

Avaliação do desempenho de um Jardim de Chuva como alternativa mitigadora de alagamentos

Evaluation of the performance of a rain garden as an alternative to mitigate flooding

Evaluación del desempeño de un jardín de lluvia como alternativa para mitigar inundaciones

Maiza Gleyce Fernandes de Souza

Graduanda em Engenharia Civil, UPE, Brasil
mgfs@poli.br

Willames de Albuquerque Soares

Professor Doutor, UPE, Brasil
was@poli.br

RESUMO

Devido ao avanço da urbanização e ao aumento das áreas impermeabilizadas, diversos pontos da cidade do Recife, incluindo a Rua Benfica, em frente à Praça Euclides da Cunha, tornam-se suscetíveis a alagamentos durante períodos de chuva intensa. Diante desse cenário, este estudo propõe a implementação de um Jardim de Chuva (JC) como uma solução sustentável para mitigar alagamentos recorrentes. A pesquisa foi realizada utilizando simulações no software Hydrus-1D, considerando quatro camadas de solo, além de dados pluviométricos obtidos do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, com o objetivo de prever a capacidade de retenção de água do JC em dias chuvosos. Os resultados indicam uma redução significativa no escoamento superficial, com a diminuição do número de dias de alagamento de 194 para 15 no período analisado. Foi observado que eventos de precipitação superiores a 30 mm apresentam alto risco de alagamentos na área. Esses achados sugerem que a adoção do jardim no local se mostra eficiente para conter o alagamento, além de promover benefícios ambientais, também representa uma solução viável para melhorar drenagem urbana frente a eventos de chuvas na Rua Benfica.

PALAVRAS-CHAVE: Infraestrutura verde. Drenagem Urbana. Hydrus-1D.

ABSTRACT

Due to the advancement of urbanization and the increase in waterproof areas, several parts of the city of Recife, including Rua Benfica, in front of Praça Euclides da Cunha, become susceptible to flooding during periods of intense rain. Given this scenario, this study proposes the implementation of a Rain Garden (JC) as a sustainable solution to mitigate recurrent flooding. The research was carried out using simulations in the Hydrus-1D software, considering four layers of soil, in addition to rainfall data obtained from the National Center for Monitoring and Alerts of Natural Disasters, with the objective of predicting the JC's water retention capacity on rainy days. . The results indicate a significant reduction in surface runoff, with a decrease in the number of flooding days from 194 to 15 in the analyzed period. It was observed that operational events greater than 30 mm present a high risk of flooding in the area. These findings suggest that improving the garden on site is efficient in containing flooding, in addition to promoting environmental benefits, it also represents a viable solution to improve urban drainage in the face of rain events on Rua Benfica.

KEYWORDS: Green infrastructure. Urban Drainage. Hidrus-1D.

RESUMEN

Debido al avance de la urbanización y al aumento de las zonas impermeables, varias partes de la ciudad de Recife, incluida la Rua Benfica, frente a la Praça Euclides da Cunha, se vuelven susceptibles a inundaciones durante los períodos de intensas lluvias. Ante este escenario, este estudio propone la implementación de un Jardín de Lluvia (JC) como solución sustentable para mitigar las inundaciones recurrentes. La investigación se realizó mediante simulaciones en el software Hydrus-1D, considerando cuatro capas de suelo, además de datos de lluvia obtenidos del Centro Nacional de Monitoreo y Alertas de Desastres Naturales, con el objetivo de predecir la capacidad de retención de agua del JC en épocas de lluvia. días. . Los resultados indican una importante reducción de la escorrentía superficial, con una disminución del número de días de inundación de 194 a 15 en el periodo analizado. Se observó que eventos operacionales mayores a 30 mm presentan un alto riesgo de inundación en la zona. Estos hallazgos sugieren que la mejora del jardín en el lugar es eficiente para contener las inundaciones, además de promover beneficios ambientales, también representa una solución viable para mejorar el drenaje urbano ante eventos de lluvia en la Rua Benfica.

PALABRAS CLAVE: Infraestructura verde. Drenaje Urbano. Hidras-1D.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento desordenado da população em Recife, a infraestrutura de recursos hídricos tem enfrentado desafios significativos. O sistema de drenagem urbana, responsável pelo escoamento das águas pluviais, está entre os mais afetados, apresentando uma redução em sua vida útil. Essa transferência tem contribuído para o aumento da frequência e intensidade de alagamentos na cidade. Além disso, a gestão concentrada de resíduos sólidos, intensificada pela crescente concentração populacional em áreas urbanas, torna o controle das enchentes e a manutenção das estruturas de drenagem ainda mais complexas para os órgãos públicos (Silva et al., 2021).

