatório pode estar vazio, parcialmente ocupado ou cheio.

Tabela 3: Níveis de água no reservatório.

| Nível do volume armazenado | Condição |
|----------------------------|---------------------------|
| 0 % | Totalmente vazio |
| 0 – 25% | 0 a 1,25 m ³ |
| 25 – 50% | 1,25 a 2,5 m ³ |
| 50 – 75% | 2,5 a 3,75 m ³ |
| 75 – 100% | 3,75 a 5* m ³ |
| Extravasa | 5** m ³ |

*Valores imediatamente inferiores.

**Valores exatos.

6.4 CHUVA DE PROJETO (HIETOGRAMA)

Os dispositivos de microdrenagem são dimensionados a partir de eventos críticos de precipitação, prevendo seu funcionamento na pior situação. Assim, são calculadas chuvas de projeto com base em tempos de retorno e durações de chuva específicos para a estrutura. Normalmente, indica-se, para o dimensionamento, que o tempo de retorno esteja entre 2 e 10 anos (São Paulo, 2012).

Com base nisso e para tornar a avaliação dos cenários mais abrangente, nesta pesquisa, adotou-se diferentes tempos de retorno, 5, 10 e 25 anos, bem como, adotou-se as durações de chuva em 30, 60, 90 e 120 minutos. Dessa forma, pôde-se avaliar a eficiência dos dispositivos em situações com chuvas de diversas magnitudes, incluindo, com tempo de retorno mais alto (25 anos), que é utilizado para projetos de macrodrenagem (IPH, 2005).

Cada duração foi aplicada a cada tempo de retorno, resultando em 12 chuvas de projeto que serviram para validação do desempenho dos dispositivos. As chuvas foram elaboradas, utilizando o Método dos Blocos Alternados, que considera a relação intensidade-duração-frequência (curva IDF), neste caso, para João Pessoa, calculada pela equação (1):

$$i = \frac{823,4 + Tr^{0,2153}}{(d + 10,9)^{0,7499}} \quad (1)$$

Em que, i = intensidade da precipitação (mm/h); Tr = tempo de retorno (anos); d = duração (min).

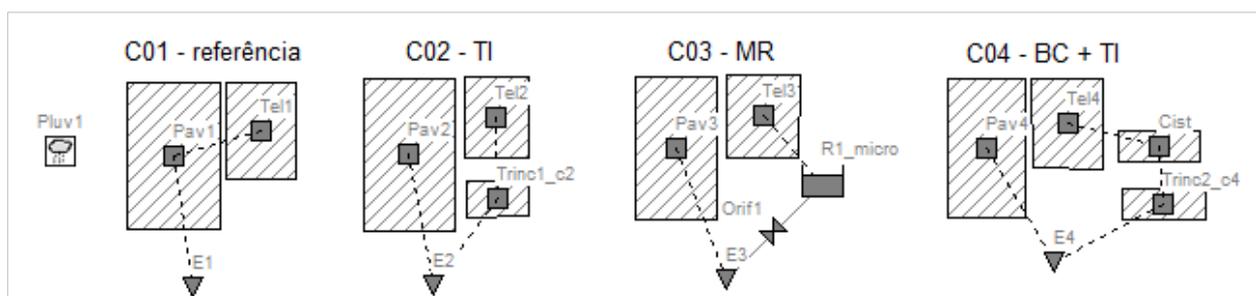
Esta é a equação encontrada no Projeto executivo de estudos hidrológicos e análise das mudanças climáticas feito para o Programa João Pessoa Sustentável (João Pessoa, 2021). O método também sugere que a discretização do tempo, para obter o hietograma, seja 10% da duração da chuva ou valores menores. Foi determinado, então, discretização de 3 min, equivalendo a 10% da menor duração.

Para melhor organização dos dados utilizados, foi estabelecido como código da chuva de projeto: $TrX-Ymin$, onde X indica o tempo de retorno e Y a duração da chuva. Cada hietograma resultante dos cálculos serviu como dado de entrada para a simulação no SWMM.

6.5 MODELAGEM NO SWMM

A versão do SWMM utilizada para a simulação foi a versão 5.2 em inglês. Foram definidas, inicialmente, as sub-bacias, representando o pavimento do lote, o telhado e os dispositivos LIDs. Estes últimos, quando representados por sub-bacias, ocupavam toda a sua área e, para o MR, existe uma opção específica de representá-lo. Cada cenário foi retratado, separadamente, havendo um exutório que representava o ponto de saída de todo escoamento gerado no lote (Figura 6).

Figura 6: Configuração dos cenários no programa SWMM.



Para cada sub-bacia e dispositivo definiu-se as características, que se repetiam em todas as simulações, alterando somente a chuva de projeto, inserida no pluviômetro como fonte de dados “TIMESERIES”. O pavimento e o telhado foram configurados com informações sobre o lote: área, declividade, largura e percentual de área impermeável (Tabela 4).

Tabela 4: Parâmetros das sub-bacias utilizados no SWMM.

| | Pavimento | Telhado |
|-----------------------|-----------|---------|
| Área (ha) | 0,018 | 0,018 |
| Largura (m) | 8,4 | 8,4 |
| Declividade (%) | 1 | 30 |
| % de área impermeável | 80 | 100 |
| n-Impermeável | 0,012 | 0,012 |
| n-Permeável | 0,15 | 0 |
| PA-Impermeável (mm) | 1,27 | 1,27 |
| PA-Permeável (mm) | 2,54 | 0 |
| % A. imp. s/ am. | 0 | 0 |

A declividade do pavimento foi adotada em 1% para garantir a geração de escoamento e no telhado foi adotada como 30%, valor mínimo considerando o uso da telha colonial. Foi definido que o lote possuía armazenamento em depressão (PA-impermeável e PA-permeável), tomando os valores mínimos sugeridos no manual do programa, tal como, os valores referentes ao coeficiente de Manning (n).

O percentual de área impermeável do pavimento foi calculado com base na taxa mínima de área permeável e o telhado foi considerado 100% impermeável. A largura do telhado e do pavimento foi calculada pela equação (2) sugerida por Krebs *et al.* (2014), que não utiliza o comprimento do caminho do fluxo de escoamento:

$$w = k\sqrt{A} \quad (2)$$

Em que, w = largura da sub-bacia; A = área da sub-bacia; k = parâmetro adimensional ($0,2 < k < 5$). O valor utilizado para o parâmetro foi $k = 0,7$, sendo o valor mais frequente encontrado na pesquisa realizada pelos autores.

O método de cálculo utilizado foi o Método *Curve Number* (CN) desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), no qual adotou-se o índice CN de 98, específico para telhado e áreas impermeáveis, tomando a condição II de umidade. O tipo e solo mais comum na região é o argissolo vermelho amarelo, sendo classificado como pertencente ao Grupo Hidrológico B (Ana, 2018; Furrier, 2007; Sartori *et al.*, 2005). A partir dessa classificação, também se

determinou a taxa de infiltração, estabelecendo um valor médio entre o intervalo dado no manual do programa.

Os dispositivos LIDs foram configurados com as dimensões já definidas, inserindo as propriedades de cada camada necessária (Tabela 5). O índice de vazios da camada de armazenamento da trincheira foi calculado, tomando por base a porosidade efetiva do material de preenchimento de 40% (IPH, 2005).

Tabela 5: Parâmetros dos dispositivos LIDs utilizados no SWMM.

| Camada | Parâmetro | Valor |
|---------------|----------------------------|-------|
| TI | | |
| Superfície | Rugosidade de Manning | 0,1 |
| | Declividade (%) | 1 |
| Armazenamento | Espessura (mm) | 1500 |
| | Fração de vazios | 0,67 |
| | Taxa de Infiltração (mm/h) | 25,27 |
| | Colmatação | 0 |
| BC | | |
| Armazenamento | Altura (mm) | 1850 |
| | Coberta | sim |

Em relação ao barril de chuva, não foi estabelecido o dreno na simulação, pois sua função, na prática, é de transportar a água excedente do reservatório para a trincheira, não havendo influência sobre os objetivos a serem avaliados. A sua função foi definida, ligando-se uma sub-bacia a outra e indicando que toda água escoada deveria ser direcionada para a sub-bacia seguinte, que foi a trincheira.

Para o microrreservatório, foi determinada a forma de armazenamento “FUNCTIONAL”, indicando o valor da área da base, com coeficiente e expoente nulos, já que a geometria adotada foi a do quadrado. Foi definido um orifício circular, com diâmetro de 0,05 m e altura do fundo de 0,1 m. O coeficiente de descarga foi de 0,65, definição padrão do próprio programa.

6.6 ESTIMATIVA DE CUSTOS

Os custos dos dispositivos foram determinados com informações do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente ao mês de agosto/2024 para a localidade da Paraíba (PB). A partir da estimativa foi calculado o Índice de eficiência econômica e com base nos estudos de Guerra (2023) e Silva (2019), determinou-se as seguintes composições (Tabela 6):

Tabela 6: Composições e insumos para cada dispositivo.

| Código | Descrição | Unid. | Preço (R\$) |
|---------------------------|--|----------------|-------------|
| TI | | | |
| 93358 | Escavação manual de vala com profundidade menor ou igual a 1,30 m | m ³ | 79,00 |
| 102712/4011 (adaptado) | Geotêxtil não tecido 100% poliéster, resistência a tração de 10 kn/m (rt-10), instalado em dreno - fornecimento e instalação | m ² | 11,48 |
| 102719 | Enchimento de brita para dreno, lançamento manual | m ³ | 136,14 |
| MR | | | |
| 93358 | Escavação manual de vala com profundidade menor ou igual a 1,30 m | m ³ | 79,00 |
| 101617 | Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m (acerto do solo natural) | m ² | 2,87 |
| 95241 | Lastro de concreto magro, aplicado em pisos, lajes sobre solo ou radiers, espessura de 5 cm | m ² | 33,96 |
| 89282 | Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos 14x19x39, (espessura de 14 cm), utilizando palheta e argamassa de assentamento com preparo em betoneira | m ² | 64,25 |
| 89509 | Tubo pvc, série r, água pluvial, dn 50 mm, fornecido e instalado em ramal de encaminhamento | m | 20,13 |
| BC | | | |
| 37105 | Caixa d'água/reservatório em poliéster reforçado com fibra de vidro, 5000l, com tampa | un. | 3.111,35 |

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 ÁGUA ARMAZENADA PARA REUSO

A partir da série histórica da precipitação diária, verificou-se que a quantidade de água aproveitada nos 30 anos seria de 3079,06 m³, correspondendo a média anual de 102,64 m³. Este volume de água aproveitável variou de 121,88 a 80,99 m³ no período de 30 anos considerado. O balanço entre a entrada de água e o consumo resultou num saldo positivo, sendo 256,30 m³/ano em média de água da chuva captada pela área equivalente ao telhado, dos quais o volume extravasado foi de 153,66 m³/ano.

Assim, resultou, em média, em 40% (mínimo de 30,7% e máximo de 66,8%) de água aproveitada ao ano e, conseqüentemente, de redução no volume do escoamento nesse mesmo período (Apêndice A). Ao considerar o consumo per capita atual de 180 L/hab.dia, obter-se-ia uma economia de 47,93% no consumo de água ao utilizar um reservatório de 5 m³ no lote residencial.

Foram identificados, nos 30 anos, 7513 dias em que ocorreu precipitação, equivalendo a média de 250 dias/ano, dos quais 27,35% houve o extravasamento do reservatório. Verificou-se, ainda, que em 29,65% dos dias, a maior parte do ano, o reservatório permanece totalmente

seco e extravasa em 18,77% (Tabela 7). Em contrapartida, ele permanece com um volume entre 25% e 50% na menor quantidade de dias. Determinou-se que uma precipitação de 27,8 mm seria suficiente para encher o reservatório, considerando a área do telhado de 180 m².