À medida que as mudanças climáticas se intensificam, é crucial fortalecer os sistemas de drenagens de águas pluviais, já que eles são cada vez mais sobrecarregados devido ao aumento das inundações e alagamentos urbanos causados por chuvas intensas. Dessa forma, a infraestrutura verde e azul está sendo cada vez mais utilizada para mitigar esses impactos. Os jardins de chuva, em particular, se destacam por oferecerem uma variedade de benefícios técnicos, ecológicos, sociais e de saúde. Portanto, considerar esses benefícios é essencial no planejamento urbano para lidar com os desafios impostos pelas mudanças climáticas (Blak e Barjenbruch, 2022).

Uma estratégia eficaz para retardar alagamentos é reter a água da chuva diretamente na fonte. Essa técnica geralmente é implementada por meio de medidas compensatórias. Isso ajuda a reduzir o volume de água diretamente na fonte, evitando a sobrecarga do sistema de drenagem local. Um exemplo são os jardins de chuva, que não só acumulam a água da chuva, mas também, graças às suas paredes laterais e área de fundo permeáveis, permitem que a água infiltre diretamente no solo (Barros et al., 2024).

Segundo Gordim et al. (2023), os custos de instalação de um JD variam amplamente, influenciados por fatores como o tamanho do jardim, a localização geográfica, o tipo de vegetação e solo, e a presença de sistemas de drenagem e automação. A implementação de um sistema de automação, embora requeira um investimento inicial mais alto, pode trazer economias a longo prazo, reduzindo despesas com mão de obra e consumo de água.

Viana et al. (2020) analisaram a implementação de soluções baseadas na natureza para a drenagem de águas pluviais, tanto em contextos nacionais quanto internacionais. Eles constataram que os jardins de chuva se destacam como uma alternativa viável e econômica em comparação com soluções tradicionais. Além dos benefícios de custo reduzido, esses jardins oferecem co-benefícios significativos, como a recuperação de paisagens e a promoção da biodiversidade em áreas urbanas, devido à sua simplicidade na implantação.

Li, et al. (2018), implementaram 46 jardins de chuva, cobrindo uma pequena parte da região total. A avaliação comparou a situação antes e depois da instalação desses jardins. Os resultados mostraram uma melhoria significativa na gestão do escoamento e na qualidade da água após a instalação. Houve uma redução no volume de água escoada e nos transbordamentos, além de um adiamento no horário do pico de vazão. A qualidade da água também melhorou, com diminuições nas concentrações de sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, nitrogênio total e fósforo total. No entanto, a eficácia dos jardins de chuva diminuiu em eventos de precipitação mais intensos, devido às alterações na direção do fluxo de água causadas pela construção de edifícios, que aumentam o risco de acúmulo de água.

A modelagem matemática de eventos hidrológicos desempenha um papel fundamental na meteorologia, auxiliando na previsão e mitigação de alagamentos. Esses modelos são fundamentais para compreender a dinâmica de processos naturais complexos, permitindo superar limitações impostas pela carência de dados obtidos em campo, uma vez que a coleta de tais informações geralmente envolve procedimentos de alto custo (Dias e Soares, 2019).

O software Hydrus-1D, desenvolvido para simular o fluxo unidimensional de água, calor e soluções em diferentes perfis de solo, oferece uma solução numérica para a Equação de Richards, que descreve o movimento da água em condições de saturação variável. A partir de dados térmicos e das propriedades físicas do solo, o modelo permite a definição de múltiplas condições de contorno e a simulação de diferentes cenários hidrológicos. Desta forma, o Hydrus-1D se apresenta como uma ferramenta crucial para a análise de processos hidrodinâmicos não só e a implementação de estratégias de mitigação de desastres naturais (Dias e Soares, 2019; Soares, 2017).

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Propor uma solução sustentável para mitigar o problema de alagamento constante em um local específico da Rua Benfica, em frente à Praça Euclides da Cunha (Praça do Internacional), em Recife-PE, por meio da modelagem simulação com o Hydrus 1D de um JC.

2.1. Objetivos específicos

- Determinar a área de influência que, ao receber precipitação, resulta em acúmulo de água, causando alagamentos no local em estudo.
- Coletar informações sobre os materiais constituintes de cada camada do JC, como capacidade de infiltração e retenção de água, fundamentais para modelagem.
- Examinar o histórico pluviométrico da região de influência, focando na intensidade das chuvas, para entender o comportamento dos eventos que provocam o alagamento.
- Simular a capacidade de infiltração do JC, utilizando as configurações de cada camada no software Hydrus 1D.
- Propor o JC como uma alternativa viável e eficaz para reduzir a incidência de alagamentos na área de estudo, complementando ou otimizando o sistema de drenagem existente.

3 METODOLOGIA

3.1. Local de estudo

A Rua Benfica, reconhecida por sua relevância histórica, abriga diversas instituições educacionais, culturais e comerciais, consolidando-se como uma via de importância na cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, Brasil. Localizada no tradicional bairro da Madalena, a rua possui em sua frente à Praça Euclides da Cunha, um espaço público que oferece oportunidades de lazer e interação social para moradores e visitantes. Esta praça

também preserva memórias e manifestações culturais nordestinas ao longo de sua história (Figura 1).

Figura 1 – Imagem da praça Euclides da Cunha



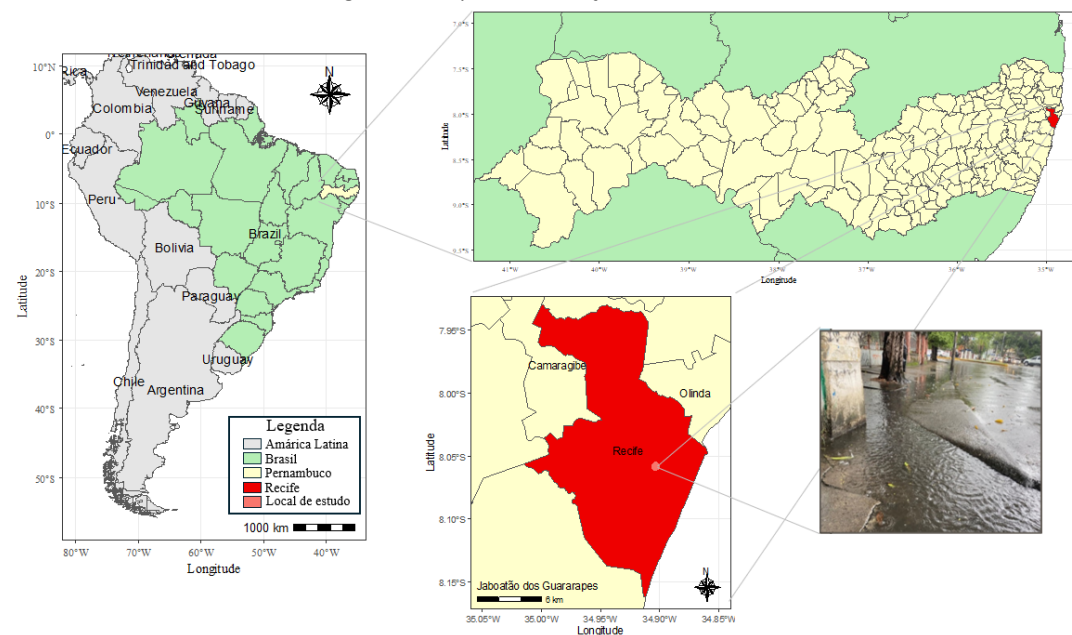
Fonte: Os autores

A Rua Benfica também se destaca como um patrimônio cultural, contendo monumentos históricos que datam do século XIX. Os palacetes ao longo da via, como o Palacete do Benfica, exemplificam o esplendor arquitetônico e social dessa época.

O Palacete do Benfica, uma edificação neoclássica construída em 1860, destaca-se por ter servido como residência de veraneio da nobreza pernambucana. Sua localização na área conhecida como "Passagem da Madalena" e seu tombamento pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) sublinham sua importância cultural (IPHAN, 2024).

O alagamento objeto deste estudo ocorre em um trecho específico da Rua Benfica, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Mapa de localização do local de estudo



Fonte: Os autores, a partir de dados do IBGE.

3.2 Área de Drenagem

A região de influência para o sistema de drenagem foi definida considerando a área de alagamento no local, durante um dia de chuva intensa, medindo 2 metros de largura para 22 metros de comprimento, totalizando uma área de 44m² (Figura 3).

Figura 3 – Áreas adjacentes ao ponto de alagamento na Rua Benfica



Fonte: Os autores, a partir do Google Maps.