Tabela 7: Percentual da média anual de dias a partir do nível do volume armazenado.

| Nível do volume armazenado | Média anual | |
|----------------------------|-------------|-------|
| | (abs.) | (%) |
| Extravasamento | 69 | 18,77 |
| 75% - 100% | 82 | 22,54 |
| 50% - 75% | 42 | 11,40 |
| 25% - 50% | 27 | 7,49 |
| 0% - 25% | 37 | 10,22 |
| 0% | 108 | 29,65 |

Ainda que, os dados de precipitação subsidiária gerem resultados mais precisos quanto à avaliação e dimensionamento de sistemas de captação de água da chuva, os dados diários também podem ser utilizados com certa confiança nos resultados. Um fator importante, que pode influenciar significativamente o desempenho de SAAC é o perfil de demanda ou usos da água. Inclusive, seu nível de atendimento está relacionado com o regime de chuvas da região (Perius *et al.*, 2021). A estimativa dessa demanda está ligada, entre outros fatores, à quantidade de pessoas na residência, aumentando ou diminuindo proporcionalmente (Twort *et al.*, 2000).

7.2 CHUVA DE PROJETO E HIETOGRAMA

Foram elaboradas para a simulação 12 chuvas, indicando o volume total precipitado na área de estudo. Essas precipitações totais variaram entre 36,01 mm e 85,14 mm (Tabela 7). Todas as chuvas são maiores do que a precipitação necessária para encher o reservatório de armazenamento de água, considerando um único evento.

Tabela 8: Precipitação de projeto (mm).

| Tempo de retorno (anos) | Duração (min) | | | |
|-------------------------|---------------|-------|-------|-------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 |
| 5 | 36,01 | 47,68 | 54,89 | 60,20 |
| 10 | 41,81 | 55,35 | 63,72 | 69,89 |
| 25 | 50,92 | 67,42 | 77,62 | 85,14 |

Como esperado, as precipitações aumentam com o aumento da duração total da chuva, bem como, com o aumento do tempo de retorno. Os hietogramas resultantes foram os dados de

entrada para a simulação no SWMM e os maiores valores parciais das chuvas com Tr de 5, 10 e 25 anos foram, respectivamente, 8,09 mm, 9,39 mm e 11,44 mm (Figuras 7a, 7b, 7c, 7d).

Figura 7a: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 30 min.

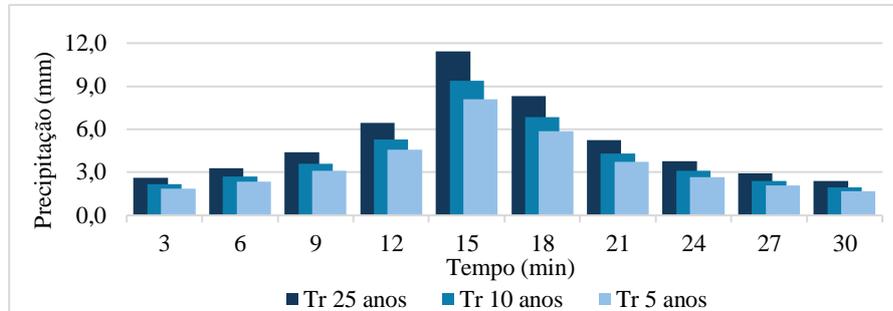


Figura 7b: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 60 min.

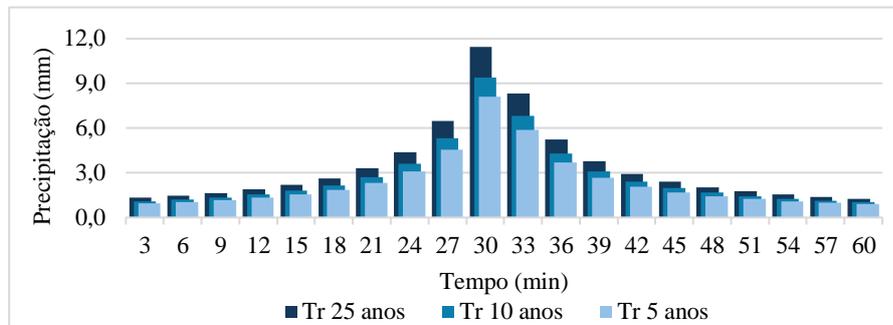


Figura 7c: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 90 min.

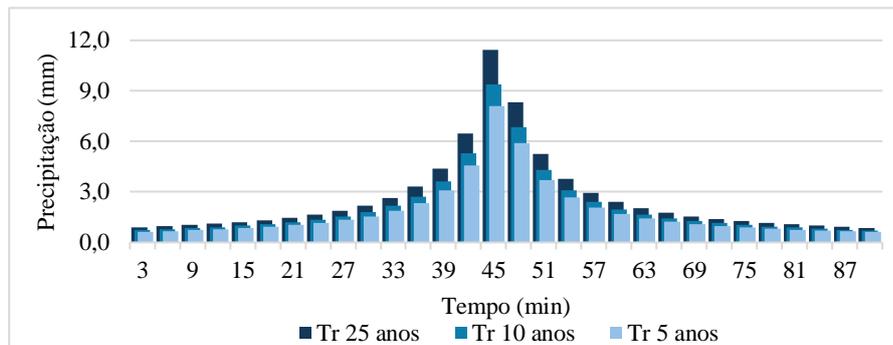
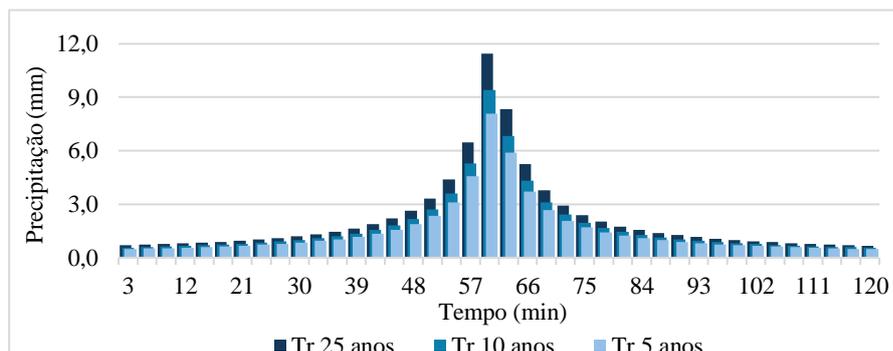


Figura 7d: Hietogramas de projeto para as precipitações com duração de 120 min.



7.3 ESCOAMENTO NO LOTE SEM IMPLANTAÇÃO DE LIDS (CENÁRIO 1)

Nas condições estabelecidas, o lote gera um volume total escoado entre 34,2mm e 83,3mm, equivalendo a 12300L e 30000L (Tabela 9). O valor aumenta com o aumento da precipitação, como esperado. Em termos de duração, as chuvas crescem quatro vezes, enquanto, o volume total aumenta 70%, aproximadamente, em todos os tempos de retorno.

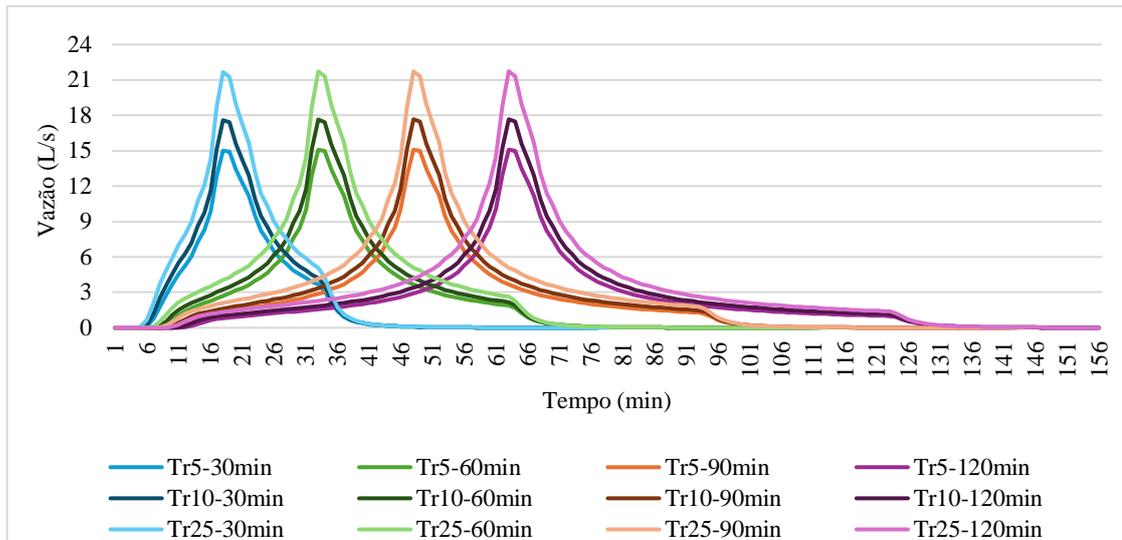
Tabela 9: Volume total, profundidade por unidade de área (h) e vazão de pico (Qp).

| Tr (anos) | d (min) | Qp (L/s) | Volume (L) | h (mm) |
|-----------|---------|----------|------------|--------|
| 5 | 30 | 15,00 | 12300 | 34,2 |
| | 60 | 15,06 | 16500 | 45,8 |
| | 90 | 15,08 | 19100 | 53,1 |
| | 120 | 15,08 | 21000 | 58,3 |
| 10 | 30 | 17,58 | 14400 | 40,0 |
| | 60 | 17,64 | 19300 | 53,6 |
| | 90 | 17,65 | 22300 | 61,9 |
| | 120 | 17,66 | 24500 | 68,1 |
| 25 | 30 | 21,66 | 17700 | 49,2 |
| | 60 | 21,70 | 23600 | 65,6 |
| | 90 | 21,72 | 27300 | 75,8 |
| | 120 | 21,72 | 30000 | 83,3 |

Em relação à vazão de pico, os valores encontrados foram entre 15,01 L/s e 21,74 L/s. Para cada tempo de retorno essas vazões foram praticamente as mesmas, ainda que, a duração da chuva aumentasse. Comportamento esperado, uma vez que, o método utilizado para calcular a chuva de projeto foi o Método dos Blocos Alternados. Ele define um único hietograma, do qual são retiradas as diferentes durações de chuva, ou seja, as chuvas com menor duração são uma parcela das chuvas de maior duração. Além disso, a área do lote é pequena, determinando um tempo de concentração muito baixo.

A partir da simulação foram gerados Hidrogramas de cada chuva, nos quais é possível identificar a vazão máxima e o tempo de sua ocorrência. Verificou-se que nas chuvas com duração de 30min, a Qp ocorre aos 18min após o início da precipitação; nas chuvas com duração de 60 min, a Qp ocorre aos 33min; nas chuvas com duração de 90min, a Qp ocorre aos 48min; e nas chuvas com duração de 120min, a Qp ocorre aos 63min (Figura 8).

Figura 7: Hidrogramas do C01 para todas as chuvas de projeto.



Nota-se que todas as vazões máximas ocorrem antes do término da precipitação, indicando o baixo tempo de concentração e a alta impermeabilização do solo no lote relacionada à taxa mínima de área permeável e à taxa máxima de ocupação que foram adotadas. Dessa forma, o escoamento é favorecido, contribuindo para que os maiores fluxos de água alcancem o ponto de saída do lote, rapidamente. Isso exige que o sistema de drenagem urbana seja capaz de suportá-los.

7.4 ESCOAMENTO NO LOTE COM IMPLANTAÇÃO DE LIDS (CENÁRIOS 2, 3 E 4)

Os resultados referentes ao volume total escoado e à vazão de pico dos cenários 2, 3 e 4 foram avaliados em comparação com o cenário 1, incluindo, então, o percentual de redução de ambos os parâmetros.