3.3 Dados de chuvas

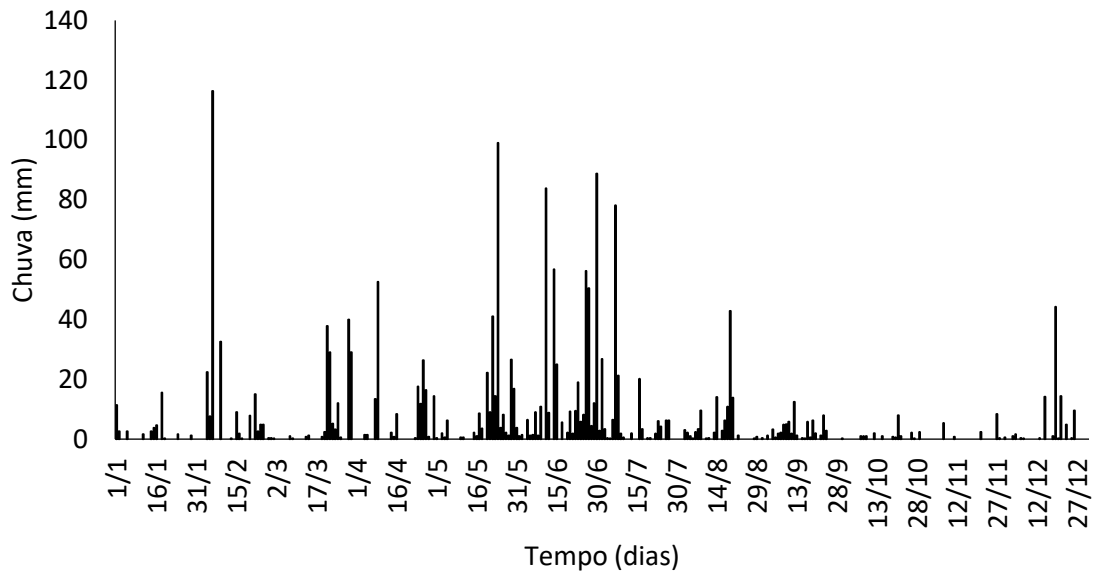
Em fevereiro de 2011, o Governo Federal instituiu um grupo de trabalho, coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, com o objetivo de elaborar um plano de prevenção e enfrentamento aos desastres naturais. A proposta culminou na criação do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), que visa reunir o maior volume possível de informações hidro meteorológicas e geotécnicas.

Com base nessas informações, o órgão desenvolve e emite alertas para a gestão de riscos, utilizando tecnologias avançadas e conhecimento científico tanto nacional quanto internacional. Sua criação foi formalizada pelo Decreto MCTI nº 7.513, de 1º de julho de 2011, estabelecendo parcerias com diversas instituições para complementar e consolidar uma rede de monitoramento ambiental (CEMADEN, 2019; Relatório de Gestão SEPED, 2011).

O órgão desempenha um papel fundamental ao integrar dados de sensores em tempo real, imagens de satélite e modelagem matemática para prever a ocorrência de desastres naturais. Essa capacidade permite que as autoridades locais possam tomar decisões preventivas, protegendo a vida humana e minimizando os impactos materiais, especialmente em regiões vulneráveis (CEMADEN, 2019).

A Figura 4 ilustra os dados consolidados de chuvas registrados em Recife no ano de 2023.

Figura 4 – Chuvas ocorridas na Cidade de Recife durante o ano de 2023



Fonte: Os autores

3.4 Simulação do Jardim de Chuva

As simulações foram realizadas usando a versão 4.14 do modelo computacional HYDRUS-1D (ŠIMŮNEK, et al., 2013), o qual resolve numericamente a equação de escoamento unidimensional de água em meios porosos com saturação variável (Equação 1), e já foi bem avaliada por diversos pesquisadores (Soares 2018, Holanda; Soares, Silva 2019; Dias e Soares, 2019; Barros et al., 2021; Barros et a, 2024).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S_x \quad (1)$$

Sendo h o potencial mátrico, t o tempo, z a profundidade, S_x a extração de água pelo sistema radicular da cultura, e $K(\theta)$ a condutividade hidráulica do solo. Foi utilizado o modelo hidráulico proposto por van Genuchten (1980), onde as curvas de retenção de água no solo e de condutividade hidráulica são expressas por (Equações 2 e 3):

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha h)^n)^{1 - \frac{1}{n}}} \quad (2)$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_r} \right) \left[1 - \left(1 - \left(\frac{\theta_s - \theta}{\theta_s - \theta_r} \right)^{\frac{1}{1 - \frac{1}{n}}} \right)^{1 - \frac{1}{n}} \right]^2 \quad (3)$$

Sendo θ_r e θ_s as umidades volumétricas residual e saturada, respectivamente, α e n parâmetros de forma. Os valores dos parâmetros foram obtidos da literatura e estão disponíveis na tabela 1

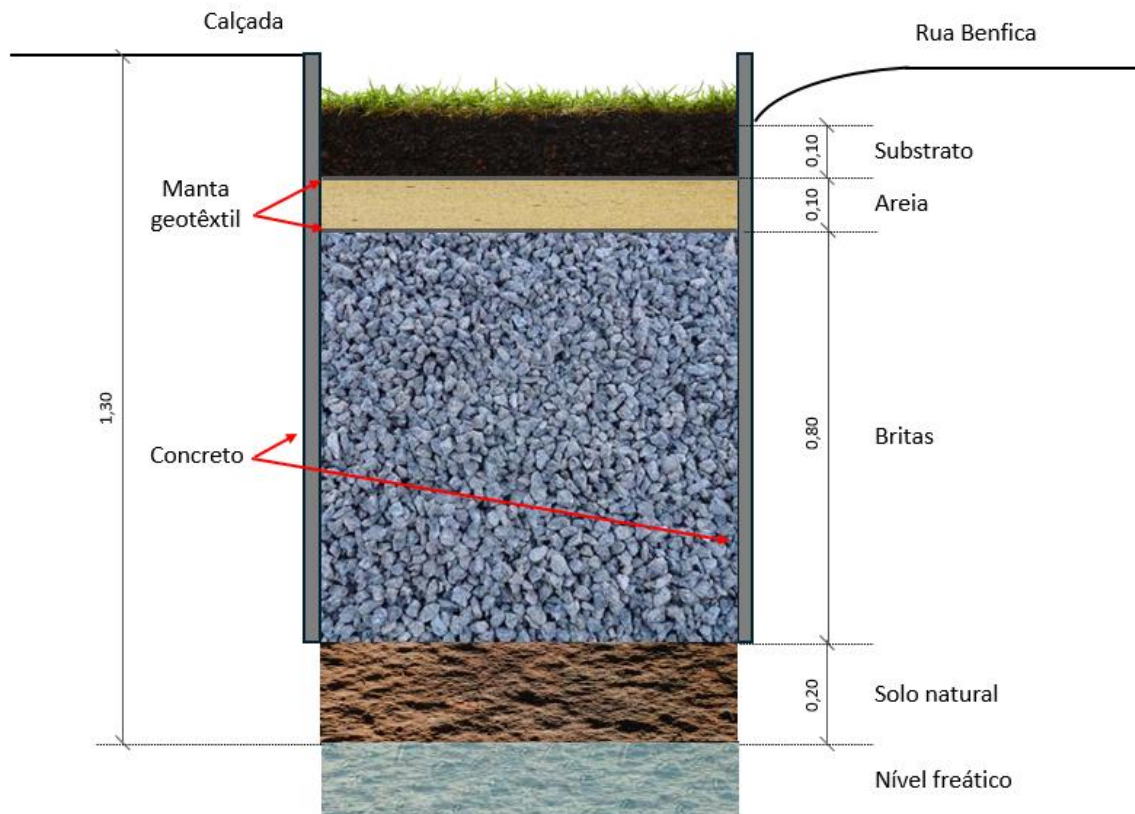
O estudo propõe uma modelagem de dois jardins de chuva com dimensões de 5 metros de comprimento por 0,5 metros de largura cada, totalizando uma área de 5 m². A análise foi realizada exclusivamente por meio de simulações computacionais, sem qualquer instalação física dos modelos.

Foram analisadas as quantidades de água retida no solo e a quantidade que se transformou em escoamento superficial, sob a premissa de que o solo não estava saturado. A simulação foi realizada sem considerar efeitos de histerese. Também se assumiu que a água infiltrada, ao alcançar a última camada, não seria retida, mas drenaria para o nível freático local.

Para a fronteira superior do JD, foi aplicada a condição de contorno atmosférica. Já a condição de fronteira inferior, foi definida levando em consideração a proximidade do nível freático. Para representar adequadamente esse cenário, foi utilizada a condição de pressão constante, que permite modelar o comportamento do solo quando o lençol freático se encontra próximo à superfície simulada.

Na Figura 5, é apresentada a disposição das camadas, totalizando uma profundidade de 1,20 metros, ajustada para melhorar o escoamento e permitir uma filtragem eficaz da água, sub.

Figura 5 – Esquema do Jardim de Chuva simulado no software hydrus-1D



Fonte: Os autores

A Tabela 1 apresenta os percentuais de argila, silte, areia e pedregulho em cada camada do solo utilizada na simulação, juntamente com a respectiva classificação de cada uma delas.

Tabela 1 - Classificação e granulometria dos solos utilizados nas simulações do Hydrus-1D

Camadas	Classificação	Argila %	Silte %	Areia %	Pedregulho %	Fonte
1	Substrato	10,8	1,4	87,9	0	Barros et al., 2021
2	Areia	7,6	0,9	95,1	0	Barros et al., 2021
3	Brita	0	0	0	100	Perônico el al., 2017
4	Areia franca	0	12	83	5	Barros et al., 2024

Fonte: autores, 2024.