7.4.1 Volume total

O volume total escoado nos cenários 02, 03 e 04 foi entre 17,1 mm e 80,3 mm, equivalendo a 6160L e 28900L, respectivamente (Tabela 10). Esses valores representam a capacidade de resposta do lote frente aos eventos de chuva com diferentes durações. Como previsto, o volume aumenta proporcionalmente com a duração da chuva e com o tempo de retorno. Dessa forma, no C02 e C04, tomando como base a duração, o volume cresce pouco mais que o dobro, e no C03 cresce em torno de 70%. Comportamento que ocorre em todos os tempos de retorno.

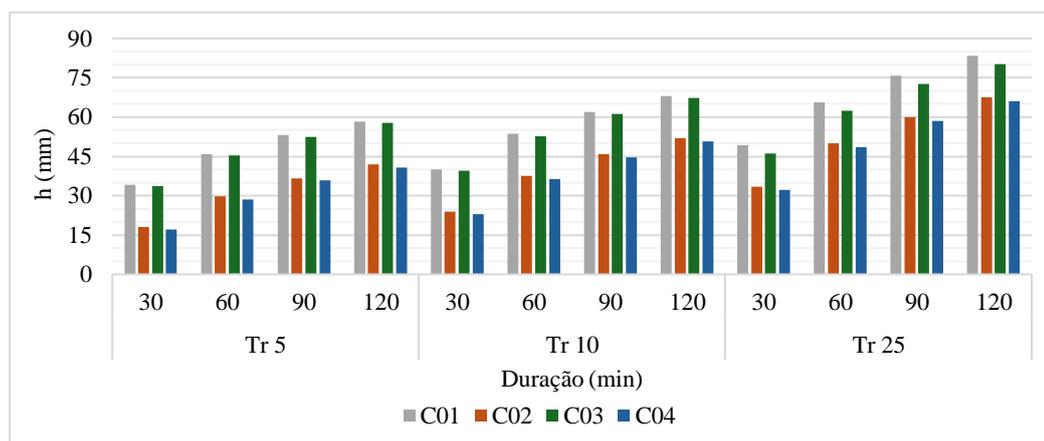
Tabela 10: Volume total e percentual de redução para cada cenário.

| Tr (anos) | d (min) | C01 | | C02 | | | C03 | | | C04 | | |
|--------------|------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
| | | Vol (L) | h (mm) | Vol (L) | h (mm) | Redução | Vol (L) | h (mm) | Redução | Vol (L) | h (mm) | Redução |
| 5 | 30 | 12300 | 34,2 | 6490 | 18,0 | 47,2% | 12100 | 33,6 | 1,6% | 6160 | 17,1 | 49,9% |
| | 60 | 16500 | 45,8 | 10700 | 29,7 | 35,2% | 16300 | 45,3 | 1,2% | 10300 | 28,6 | 37,6% |
| | 90 | 19100 | 53,1 | 13200 | 36,7 | 30,9% | 18900 | 52,5 | 1,0% | 12900 | 35,8 | 32,5% |
| | 120 | 21000 | 58,3 | 15100 | 41,9 | 28,1% | 20800 | 57,8 | 1,0% | 14700 | 40,8 | 30,0% |
| 10 | 30 | 14400 | 40,0 | 8640 | 24,0 | 40,0% | 14200 | 39,4 | 1,4% | 8270 | 23,0 | 42,6% |
| | 60 | 19300 | 53,6 | 13500 | 37,5 | 30,1% | 19000 | 52,8 | 1,6% | 13100 | 36,4 | 32,1% |
| | 90 | 22300 | 61,9 | 16500 | 45,8 | 26,0% | 22000 | 61,1 | 1,3% | 16100 | 44,7 | 27,8% |
| | 120 | 24500 | 68,1 | 18700 | 51,9 | 23,7% | 24200 | 67,2 | 1,2% | 18300 | 50,8 | 25,3% |
| 25 | 30 | 17700 | 49,2 | 12000 | 33,3 | 32,2% | 16600 | 46,1 | 6,2% | 11600 | 32,2 | 34,5% |
| | 60 | 23600 | 65,6 | 18000 | 50,0 | 23,7% | 22500 | 62,5 | 4,7% | 17500 | 48,6 | 25,8% |
| | 90 | 27300 | 75,8 | 21600 | 60,0 | 20,9% | 26200 | 72,8 | 4,0% | 21100 | 58,6 | 22,7% |
| | 120 | 30000 | 83,3 | 23800 | 67,5 | 19,0% | 28900 | 80,3 | 3,7% | 23800 | 66,1 | 20,7% |

O menor volume foi gerado a partir da menor chuva de projeto (Tr5-30min) e refere-se ao C04. Em contrapartida, o maior volume foi gerado com a maior chuva de projeto (Tr25-120min) e refere-se ao C03. Esses resultados são coerentes com o esperado, pois no C04 uma parcela do volume escoado fica retido no reservatório de água para reuso e outra é infiltrada na trincheira. Já no C03, há uso do microrreservatório, que não possui a finalidade de reduzir o volume escoado, mas de reduzir a vazão máxima.

Esse padrão, então, repete-se em todas as situações estudadas ao considerar os cenários com LID, sendo o maior volume total gerado pelo C03, e o menor, pelo C04. O C02, que possui somente a trincheira de infiltração, gera um volume total ligeiramente maior que o C04. Em média uma diferença de 1,1 mm (mínimo 0,8 e máximo 1,4) em cada situação, equivalendo a 408 L (Figura 9). Verifica-se valores próximos entre o C01 e C03 e entre o C02 e C04.

Figura 8: Volume total escoado para todas as situações.

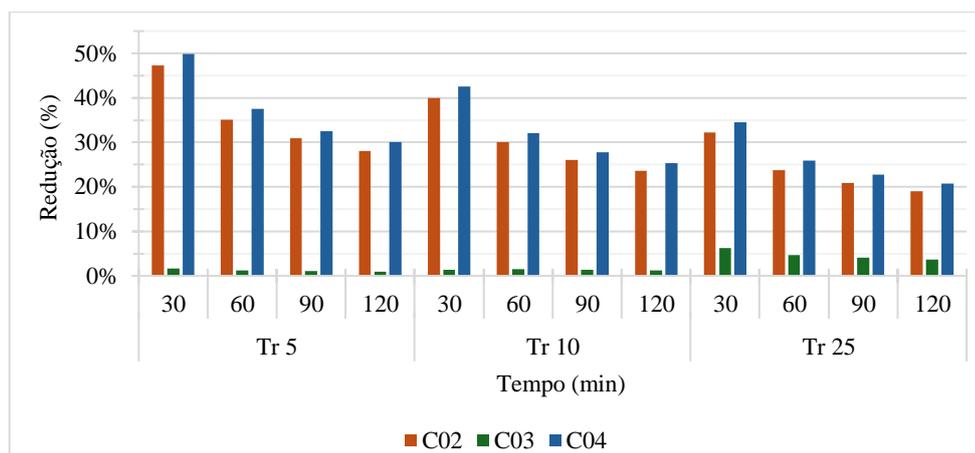


Destaca-se que, foram adotadas dimensões fixas para os dispositivos LID, sendo assim, é esperado que, com o aumento das precipitações, a capacidade máxima destes seja atingida. Quando isso ocorre, a água excedente extravasa e escoar normalmente pelo pavimento, contribuindo para o aumento do volume total. As trincheiras de infiltração extravasaram em todas as situações estudadas e o microrreservatório extravasou nas chuvas com Tr25.

Em todas as durações, nas chuvas com o Tr5 e Tr10 foi utilizada, respectivamente, em média, 83% e 100% da capacidade total de armazenamento do microrreservatório. O tempo, para atingir esse percentual, apresentou discreta diminuição com o aumento do tempo de retorno, especialmente do Tr10 para o Tr25 (decréscimo de 3min). Assim, de um tempo de retorno para outro a capacidade total de armazenamento utilizada é atingida mais rápido. Porém, esse tempo, aumenta em torno de 15 min. a cada duração da chuva (Apêndice B).

O percentual de redução do volume diminui, à medida que, a duração da chuva aumenta, bem como, com o aumento do tempo de retorno (Figura 10). A cada aumento de duração de chuva e a cada aumento do tempo de retorno, perde-se a capacidade em controlar o volume total escoado no lote. Esse resultado indica a eficiência dos dispositivos em cada cenário e situação de chuva. Ou seja, a eficiência do sistema instalado, em reduzir o volume total, diminui com o aumento da precipitação total. Assim, indica a sobrecarga dos dispositivos diante dos eventos mais críticos.

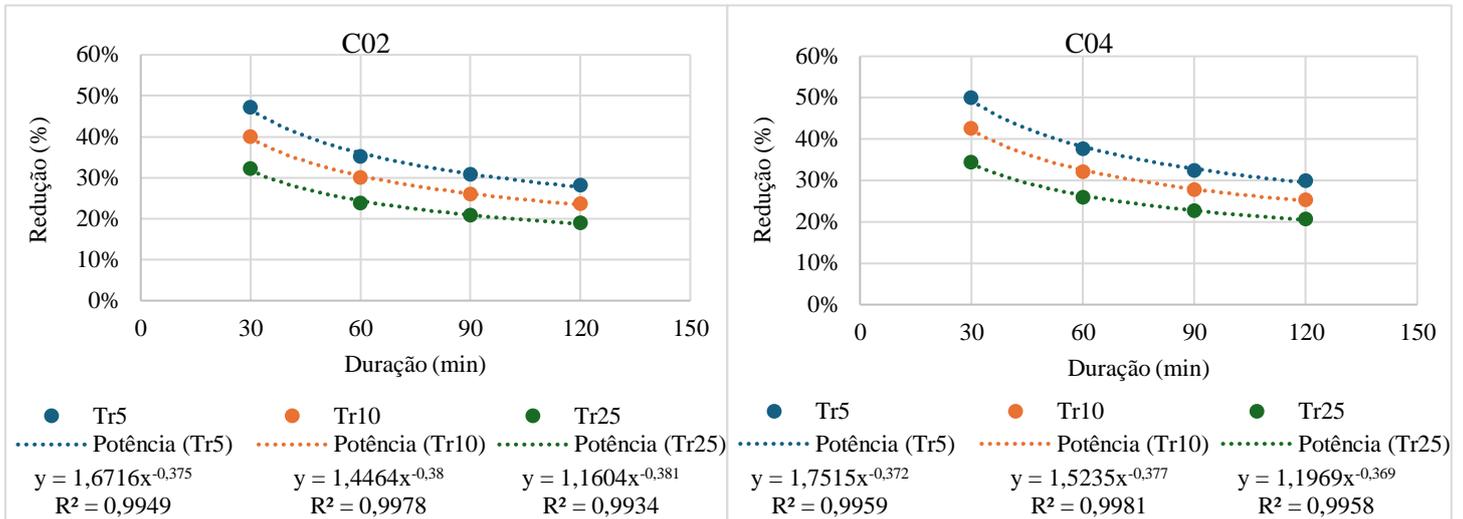
Figura 9: Percentual de redução do volume total.



Percebe-se que, considerando o mesmo tempo de retorno, o decréscimo na capacidade de controle do volume entre as durações de chuva é maior entre as chuvas de 30 e 60min. do que entre as chuvas de 60 e 90min. e as chuvas de 90 e 120min., nos cenários C02 e C04. Essa característica se repete em todos os tempos de retorno, indicando a influência da duração da chuva na redução da eficiência do sistema utilizado. Dessa forma, nota-se um comportamento

padronizado na correlação entre a duração da chuva e o percentual de redução do volume total, que é definida por uma curva potencial (Figura 11).

Figura 10: Correlação entre duração da chuva e percentual de redução do volume total nos cenários 2 e 4.



Como as dimensões adotadas são fixas, sendo a mesma capacidade de retenção em todas as chuvas, a representação percentual desse volume em relação ao volume total reduz com o aumento desse último. Além das dimensões dos dispositivos, outros fatores podem influenciar a capacidade de controle do volume total escoado, a exemplo da condutividade hidráulica do solo saturado. Esta, por sua vez, determina o movimento da água no solo, limitando a sua perda por infiltração, no caso das trincheiras.