Na Tabela 2, são mostrados os parâmetros hidrodinâmicos dos diferentes tipos de solo que formam as camadas do jardim de chuva, simulados no Hydrus-1D. O detalhamento desses atributos no software permite prever com mais precisão o movimento da água pelo solo, desde a infiltração em cada camada até o escoamento superficial.

Tabela 2 - Parâmetros hidrodinâmicos dos solos usados nas simulações do Hydrus-1D

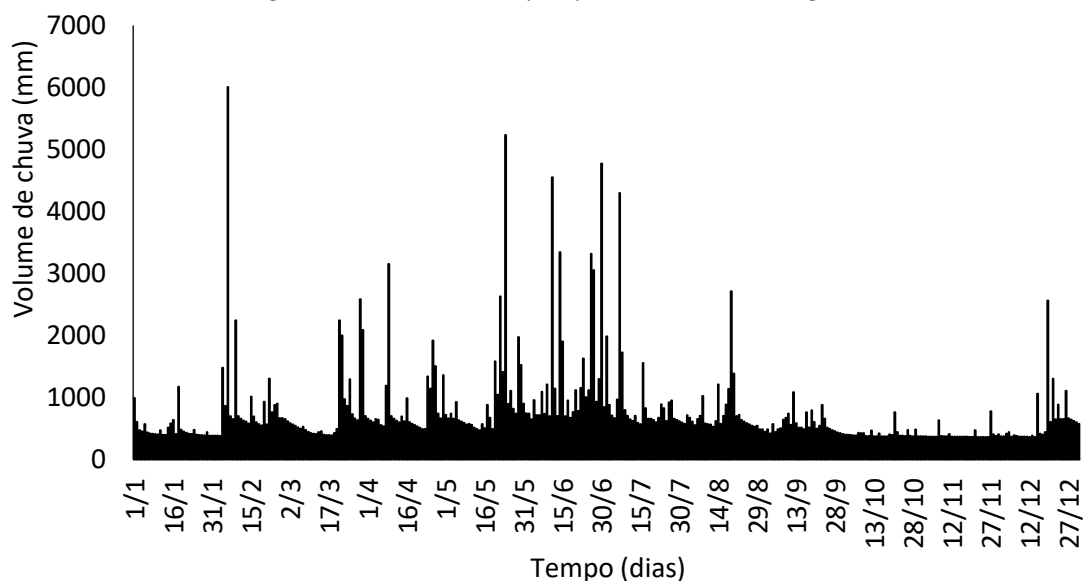
Camadas	Classificação	θ_r $mm^3 \cdot mm^{-3}$	θ_s mm^{-3}	α mm^{-1}	n ---	Ks $mm \cdot d^{-1}$	Fonte
1	Substrato	0,037	0,392	$5,69 \cdot 10^{-3}$	1,774	1672	Barros et al., 2021
2	Areia	0,020	0,417	$6,39 \cdot 10^{-3}$	1,798	1944	Barros et al., 2021
3	Brita	0,020	0,360	11,16	2,700	518400	Perônico el al., 2017
4	Areia franca	0,027	0,361	$7,00 \cdot 10^{-3}$	1,770	1449	Barros et al., 2021

Fonte: autores, 2024.

4 RESULTADOS

Considerando o volume de chuva do dia e a área total de influência do jardim de chuva, que é de 49 m² (incluindo a área do JC e a área de drenagem), foi determinado que o solo pode armazenar até 2119,5 mm de água. Qualquer valor acima disso se transforma em escoamento superficial. A Figura 6 apresenta um gráfico que mostra o volume de chuva precipitada na área de drenagem.

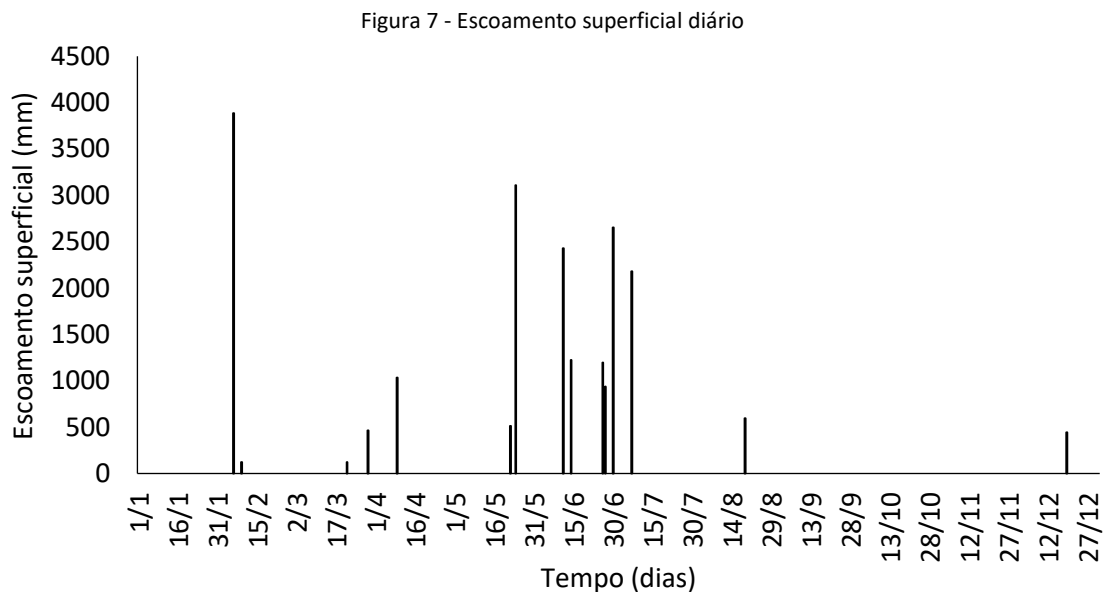
Figura 6 – Volume de chuva precipitada na área de drenagem



Fonte: Os autores

Para o dia 6 de fevereiro de 2023, foi visualizada uma drenagem de aproximadamente 6006,55mm de água para o JC. Resultado da maior precipitação registrada pelo CEMADEN no período simulado (116,4 mm no dia). Como o modelo tem apenas capacidade de reter 2119,5, um volume de 3887,5mm se transformaria em escoamento superficial, causando alagamento no local.

A Figura 7 ilustra o volume de água em dias em que o jardim de chuva não conseguiu conter todo o volume, resultando em alagamentos. Esses eventos ocorreram principalmente em dia de chuva superior a 30 mm no dia, quando o volume de água ultrapassou a capacidade de armazenamento e infiltração do jardim, gerando escoamento superficial, conforme evidenciado pelos resultados.



Fonte: Os autores

O segundo maior evento pluviométrico foi registrado em 30 de junho de 2023, com uma precipitação de 88,8 mm. A simulação indicou que esse evento resultaria em um escoamento superficial de 2653,05 mm, também exigindo suporte adicional do sistema de drenagem da cidade, uma vez que o jardim simulado, isoladamente, não seria capaz de conter o volume gerado.

Sem a implementação do JC, a área estudada apresentou alagamentos em 194 dias ao longo do período analisado. Com a adoção desse sistema, o número de dias com alagamentos caiu drasticamente para 15 dias, evidenciando a eficácia do jardim na redução dos impactos das chuvas.

As simulações hidrológicas realizadas por Falcão (2024) com o modelo Hydrus-1D demonstraram a capacidade de infiltração em diferentes superfícies de um parque urbano em Recife, evidenciando o impacto positivo das infraestruturas verdes na redução do escoamento superficial. Os resultados indicam que essas infraestruturas verdes são eficazes na reaproximação dos processos hidrológicos ao ciclo natural, promovendo uma maior infiltração e mitigando o risco de inundações. De maneira semelhante, a simulação do jardim de chuva neste trabalho também revelou resultados significativos em relação à capacidade de

infiltração e à redução do escoamento superficial, ressaltando a importância dessas intervenções na gestão de recursos hídricos urbanos.

Os resultados de Barros et al. (2024) demonstram que, mesmo sob chuvas críticas de até 156,63 mm/h, o jardim de chuva não atingiu sua capacidade máxima, permanecendo eficiente na retenção de águas pluviais. Em contrapartida, o jardim simulado nesta pesquisa, sob seleção de 116,4 mm, apresentou uma drenagem de 6006,55 mm, excedendo sua capacidade de armazenamento de 2119,5 mm e resultando em um escoamento superficial de 3887,5 mm.

Embora o jardim de chuva (JC) não tenha sido eficaz em alguns dias para drenar toda a chuva precipitada na área de influência, ele atua como um complemento ao sistema de drenagem urbana de Recife, ajudando a reduzir a pressão sobre a infraestrutura e a mitigar os riscos de alagamentos, especialmente em eventos moderados a intensos. Nos casos de chuvas excessivas, é essencial que o sistema de drenagem local tenha capacidade suficiente para lidar com o volume adicional de água.

5 CONCLUSÃO

A simulação realizada demonstra que, com a implementação do jardim de chuva (JC) nas configurações propostas, a Rua Benfica teria registrado alagamentos em apenas 15 dias ao longo de 2023. Esse resultado representa uma redução significativa em comparação aos 194 dias de alagamentos observados na ausência do sistema.