Outro aspecto é a configuração do C04, no qual há uma combinação de LIDs. Então, a quantidade de água que excede a capacidade de um dispositivo é direcionada para outro, que também age no controle de volume pela infiltração, resultando numa maior redução. Já a trincheira, no C02, é o único dispositivo, mas possui dimensões razoáveis com capacidade de reter considerável quantidade de água escoada.

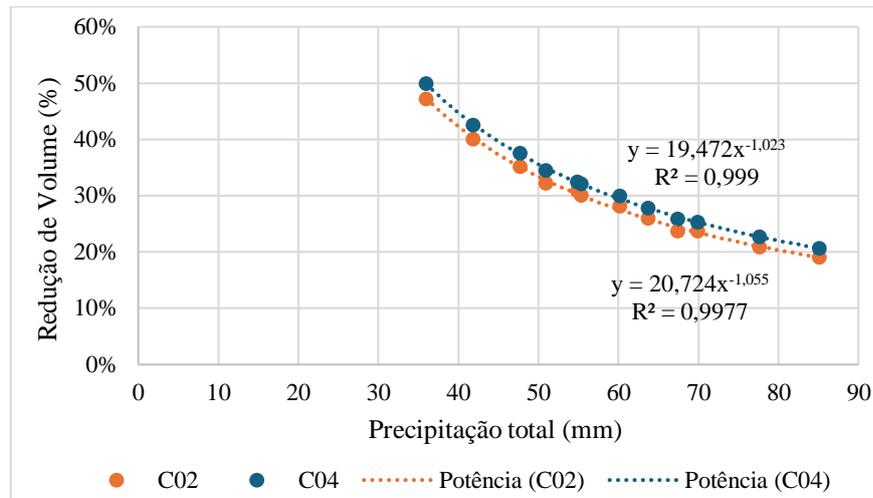
O barril de chuva seguindo da trincheira de infiltração mostrou eficiência no estudo de uma casa modelo. Neste, são ressaltadas as vantagens em diminuir os impactos do escoamento e na economia de água. Os dispositivos, nesse caso, foram avaliados tomando por base as precipitações, que geram enxurrada, mais frequentes na região de implantação (Cordero *et al.*, 2013).

O uso de técnicas compensatórias também se mostrou eficiente para minimizar os efeitos da impermeabilização do solo, diminuindo o volume escoado em 13% e 11% com uso de cisterna e trincheira, respectivamente. Porém o percentual maior de redução encontra-se com

a combinação de técnicas voltadas para pátios e telhados, 30%. Resultados obtidos no estudo de uma área com percentual de lotes que possuíam LID (Tejadas; Possantti; Marques, 2024).

Foi verificada, ainda, uma correlação entre a precipitação total e o percentual de redução do volume total, determinada por uma curva de potência para os cenários 2 e 4. Assim, a partir da equação gerada, é possível determinar o percentual de redução do volume total já com a precipitação total (Figura 12).

Figura 11: Correlação entre precipitação e percentual de redução do volume total nos cenários 2 e 4.



7.4.2 Vazão de pico

A vazão de pico obtida pela simulação nos cenários 2, 3 e 4 foi de 7,47L/s a 22,63L/s (Tabela 11). O C04 gera as menores vazões em todos os tempos de retorno com exceção de duas das chuvas mais críticas (Tr25-90min e 120min). O C03, composto pelo microrreservatório, mantém quase que o mesmo valor de vazão máxima, em relação às durações das chuvas. Observa-se neste cenário, assim como no C01, aumento da vazão com o aumento do tempo de retorno, porém com os valores reduzidos.

Tabela 11: Vazão de pico (L/s), tempo para atingí-la (min) e percentual de redução para cada cenário.

| Tr (anos) | d (min) | C01 | | C02 | | | C03 | | | C04 | | |
|--------------|------------|-------|-------|-------|---------|-------|------|---------|-------|-------|---------|-------|
| | | Qp | Tempo | Qp | Redução | Tempo | Qp | Redução | Tempo | Qp | Redução | Tempo |
| 5 | 30 | 15,00 | 18 | 7,47 | 50,2% | 18 | 11,6 | 22,7% | 18 | 7,47 | 50,2% | 18 |
| | 60 | 15,06 | 33 | 7,58 | 49,7% | 33 | 11,8 | 22,0% | 33 | 7,58 | 49,7% | 33 |
| | 90 | 15,08 | 48 | 8,32 | 44,8% | 53 | 11,8 | 21,9% | 48 | 7,60 | 49,6% | 48 |
| | 120 | 15,08 | 63 | 11,00 | 27,1% | 67 | 11,8 | 21,9% | 63 | 8,92 | 40,8% | 69 |
| 10 | 30 | 17,58 | 18 | 8,79 | 50,0% | 18 | 13,4 | 24,1% | 18 | 8,79 | 50,0% | 18 |
| | 60 | 17,64 | 33 | 10,91 | 38,2% | 38 | 13,5 | 23,4% | 33 | 8,88 | 49,7% | 33 |
| | 90 | 17,65 | 48 | 14,24 | 19,3% | 51 | 13,5 | 23,3% | 48 | 11,87 | 32,7% | 53 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|-------|----|-------|-------|----|------|-------|----|-------|-------|----|
| | 120 | 17,66 | 63 | 15,65 | 11,4% | 65 | 13,6 | 23,3% | 63 | 13,03 | 26,2% | 67 |
| 25 | 30 | 21,66 | 18 | 13,19 | 39,1% | 23 | 16,1 | 25,7% | 18 | 10,86 | 49,9% | 18 |
| | 60 | 21,70 | 33 | 17,65 | 18,7% | 35 | 16,3 | 25,1% | 33 | 15,80 | 27,2% | 37 |
| | 90 | 21,72 | 48 | 22,08 | -1,7% | 49 | 16,3 | 25,0% | 48 | 18,46 | 15,0% | 51 |
| | 120 | 21,72 | 63 | 22,63 | -4,2% | 63 | 16,3 | 25,0% | 63 | 20,32 | 6,4% | 65 |

No C02, composto pela trincheiro de infiltração, o hidrograma mostra que há dois picos, o primeiro maior que o segundo, nas menores chuvas (Figura 13a, 13b, 13c). À medida que a chuva aumenta em duração, o segundo pico cresce ao ponto de se tornar maior que o primeiro. No Tr5 isso ocorre na chuva de 90 e 120min, no Tr10 ocorre na chuva de 60 e 90min e no Tr25 ocorre já na chuva de 30min.

Figura 13b: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr5.

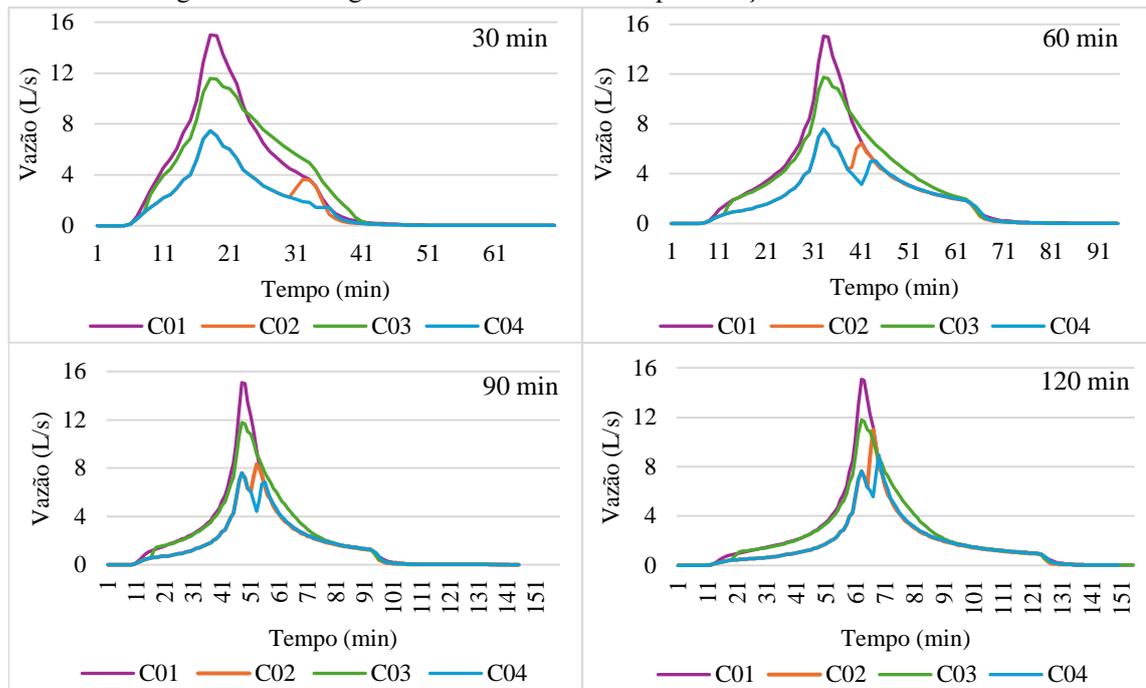


Figura 13 c: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr10.

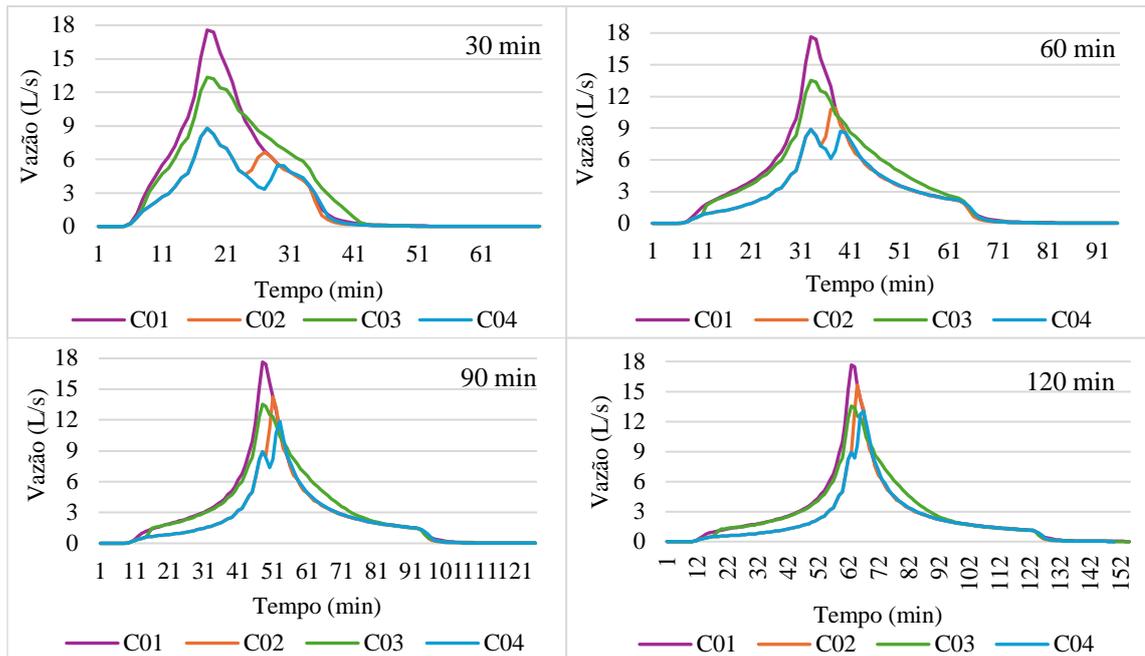
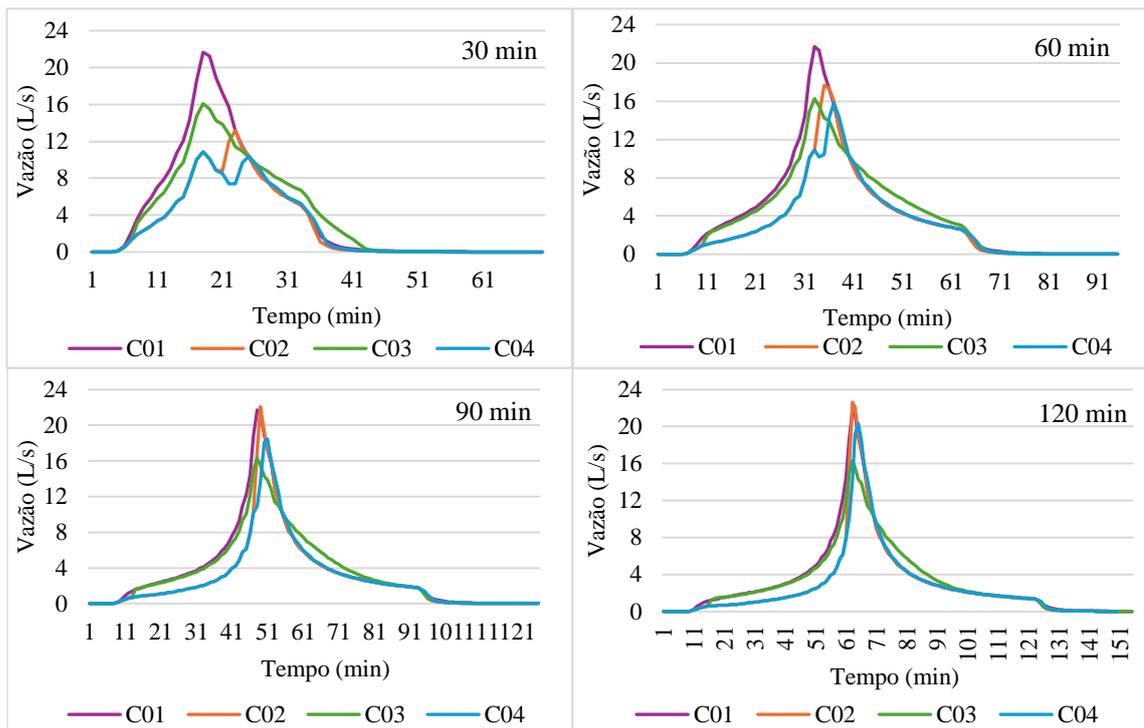


Figura 13d: Hidrogramas de todos os cenários por duração de chuva com Tr25.



Além disso, o tempo entre os dois picos de vazão diminui com o aumento da duração e acelera ainda mais com o aumento do tempo de retorno. Esse tempo diminui ao ponto de haver uma sobreposição de hidrogramas. No Tr10 isso ocorre na chuva de 120min e no Tr25 ocorre na chuva de 60, 90 e 120min.

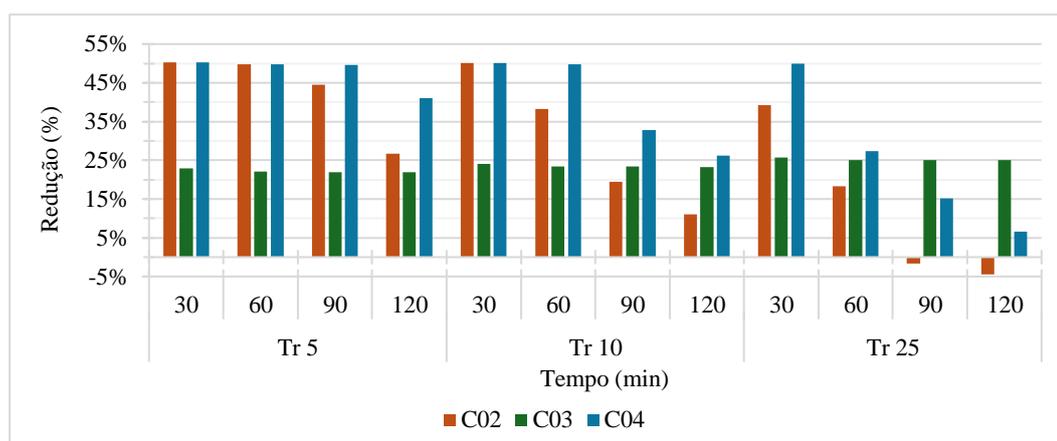
Outra característica observada é que quando há sobreposição, o tempo de pico ocorre atrasado em relação ao cenário de referência, ou seja, ocorre alguns minutos depois. À medida que, se continua a aumentar a duração da chuva, esse tempo diminui, alcançando o mesmo valor do cenário de referência. O comportamento descrito se repete no C04, porém de forma mais lenta e numa chuva mais crítica. O segundo pico cresce, ultrapassa e aproxima-se do primeiro, ocorrendo sobreposição de hidrogramas nas chuvas com Tr25 de 90 e 120min.

Em ambos os cenários (C02 e C04) há o extravasamento da trincheira de infiltração e todo excesso de água une-se ao escoamento do pavimento, contribuindo com o volume escoado e gerando um outro pico de vazão. Este ocorre com diferença de tempo em relação ao primeiro, uma vez que, a trincheira deve atingir a sua capacidade máxima para que haja extravasamento.

No caso do C04, enche-se o barril de chuva, depois a trincheira, o que justificaria acontecer em uma chuva mais crítica em comparação com o C02. Há contribuição para o escoamento no lote das duas áreas, telhado e pavimento, sendo que a contribuição do telhado ocorre alguns minutos depois.

A diminuição do intervalo entre os picos indica que a trincheira enche mais rapidamente, à medida que, a chuva aumenta e o fluxo do excedente de água chega cada vez mais rápido no exultório do lote. A sobreposição dos hidrogramas no C02 gera, inclusive, nas chuvas com Tr25 e durações de 90 e 120 min, uma vazão de pico maior que a vazão de pico do cenário de referência. Fato representado pela redução negativa da vazão máxima (Figura 14).

Figura 12: Percentual da redução de vazão de pico para todos os cenários.



O percentual de redução da vazão de pico para o C03 aumenta discretamente com o aumento das precipitações, mostrando-se bastante estável com média de 23,6% e desvio padrão de 1,3%. A menor redução é de 21,9% e a maior de 25,7%, que ocorrem nas chuvas de Tr5 de 90 e 120min e Tr25 de 30min, respectivamente. Esses resultados estão relacionados com as

dimensões adotadas para o orifício de fundo, que, efetivamente, faz o controle da vazão de saída do microrreservatório. No Tr5, essa vazão atingiu o máximo em 4,85L/s e, nos Tr10 e Tr25 em 5,56L/s.

O microrreservatório possui a finalidade de reduzir a vazão máxima, bem como, retardar o tempo em que ocorre. No entanto, em todas as situações não houve o atraso do pico, que ocorreu no mesmo tempo do cenário de referência. O atraso na ocorrência da vazão de pico foi observado nos C02 e C04, como já citado, quando o segundo pico do hidrograma ultrapassou o primeiro. Foi um atraso entre 4 e 9 minutos em relação ao cenário de referência.

O percentual de redução no C02 variou entre -4,5% e 50,2% e no C04 variou entre 6,5% e 50,2%. Os maiores percentuais são vistos na chuva com Tr5 de 30min e os menores na chuva com Tr25 de 120min, havendo uma relação inversa com o aumento da precipitação. Nenhum dos cenários apresenta padrão de decréscimo do percentual, coincidindo as menores reduções da vazão máxima quando há sobreposição de hidrogramas ou quando o segundo pico atinge um valor maior que o primeiro. Assim, a eficiência do dispositivo reduz bruscamente de uma duração de chuva para outra nessas situações.

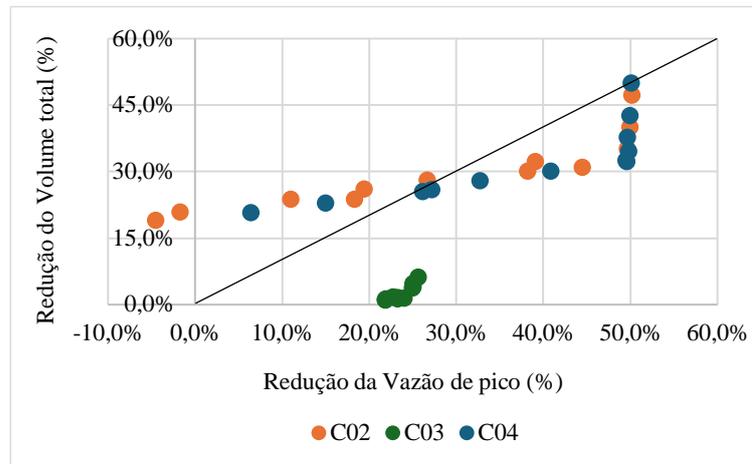
Como todo o volume de água gerado no telhado é direcionado para a trincheira ou, num primeiro momento, para o barril de chuva a redução atinge em torno de 49%. Praticamente reduz-se todo esse volume pela perda por infiltração (C02) ou por armazenamento seguido de infiltração (C04). Mas, quando o volume excedente das trincheiras aumenta, parte do volume gerado no telhado contribui novamente para o escoamento que chega ao exultório do lote.

7.4.3 Relação da vazão de pico com o volume total

A associação entre a redução da vazão de pico e a redução do volume total é positiva, em todos os cenários e forte nos C02 e C04, de acordo com o coeficiente de correlação (C02: 0,85; C03: 0,64; C04: 0,81). Ou seja, quando ocorre o aumento da redução da vazão de pico ocorre também aumento na redução do volume, mas não há proporcionalidade nessa relação de redução. No C02, para o cálculo desse coeficiente, foram desconsiderados os valores negativos e, no C03, foram desconsiderados os valores das chuvas com Tr25.

Tomando como referência a reta $x = y$ para comparação do comportamento das variáveis, nota-se que o C03 tem maior efetividade no controle da vazão que do volume, o que é esperado, visto que, essa é a finalidade do microrreservatório. Além disso, observa-se que nas maiores precipitações existe uma tendência de maior controle do volume do que da vazão nos C02 e C04 e o contrário ocorre com as menores precipitações (Figura 15). Assim, observa-se dois comportamentos diferentes nesses cenários.

Figura 13: Associação entre os percentuais de redução da vazão de pico e da redução do volume total.



Num primeiro momento, com pontos aproximados, tem-se as menores precipitações, em há controle da vazão de forma, praticamente, constante, enquanto, a efetividade no controle do volume diminui. Nessas chuvas atinge-se quase o limite máximo do controle de vazão e do volume, que seria de 55% do escoamento no lote, considerando a área impermeável em relação à área do telhado. Num segundo momento, com pontos mais dispersos, especialmente no C02, à medida que o volume excedente de água aumenta, reduz-se o controle na vazão de pico, embora ainda haja certo controle do volume total.

Parte do volume precipitado no lote sempre é direcionado para outro destino que não seja para o fluxo a jusante. Neste caso, para trincheiras, em que a perda de água ocorre por infiltração, ou para o barril de chuva, onde a água fica acumulada para reuso. Nesses dispositivos não foi considerado o uso de dreno de fundo, como acontece no microrreservatório que possui a finalidade específica de reduzir a vazão.

O estudo do impacto no escoamento superficial por sistemas captação de água da chuva já resultou em diminuição de 23% e 26% no volume e vazão máxima, respectivamente. Valores considerados significativos, porém, que podem ser melhorados pela associação com técnicas de infiltração do excedente de água (Araújo Neto; Neves, 2022).

A combinação de elementos, como o dispositivo de descarte das primeiras águas e o regime de chuvas, pode influenciar no controle do escoamento, principalmente, da vazão de pico. Nesse caso, a análise foi contínua, havendo diversas condições iniciais do nível de volume frente ao evento de precipitação (Santos; Neves; Souza, 2023). Nesta pesquisa, não foi considerado o dispositivo de descarte e o maior controle foi no volume total.