O JC mostrou-se altamente eficiente na mitigação dos impactos das chuvas, conseguindo eliminar alagamentos em dias com ocorrência inferior a 30 mm. Esses dados evidenciam o potencial do JC como uma solução complementar ao sistema de condução urbana existente, contribuindo de forma significativa para a redução dos transtornos causados pelos alagamentos na região.

Portanto, a adoção do jardim no local se mostrou eficiente para conter o alagamento, além de promover benefícios ambientais, representa uma solução viável para melhorar a drenagem urbana frente a eventos de chuvas na Rua Benfica.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BARROS, C. B. R.; SOARES, W. A.; HOLANDA, M. A. C. R. Influence of the substrate of green roofs in the reduction of surface runoff when subjected to the climatic conditions of the Metropolitan Region of Recife. **Research, Society and Development**, São Luís, v. 10, n. 5, p. e57710515401, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15401>

BARROS, E. N.; CABRAL, J. J. S. P.; PALECHOR, E. U. L.; TAVARES, P. R. L.; MENEZES, L. A. A.; JUNIOR, M. A. B. Jardins de chuva para mitigação dos alagamentos urbanos: análise de um projeto piloto. **Revista Brasileira De Geografia Física**, Recife, v. 17, n. 2, p. 1396-1411, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p1396-1411>

BŁAK, J.; BARJENBRUCH, M. Benefits, inconveniences, and facilities of the application of rain gardens in urban spaces from the perspective of climate change—a review. **Water, Basel**, v. 14, p. 1153, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14071153>

DIAS, A. S.; SOARES, W. A. Desempenho do modelo Hydrus - 1D utilizando diferentes formas de caracterização hidrodinâmica. **Holos Environment**, Natal, v. 19, n. 3, p. 376-390, 2019. <https://doi.org/10.14295/holos.v19i3.12309>

FALCÃO, L. C. *Infraestrutura verde como estratégia de gestão de recursos hídricos em área urbana em Recife (PE)*. 2018. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – **Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/39146>. Acesso em: 23 out. 2024.

GONDIM, F.; OHNUMA JÚNIOR, A. A.; OBRACZKA, M. Jardins de chuva: atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática. **MIX Sustentável**, Recife, v. 9, n. 5, p. 201-215, 2023. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n5.201-215>

HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. A.; OLIVEIRA, D. B. C. Sensitivity of the Hydrus-1D model to changes in hydrodynamic parameters in yellow latosol. **Revista AIDIS de Engenharia e Ciências Ambientais: Investigação, Desenvolvimento e Prática**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 467-481, 2019. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.3.62969>

LI, J.; ZHANG, B.; LI, Y.; LI, H. Simulation of rain garden effects in urbanized area based on Mike Flood. **Water**, Basel, v. 10, n. 7, p. 860, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10070860>

PERONICO, R. L.; RABELO, A. E. C. G. C.; COUTINHO, A. P.; SANTOS NETO, S. M.; MELO, T. A. T.; SILVA NETO, J. A.; ALVES, E. M.; ANTONIO, A. C. D. Heterogeneity effects in soil water transferences process under unsaturated conditions in alluvial soil in the mesoscale. In: **XVI World Water Congress: International Water Resource Association (IWRA)**, 2017, Cancún. Anais [...]. Cancún: IWRA, 2017. Disponível em: https://iwra.org/proceedings/congress/resource/ABSID511_ABSID511_WWC_2017_Full_paper_Heterogeneity_effects_in_soil_water_transferences_process_under_unsaturated.pdf Acesso em: 13 out. 2024.

SANTOS, C. R. L.; SOARES, W. A.; SILVA, D. B. Utilização de dispositivos móveis nos sistemas de macrodrenagem da cidade do Recife-PE: utilização de dispositivos móveis em sistemas de macrodrenagem na cidade de Recife-PE. **MIX Sustentável**, v. 1, pág. 187–197, 2024. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.187-197. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2024.v10.n1.187-197>

ŠIMŮNEK, J. J.; SEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M. *The HYDRUS-1D software package for simulation of the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media*. Riverside: **University of California**, 2013. 373 p. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20360500/pdf_pubs/P2119.pdf. Acesso em: 23 out. 2024.

SOARES, W. A. Análise da dinâmica da água em um solo não saturado sob condições de chuvas simuladas. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 20-209, 2018. <https://doi.org/10.14295/ras.v32i2.29109>

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>

VIANA, V. J.; MORAES, L. L. Contribuições potenciais dos jardins de chuva para a redução de riscos de alagamentos. In: II ENCONTRO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA (END), 2020, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABRHidro, 2020. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/133/II-END0144-1-20201031-233702.pdf>. Acesso em: 24 set. 2024.