7.4.4 Variação do cenário 4

Os dados obtidos indicaram a frequência de outra situação referente ao barril de chuva, na qual ele está parcialmente ocupado a partir de 75% da sua capacidade. Situação, esta, que seria mais desfavorável ao controle do escoamento. Dessa forma, foi realizada uma simulação, com essa condição, comparando-a ao cenário mais favorável, quando o reservatório está vazio.

Como previsto a quantidade de água que extravasa da trincheira de infiltração é maior, alcançando, em média, 3723 L (máximo de 3800 L e mínimo de 3700 L), o que determina uma redução no controle do volume total em mais da metade (2,5 vezes). A vazão máxima mantém-se quase constante a cada duração de chuva e aumenta em comparação ao C04 com barril de chuva vazio.

O aumento pode alcançar até o dobro a depender do pico do hidrograma, uma vez que, ocorre sobreposição. Neste caso, os valores de vazão máxima são semelhantes, havendo acréscimo de 14% e 5% (Tr25-90min e Tr25-120min) (Figura 16a, 16b e 16c). Assim, com o barril de chuva em 75% da sua capacidade, não há controle da vazão máxima. Porém, em nenhuma situação a vazão ultrapassou os valores de pico do cenário de referência.

Figura 16a: Hidrograma do C04, variando a capacidade do barril de chuva nas precipitações com Tr5.

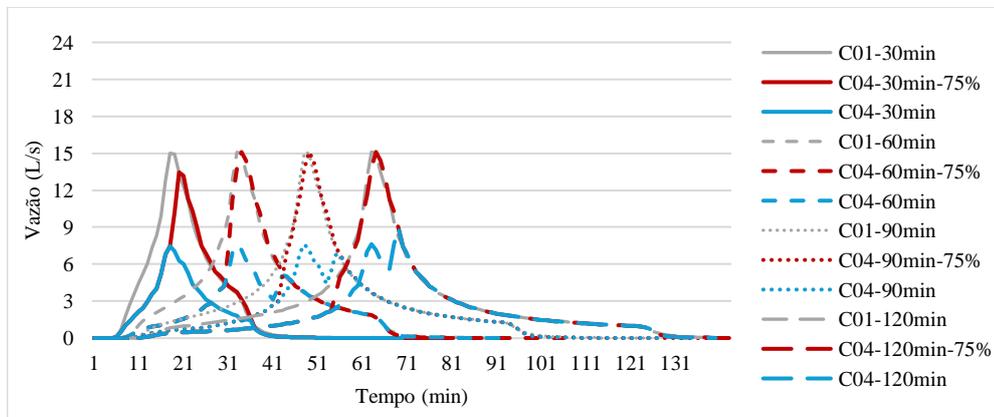


Figura 16b: Hidrograma do C04, variando a capacidade do barril de chuva nas precipitações com Tr10.

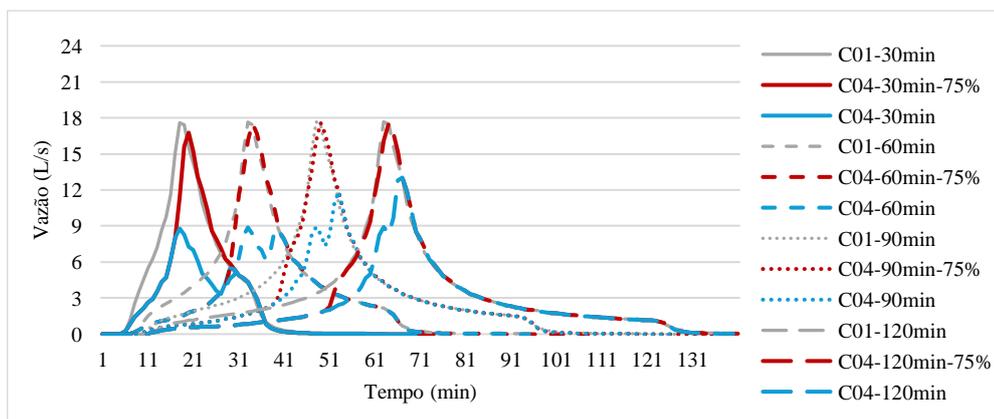
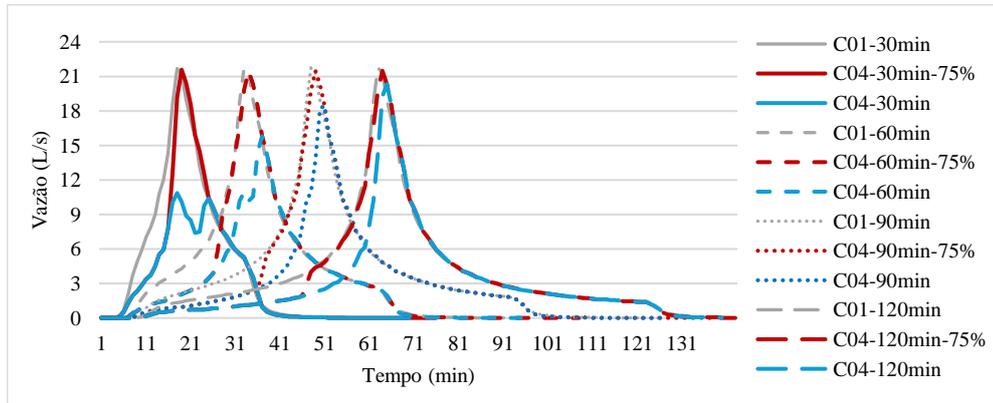


Figura 16 c: Hidrograma do C04, variando a capacidade do barril de chuva nas precipitações com Tr25.



7.5 ESTIMATIVA DE CUSTOS

A estimativa do custo obtida para o C02 foi de R\$ 3.720,74, para o C03 foi de R\$ 1.088,18 e para o C04 foi de R\$ 3.870,40. Alguns elementos não foram considerados, como o sistema de coleta da água, propriamente dito, com as calhas, tubulações e o dispositivo de descarte das primeiras águas.

Em relação à trincheira de infiltração, os custos podem ser alterados, quando se utiliza uma camada de areia entre o solo e a brita. Já o microrreservatório é influenciado pelo tipo de material, se feito de concreto armado ou alvenaria. No primeiro caso o custo é maior, como visto no estudo de Silva (2019), no qual as dimensões são semelhantes às utilizadas nesta pesquisa.

A partir do SINAPI, o barril de chuva foi definido como uma caixa d'água, porém há uma variação de valores quando se utiliza cisternas ou tanques específicos para armazenamento de água da chuva. O maior custo na implantação do SAAC é decorrente do reservatório, podendo alcançar 85% do custo total (Abdulla, 2009; Thomas, 2001).

Foi realizada também uma pesquisa orçamentária em lojas especializadas e verificou-se uma variação entre R\$ 2.189,17 e R\$ 8.500,00, considerando várias marcas e modelos de cisternas. Dentre as quais a mais cara foi o modelo de cisterna enterrada e o preço, as vezes, considerando o valor de frete. Assim, o custo pode diminuir ou aumentar, alterando a estimativa dos custos do C04, que passaria a ser R\$ 2.948,22, tomando por base o modelo de cisterna mais barato.

A partir do índice de eficiência econômica relacionado ao volume de escoamento superficial, quantificou-se o investimento necessário para cada metro cúbico de redução do volume total. Comparando os cenários, o melhor custo-benefício foi encontrado no C04,

obtendo-se, em média, 477,03 de custo por metro cúbico (R\$/m³) de água reduzida. O valor mínimo de 467,97 foi encontrado para a precipitação de 60,2 mm (Tr5-120min) e o maior valor para a precipitação de 50,9 mm e 67,4 mm (Tr25-30min e Tr25-60min, respectivamente) (Tabela 12).

Tabela 12: Índice de eficiência econômica (I) relacionado à redução do volume de escoamento superficial.

| Tr (anos) | d (min) | C02 | | C03 | | C04 | |
|--------------|------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | | Vol red (m ³)* | I (R\$/m ³) | Vol red (m ³)* | I (R\$/m ³) | Vol red (m ³)* | I (R\$/m ³) |
| 5 | 30 | 5,810 | 640,40 | 0,200 | 5440,89 | 6,140 | 480,17 |
| | 60 | 5,800 | 641,51 | 0,200 | 5440,89 | 6,200 | 475,52 |
| | 90 | 5,900 | 630,63 | 0,200 | 5440,89 | 6,200 | 475,52 |
| | 120 | 5,900 | 630,63 | 0,200 | 5440,89 | 6,300 | 467,97 |
| 10 | 30 | 5,760 | 645,96 | 0,200 | 5440,89 | 6,130 | 480,95 |
| | 60 | 5,800 | 641,51 | 0,300 | 3627,26 | 6,200 | 475,52 |
| | 90 | 5,800 | 641,51 | 0,300 | 3627,26 | 6,200 | 475,52 |
| | 120 | 5,800 | 641,51 | 0,300 | 3627,26 | 6,200 | 475,52 |
| 25 | 30 | 5,700 | 652,76 | 1,100 | 989,25 | 6,100 | 483,31 |
| | 60 | 5,600 | 664,42 | 1,100 | 989,25 | 6,100 | 483,31 |
| | 90 | 5,700 | 652,76 | 1,100 | 989,25 | 6,200 | 475,52 |
| | 120 | 5,700 | 652,76 | 1,100 | 989,25 | 6,200 | 475,52 |

*Volume de água reduzido com a implantação do dispositivo, obtido pela diferença entre o volume total no cenário referência e no cenário com o dispositivo.

No C03, o valor do índice foi desproporcional, uma vez que, o volume efetivamente reduzido com o microrreservatório é zero ou aproximadamente zero. Ele realiza, na verdade, a retenção temporária da água. Dessa forma, duas métricas apropriadas para comparar o custo com o benefício gerado por esse dispositivo é o custo por metro cúbico de água armazenada ou retida e por unidade de redução da vazão de pico.

O volume armazenado ou retido no MR está relacionado à sua capacidade total de armazenamento utilizada durante o evento de chuva. Os valores indicam, em média, 515,73 de custo por metro cúbico de água armazenada ou retida temporariamente. Os valores do índice referente à redução da vazão de pico foram muito altos. Assim, indicam um elevado custo do dispositivo em relação ao benefício que ele proporciona (Tabela 13).

Tabela 13: Índice de eficiência econômica (I) relacionado ao volume armazenado e à redução da vazão de pico para o C03.

| Tr (anos) | d (min) | Qp red (m ³ /s)* | I (R\$/m ³) | Vol arm (m ³)** | I (R\$/m ³) |
|-----------|---------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 5 | 30 | 0,0034 | 317253,25 | 1,856 | 586,224 |
| | 60 | 0,0033 | 327764,65 | 1,883 | 577,820 |
| | 90 | 0,0033 | 328754,88 | 1,883 | 577,820 |

| | | | | | |
|----|-----|--------|-----------|-------|---------|
| | 120 | 0,0033 | 328754,88 | 1,883 | 577,820 |
| 10 | 30 | 0,0042 | 257252,63 | 2,250 | 483,635 |
| | 60 | 0,0041 | 264121,03 | 2,250 | 483,635 |
| | 90 | 0,0041 | 263481,51 | 2,250 | 483,635 |
| | 120 | 0,0041 | 264121,03 | 2,250 | 483,635 |
| 25 | 30 | 0,0056 | 195364,21 | 2,250 | 483,635 |
| | 60 | 0,0055 | 199665,81 | 2,250 | 483,635 |
| | 90 | 0,0055 | 199665,81 | 2,250 | 483,635 |
| | 120 | 0,0055 | 199665,81 | 2,250 | 483,635 |

*Vazão de pico reduzida com a implantação do MR, obtido pela diferença entre a vazão máxima no cenário referência e no cenário com o MR.

**Volume armazenado ou retido no MR durante seu funcionamento.

O investimento desproporcionalmente alto (custo-benefício), sugere baixa eficiência do C03 na redução da vazão de pico no contexto da simulação. No entanto, em comparação com os outros cenários ainda apresentou o menor índice de eficiência econômica (APÊNDICE C).

8 CONCLUSÃO

As simulações das medidas estudadas mostram-se eficientes na redução do escoamento superficial no lote nas condições estabelecidas. A vazão máxima é reduzida de 6,4% a 50,2% e o volume total de 19,9% a 49,9%. A partir da análise do volume de água da chuva, considerando o reservatório de 5m³, tem-se um aproveitamento de 40% desse volume, em média anual. Indicativo da redução no volume de água gerado no telhado e que seria escoado.

Além disso, a partir da modelagem, verificou-se o desempenho dos dispositivos utilizados em cada cenário proposto frente à diferentes magnitudes de chuva, obtendo-se valores de volume total e vazão máxima. Avaliando cada cenário e considerando a estimativa de custos tem-se que:

- Combinação do barril de chuva seguido da trincheira de infiltração apresentou maior controle do volume total escoado. A redução da vazão de pico foi influenciada pela sobreposição de hidrogramas nas chuvas mais críticas (Tr25-90min e Tr25-120min). Mas manteve excelente desempenho nas chuvas com duração de 30min;
- O custo-benefício do barril de chuva seguido da trincheira de infiltração apresentou o menor índice, indicando a opção mais eficiente para redução do volume total, quando o barril de chuva está vazio;
- Microrreservatório mostrou o melhor desempenho em relação à redução da vazão de pico, por manter quase constante o percentual de redução em todos os eventos de chuva;

- O microrreservatório foi o dispositivo com estimativa de custos mais barata.
- O custo-benefício para microrreservatório em relação à vazão de pico, no entanto, apresentou baixa eficiência do dispositivo pelo valor desproporcional em relação ao benefício de redução da vazão;
- Trincheira de infiltração mostrou-se como cenário mais desfavorável, devido à sobreposição dos hidrogramas influenciar na redução da vazão máxima. Apresentou valor maior que o cenário referência nas chuvas mais críticas (Tr25-90min e Tr25-120min) e grande variação nas chuvas com Tr10 anos.
- A duração das chuvas teve maior influência nos cenários 2 e 4, tanto na redução do volume total como na redução da vazão de pico;
- O tempo de retorno influenciou mais o desempenho do microrreservatório, em relação à vazão de pico.

Diante do exposto, considera-se que os objetivos foram alcançados, mostrando como se dá a influência do uso de medidas compensatórias no escoamento gerado em lote residencial diante dos cenários propostos. É importante ressaltar que os dispositivos selecionados para este estudo possuem diferentes finalidades e vantagens. A trincheira de infiltração utiliza-se da infiltração da água no solo, o microrreservatório tem a finalidade de reduzir a vazão máxima e o barril de chuva agrega, além do impacto no escoamento, a importância do reúso da água armazenada para diversos fins não potáveis.

Portanto, a escolha de implantação das medidas compensatórias está relacionada à diversos fatores. É preciso basear-se na finalidade e vantagens de cada dispositivo, no desempenho hidrológico deles em relação ao escoamento superficial, bem como, nos objetivos do proprietário, e não somente no aspecto financeiro. A análise de custo-benefício indica que nem sempre a medida mais barata será a mais eficiente, então, o investimento pode ser desproporcional diante do benefício esperado.

Os achados nesta pesquisa podem servir de base para outras pesquisas, para decisão de particulares para implantar os dispositivos e ainda para definir políticas públicas, incluindo, vantagens financeiras ou fiscais decorrentes da implantação de medidas desse tipo. Porém, ressalta-se a necessidade de estudos complementares para gerar resultados mais detalhados e abrangentes.

Assim, sugere-se estudos com uso de dados de precipitação subsidiária e avaliação de custo-benefício da utilização dos dispositivos, considerando uma estimativa do sistema completo e das vantagens com a economia de água oriunda da rede de abastecimento. Além

disso, a avaliação do impacto gerado no escoamento de uma área maior, como um loteamento ou bairro, considerando áreas públicas e se o efeito das medidas seria realmente suficiente para evitar alagamentos e enchentes.

REFERÊNCIAS

ABDELKHALEQ, R. A.; AHMED, I.A. Rainwater harvesting in ancient civilizations in Jordan. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 7, n. 1, p. 85–93, 2007.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR: 15527/2019**. Aproveitamento de Água de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. Segunda edição. Rio de Janeiro, 2019.

AECOM *et al.* **Georgia Stormwater Management Manual: Technical Handbook**. Atlanta: Atlanta Regional Commission, v. 2, 2016. Disponível em <<https://cdn.atlantaregional.org/wp-content/uploads/gsmm-2016-edition-final-v2.pdf>>. Acesso em set/2024.

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 119, p. 151–161, 2013. DOI: 10.1016/J.JENVMAN.2013.01.019. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713000571?via%3Dihub>>. Acesso em out 2024.

AHIABLAME, L.; SHAKYA, R. Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 171, p. 81–91, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.01.036. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716300342?via%3Dihub>>. Acesso em out 2024.

ANDOH, R. Y. G.; IWUGO, K. O. Sustainable Urban Drainage Systems: A UK Perspective. 9th International Conference on Urban Drainage. **Anais...Portland**: 2002.

ARAÚJO NETO, Adauto Antônio de; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. Efeito do aproveitamento de água da chuva de telhado na redução de escoamento superficial em uma pequena bacia urbana. 2022, Brasília/DF: [s.n.], 2022. p. 1–10.

AZEVEDO NETTO, J. M. *et al.* Planejamento de sistemas de abastecimento de água. Editora Universidade Federal do Paraná, 1973.

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. Disponível em <<https://www.portland.gov/sites/default/files/policies/enb-4.01-stormwater-management-manual-december-2020.pdf>>. Acesso em set/2024.

BRASIL. **Lei nº 11.445/2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº

6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial nº 135. ISSN 1677-7042. Brasília-DF. Legislativo. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em out/2024.

_____. **Lei nº 9.433/1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial nº 6, p.470. Brasília-DF. Legislativo. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=9433&ano=1997&ato=a12ATVU90MJpWTbaf>>. Acesso em out/2024.

CAMPISANO, A.; LUPIA, F. A dimensionless approach for the urban-scale evaluation of domestic rainwater harvesting systems for toilet flushing and garden irrigation. **Urban Water Journal**, v. 14, n. 9, p. 883–891, 2017.

CHAHAR, B. R.; GRAILLOT, D.; GAUR, S. Storm-Water Management through Infiltration Trenches. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 138, n. 3, p. 274–281, 2012.

CORDERO, Ademar et al. Aproveitamento da água de chuva e controle na fonte associado à geração de energia e aquecimento solar. 2013, [S.l: s.n.], 2013. p. 1–8.

CORDERO, A.; PINHEIRO, I. G.; VALE, J. A. B.; BERTOLI, S. L.; BRANDTL, P. R., Contribuições ao ensino de engenharia através de casa modelo - geração de energia e captação e aproveitamento de água de chuva. In: **XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Blumenau**. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2012

CURITIBA. Decreto nº 1733/2020. Dispõe sobre os critérios para implantação dos mecanismos de contenção de cheias para retenção e/ou detenção de águas pluviais. Disponível em <<https://mid.curitiba.pr.gov.br/2021/00310448.pdf>>. Acesso em out/2024.

CURITIBA. **Manual de drenagem urbana - Região Metropolitana de Curitiba**. . Brasil: Governo do Estado do Paraná. , 2002

DAVIDOVITSCH, Léo et al. Tendências recentes na Aplicação de Técnicas de Desenvolvimentos de Baixo Impacto (LID) Para o Controle da Drenagem Urbana. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 73, p. 336, 2023.

DIAS, M. L.; DRUMOND, P. de P.; SILVA, T.F. das G. Modelagem de microrreservatórios no SWMM utilizando storage unit e rain barrel. 2019, Belo Horizonte/MG: Associação brasileira de Recurso Hídricos (ABRHidro), 2019.

GHAFFARIANHOSEINI, A. *et al.* State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: a review. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 1, p. 95–104, 2016.

DINIZ, G. J. da S. **Desempenho de técnicas compensatórias na mitigação do perigo de inundações em uma bacia urbanizada fechada**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. 69 f..

HELLER, L.; PÁDUA, V. DE. Abastecimento de água para consumo humano. Editora UFMG, 2006.

HUA, P.; YANG, W.; QI, X.; JIANG, S.; XIE, J.; GU, X.; LI, H.; ZHANG, J.; KREBS, P. Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in response to design rainfall and low impact development. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 242, p. 118515, 2020. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.118515. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619333852?via%3Dihub>>. Acesso em out 2024.

IPH, Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre – **Manual de Drenagem Urbana**, Porto Alegre: IPH/UFRGS, v. VI, 223 p., 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia. **Censo Demográfico 2022** (mapa interativo): média de moradores em domicílios particulares permanentes ocupados. Disponível em <<https://censo2022.ibge.gov.br/apps/pgi/#/home>>. Acesso em jul/2024.

JOÃO PESSOA. **Decreto nº 9.718/2021**. Estabelece instruções normativas de Aprimoramento da legislação urbanística vigente e dá outras providências. Semanário Oficial, nº especial, João Pessoa, 2021. Pág. 001/025.

_____. **Lei Complementar nº 166**. Dispõe sobre o zoneamento e o uso e ocupação do solo do município de João Pessoa/PB – LUOS, e dá outras providências. Diário Oficial, nº 0523 (SUPLEMENTO), João Pessoa, 2024. Pág. 001/022.

_____. **Lei Complementar nº 93 de 2015**. Dispõe sobre a política municipal de saneamento básico do município de João Pessoa, seus instrumentos, e dá outras providências. Disponível em <<https://leismunicipais.com.br/a/pb/j/joao-pessoa/lei-complementar/2015/10/93/lei-complementar-n-93-2015-dispoe-sobre-a-politica-municipal-de-saneamento-basico-do-municipio-de-joao-pessoa-seus-instrumentos-e-da-outras-providencias>>. Acesso em out/2024.

_____. Projeto executivo de estudos hidrológicos e análise das mudanças climáticas. Relva, A. (coord.). Programa João Pessoa Sustentável. Vol.1, 2021, p.121. Disponível em <<https://jpsustentavel.joaopessoa.pb.gov.br/wp-content/uploads/2023/05/Projeto-Executivo-Estudios-Hidrologicos-Mudancas-Climaticas.pdf>>. Acesso em jul/2024.

KIM, N.W.; WON, Y.S.; LEE, J.; LEE, J.E.; JEONG, J. Hydrological impacts of urban imperviousness in white rock creek watershed. **Trans. ASABE**, 54(5), 2011, 1759–1771.

KREBS, G.; KOKKONEN, T.; VALTANEN, M.; SETÄLÄ, H.; KOIVUSALO, H. Spatial resolution considerations for urban hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, Espoo, Finland, n. 512, p. 482-497, March 2014.

LIMA, Laís Costa; FILGUEIRA, Hamilcar José Almeida. A microdrenagem urbana e o risco de desastres por alagamento na cidade de João Pessoa, Paraíba, Brasil. 2018, Porto Alegre/RS: [s.n.], 2018. p. 1–8.

LIMA NETO, V. de S. Análise da implantação de reservatórios de retenção em lotes urbanos. **Northeast Geosciences Journal**, v. 10, n. 1, 2024.

LUCAS, A.H. Monitoramento e Modelagem de um Sistema Filtro-Vala- Trincheira de Infiltração em Escala Real. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

LUNA, Y.H.D.M.de. Eficiência volumétrica de reservatórios para aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia. João Pessoa, 2022.

MELO, T. dos A.T.de; COUTINHO, A.P; SANTOS, J.B.F. dos; CABRAL, J.J. da S.P.; ANTONINO, A.C.D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 3, p. 53–72, 2016.

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.

PMSB-JP. Plano Municipal de Saneamento Básico de João Pessoa. 2015. 141 p. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/semam/planomunicipal-de-saneamento-basico/>>. Acesso em out/2024.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

NIAZI, M. NIETCH, C.; MAGHREBI, M.; JACKSON, N.; BENNETT, B. R.; TRYBY, M.; MASSOUDIEH, A. Storm water management model: performance review and gap analysis. EPA Public Access. **J Sustain Water Built Environ.**, v. 24, n. 3(2), 2017.

PERIUS, C. F. **Variáveis de projeto e sua influência no desempenho e dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12173/DIS_PPGECC_2016_PERIUS_CARLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em out/2024.

PERIUS, C. F. TASSI, R.; LAMBERTI, L. A.; SILVA, A.G.; Böck, Liriane Élen Influence of rainfall and design criteria on performance of rainwater harvesting systems placed in different brazilian climatological conditions. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 26, p. 1–16, 2021.

PLATZ, M.; SIMON, M.; TRYBY, M. Testing of the Storm Water Management Model Low Impact Development Modules. **Journal of the American Water resources Association**, v. 56, n. 2, p. 283–296, 2020.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 48, p. 15–23, 2000.

PRINCE GEORGE'S COUNTY. **Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach**. Princes Gerorge's County, Maryland (US): Department of Environmental Resources, 1999. Disponível em <https://engineering.purdue.edu/mapserve/LTHIA7/documentation/downloads/LID_HYDR.PDF>. Acesso em out/2024.

QIUWEN, Shen Ji and Zhang. A GIS-based Subcatchments Division Approach for SWMM. **The Open Civil Engineering Journal**, v. 9, p. 515–521, 2015.

ROSA, D. W. B.; NASCIMENTO, N. O.; MOURA, P. M.; MACEDO, G. D. Assessment of the hydrological response of an urban watershed to rainfall-runoff events in different land use scenarios - Belo Horizonte, MG, Brazil. *Water Science and Technology*, [S. l.], v. 81, n. 4, p. 679–693, 2020. DOI: 10.2166/wst.2020.148. Disponível em <<https://iwaponline.com/wst/article/81/4/679/73405/Assessment-of-the-hydrological-response-of-an>>. Acesso em out 2024.

ROSSMAN, L. A.; SIMON, M. A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2**. Cincinnati/OH: [s.n.], 2022.

SACADURA, F. **Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. Dissertação (Mestrado). 153f. Engenharia Civil - Universidade de Nova Lisboa. Lisboa, Portugal, 2011.

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

SANTANA, N.C.B. Qualidade das águas de chuva em João Pessoa-PB: estudo comparativo com padrões de qualidade para uso residencial. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa/PB, 2012.

SANTOS, V.C. dos. **Avaliação de sistema de aproveitamento de águas pluviais de telhado via simulação contínua com dados subdiários**. 2021. Universidade Federal de Alagoas, 2021.

SANTOS, Valéria Carneiro dos; NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das; SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Avaliação de sistema de captação de água de chuva através de simulação contínua com dados subdiários. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 28, p. 1–12, 2023.

SANTOS, S.; FARIAS, M. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 164, p. 1007-1015, 2017.

SCHINA, Bruno Álvaro. **Modelagem de reservatórios de uso compartilhado para controle de escoamento e aproveitamento de água pluvial**. 2022. 100 f. Universidade Federal de Santa Maria, 2022.

SCHUETZE, T. Rainwater harvesting and management - Policy and regulations in Germany. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 13, n. 2, p. 376–385, 2013.

SILVA, E. L.da. **Dimensionamento e estimativa orçamentária de microrreservatórios de detenção em diferentes lotes na cidade de João Pessoa - PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, 2019.

SILVA, N. R. O.; TEIXEIRA, L. C. G. M. O cenário legislativo brasileiro no uso de tecnologias de ‘Low Impact Development’ (LID) em drenagem urbana. **Labor & Engenho**, v. 17, p. 1–10, 2023.

SILVEIRA, A.; TUCCI, C.; CRUZ, M. Controle do Escoamento com Detenção em Lotes Urbanos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 19–31, 1998.

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**, 1999. Disponível em <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=9363>>. Acesso em set/2024.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático: eixo de drenagem**. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AP_SNIS_2023.pdf>. Acesso em out/2024.

TEJADAS, B.E.; POSSANTTI, I.B.; MARQUES, Guilherme. Simulação de tecnologias LID em lotes urbanos para controle de escoamento superficial. **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, v. 15, n. 1, p. 72–86, 2024.

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

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

URBONAS, B.; STAHERE, P. **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993. 450p.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, São Paulo, 2017. Disponível em <<https://proceedings.science/sbsr/papers/an-update-of-xavier-king-and-scanlon--2016--daily-precipitation-gridded-data-set-for-the-brazil>>. Acesso em ago/2024.

APÊNDICE A – Aplicação do método de Rippl para o balanço do sistema de armazenamento de água da chuva

Tabela A-14: Médias anuais dos valores utilizados no Método de Rippl e os percentuais de aproveitamento de água da chuva para cada ano.

| Anos | P (mm) | Entrada de água (m ³) | Consumo (m ³) | Saldo (m ³) | Armazenamento (m ³) | Extravasamento (m ³) | Aproveitamento de água (m ³) | |
|------|--------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|-------|
| 1993 | 2,406 | 0,368 | 0,378 | -0,010 | 1,614 | 0,146 | 0,222 | 60,3% |
| 1994 | 6,012 | 0,920 | 0,378 | 0,542 | 2,832 | 0,599 | 0,321 | 34,9% |
| 1996 | 5,059 | 0,774 | 0,378 | 0,396 | 2,831 | 0,460 | 0,314 | 40,5% |
| 1997 | 3,944 | 0,603 | 0,378 | 0,225 | 2,423 | 0,347 | 0,256 | 42,5% |
| 1998 | 3,379 | 0,517 | 0,378 | 0,139 | 1,854 | 0,272 | 0,245 | 47,4% |
| 1999 | 2,822 | 0,432 | 0,378 | 0,054 | 2,074 | 0,143 | 0,288 | 66,8% |
| 2000 | 6,963 | 1,065 | 0,378 | 0,687 | 3,114 | 0,732 | 0,333 | 31,3% |
| 2001 | 2,917 | 0,446 | 0,378 | 0,068 | 2,001 | 0,203 | 0,244 | 54,6% |
| 2002 | 4,996 | 0,764 | 0,378 | 0,386 | 2,886 | 0,468 | 0,296 | 38,8% |
| 2003 | 5,527 | 0,846 | 0,378 | 0,468 | 3,019 | 0,532 | 0,314 | 37,1% |
| 2004 | 5,376 | 0,823 | 0,378 | 0,445 | 2,692 | 0,548 | 0,275 | 33,4% |
| 2005 | 4,508 | 0,690 | 0,378 | 0,312 | 2,452 | 0,433 | 0,256 | 37,2% |
| 2006 | 3,295 | 0,504 | 0,378 | 0,126 | 2,421 | 0,249 | 0,255 | 50,6% |
| 2007 | 5,663 | 0,866 | 0,378 | 0,488 | 2,916 | 0,583 | 0,284 | 32,8% |
| 2008 | 5,832 | 0,892 | 0,378 | 0,514 | 2,689 | 0,606 | 0,286 | 32,1% |
| 2009 | 6,243 | 0,955 | 0,378 | 0,577 | 2,763 | 0,662 | 0,293 | 30,7% |
| 2010 | 3,223 | 0,493 | 0,378 | 0,115 | 2,530 | 0,198 | 0,295 | 59,8% |
| 2011 | 5,824 | 0,891 | 0,378 | 0,513 | 2,916 | 0,591 | 0,300 | 33,7% |
| 2012 | 3,942 | 0,603 | 0,378 | 0,225 | 1,909 | 0,349 | 0,254 | 42,2% |
| 2013 | 4,980 | 0,762 | 0,378 | 0,384 | 2,255 | 0,491 | 0,271 | 35,6% |
| 2014 | 4,068 | 0,622 | 0,378 | 0,244 | 3,032 | 0,295 | 0,328 | 52,7% |
| 2015 | 3,955 | 0,605 | 0,378 | 0,227 | 2,008 | 0,344 | 0,261 | 43,1% |
| 2016 | 3,838 | 0,587 | 0,378 | 0,209 | 2,231 | 0,307 | 0,281 | 47,8% |
| 2017 | 5,582 | 0,854 | 0,378 | 0,476 | 2,807 | 0,556 | 0,298 | 34,9% |
| 2018 | 4,254 | 0,651 | 0,378 | 0,273 | 2,386 | 0,363 | 0,288 | 44,2% |
| 2019 | 5,584 | 0,854 | 0,378 | 0,476 | 2,964 | 0,553 | 0,301 | 35,3% |
| 2020 | 4,448 | 0,681 | 0,378 | 0,303 | 2,379 | 0,419 | 0,262 | 38,4% |
| 2021 | 3,251 | 0,497 | 0,378 | 0,119 | 2,118 | 0,239 | 0,259 | 52,0% |
| 2022 | 5,881 | 0,900 | 0,378 | 0,522 | 2,675 | 0,591 | 0,308 | 34,3% |

APÊNDICE B – Capacidade de armazenamento total do microrreservatório utilizada

Tabela B-15: Tempo para atingir a capacidade de armazenamento total utilizada em cada evento de chuva.

| Tr (anos) | d (min) | Percentual (%) | Tempo (min) |
|-----------|---------|----------------|-------------|
| 5 | 30 | 82,5 | 22 |
| | 60 | 83,7 | 37 |
| | 90 | 83,7 | 52 |
| | 120 | 83,7 | 67 |
| 10 | 30 | 100 | 22 |
| | 60 | 100 | 36 |
| | 90 | 100 | 51 |
| | 120 | 100 | 66 |
| 25 | 30 | 100 | 18 |
| | 60 | 100 | 33 |
| | 90 | 100 | 48 |
| | 120 | 100 | 63 |

APÊNDICE C – Índice de eficiência econômica

Tabela C-16: Índice de eficiência econômica relacionado à redução da vazão de pico em todos os cenários.

| Tr (anos) | d (min) | Qp red (m ³ /s)* | I (R\$/m ³) | Qp red (m ³ /s)* | I (R\$/m ³) | Qp red (m ³ /s)* | I (R\$/m ³) |
|-----------|---------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 5 | 30 | 0,008 | 493466,84 | 0,0034 | 317253,25 | 0,008 | 391010,61 |
| | 60 | 0,008 | 496098,67 | 0,0033 | 327764,65 | 0,008 | 393096,00 |
| | 90 | 0,007 | 553681,55 | 0,0033 | 328754,88 | 0,007 | 393620,83 |
| | 120 | 0,004 | 920975,25 | 0,0033 | 328754,88 | 0,006 | 476287,56 |
| 10 | 30 | 0,009 | 422811,36 | 0,0042 | 257252,63 | 0,009 | 335025,00 |
| | 60 | 0,007 | 551220,74 | 0,0041 | 264121,03 | 0,009 | 336171,04 |
| | 90 | 0,003 | 1081610,47 | 0,0041 | 263481,51 | 0,006 | 508313,79 |
| | 120 | 0,002 | 1898336,73 | 0,0041 | 264121,03 | 0,005 | 635392,24 |
| 25 | 30 | 0,008 | 438249,71 | 0,0056 | 195364,21 | 0,011 | 272730,80 |
| | 60 | 0,004 | 932516,29 | 0,0055 | 199665,81 | 0,006 | 497170,32 |
| | 90 | 0,000 | -10630685,71 | 0,0055 | 199665,81 | 0,003 | 898847,56 |
| | 120 | -0,001 | -3835814,43 | 0,0055 | 199665,81 | 0,001 | 2076211,27 |

*Vazão de pico reduzida com a implantação do dispositivo, obtido pela diferença entre a vazão máxima no cenário referência e no cenário com o dispositivo.