

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

DIMENSIONAMENTO DE UM JARDIM DE CHUVA COMO SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA NO INTERIOR DA PUC-RIO

Vivianne Dornellas Assunção¹; Marcelo Motta de Freitas²; Richieri Antonio Sartori³ & Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira⁴

Abstract: Nature-Based Solutions (NBS) have been increasingly recognized as sustainable alternatives for stormwater management in urban areas. This article presents the design and sizing of a rain garden implemented near the bicycle parking area at the Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, aiming to mitigate the impacts of surface runoff from impervious surfaces. Rain gardens use vegetation and soil to retain, infiltrate, and treat stormwater, contributing to flood mitigation, groundwater recharge, and water quality improvement. The study involved analyzing the catchment area, local soil characteristics, and historical rainfall data, which supported the sizing of the retention volume, selection of appropriate vegetation, and filtering materials. The bicycle parking area was selected due to its strategic location and frequent surface water accumulation. The project also incorporated aesthetic considerations, ease of maintenance, and integration with the campus landscape. Results indicate that the proposed rain garden can effectively capture, store, and infiltrate a significant portion of runoff from frequent rainfall events, highlighting the potential of NBS as viable and replicable strategies for urban flood mitigation.

Resumo: As Soluções baseadas na Natureza (SbN) vêm se consolidando como alternativas sustentáveis para a gestão de águas pluviais em áreas urbanas. Este artigo apresenta a proposta e o dimensionamento de um jardim de chuva no bicicletário da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, com o objetivo de mitigar os impactos do escoamento superficial em superfícies impermeabilizadas. Jardins de chuva utilizam vegetação e solo para reter, infiltrar e tratar a água pluvial, contribuindo para a redução de alagamentos, a recarga do lençol freático e a melhoria da qualidade da água. O estudo envolveu a análise da área de contribuição, das características do solo e da precipitação local, possibilitando verificar o efeito de amortecimento do volume de retenção disponível, a seleção da vegetação e dos materiais filtrantes. A escolha do bicicletário como local de intervenção considerou sua relevância no campus e a recorrência de acúmulo de água no entorno. O projeto também incorporou critérios estéticos, de manutenção e de integração paisagística. Os resultados demonstram que o jardim de chuva proposto é capaz de captar, armazenar e infiltrar parte significativa do escoamento superficial, principalmente para eventos de maior frequência, evidenciando o potencial das SbN como soluções viáveis e replicáveis para a mitigação de alagamentos em ambientes urbanos.

Palavras-Chave: Soluções baseadas na Natureza; Jardim de Chuva; Infraestrutura Verde.

1) Pontifícia Universidade Católica – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. vdornellas@gmail.com

2) Pontifícia Universidade Católica – Departamento de Arquitetura e Urbanismo. marcelomotta@puc-rio.br

3) Pontifícia Universidade Católica – Departamento de Biologia. richierisartori@puc-rio.br

4) Pontifícia Universidade Católica – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. krishnamurti@puc-rio.br

INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado dos centros urbanos tem intensificado os desafios relacionados à drenagem urbana, sobretudo em áreas com elevado grau de impermeabilização. A substituição de áreas naturais por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, impede a infiltração da água no solo, aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial e compromete a eficiência dos sistemas de drenagem tradicionais (NUNES e ROSA, 2020). Esse cenário contribui diretamente para a ocorrência de alagamentos, a sobrecarga dos sistemas de drenagem e a degradação da qualidade da água, exigindo alternativas mais sustentáveis e eficazes de gestão das águas pluviais (OLIVEIRA et al., 2022).

Nesse contexto, as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) surgem como estratégias promissoras para promover uma convivência mais harmônica entre o ambiente construído e os processos naturais. Inspiradas no funcionamento dos ecossistemas, essas soluções utilizam elementos naturais ou seminaturais para tratar problemas ambientais, ao mesmo tempo em que oferecem benefícios sociais, econômicos e ecológicos. A União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, 2019) define SbN como "ações para proteger, gerir sustentavelmente e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente benefícios para o bem-estar humano e biodiversidade".

No campo da drenagem urbana, um dos exemplos mais representativos de SbN é o jardim de chuva. Trata-se de uma técnica de biorretenção que utiliza vegetação adaptada, substratos filtrantes e camadas de solo para captar, infiltrar e tratar a água da chuva proveniente de telhados, calçadas e vias pavimentadas. Os materiais necessários para implantação de um jardim de chuva incluem: solo com boa capacidade de infiltração, camada drenante composta ou pedras ou britas para ser a camada de armazenamento da água para abastecer o lençol freático ou sistema de drenagem, substrato filtrante (como areia grossa ou composto orgânico); geotêxtil como um tecido drenante; vegetação adaptada à umidade e extravasores conectados à rede pluvial. A escolha e combinação desses materiais deve considerar a permeabilidade do solo local, a carga de sedimentos e a declividade do terreno, conforme diretrizes técnicas descritas no Catálogo D[de Soluções baseadas na Natureza (SbN) para Espaços Livres (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2024).

Além de mitigar o escoamento superficial, esses sistemas promovem a recarga do aquífero e ajudam na remoção de poluentes por processos físicos, químicos e biológicos (DIETZ; CLAUSEN, 2006). Estudos mostram que jardins de chuva bem projetados podem reter entre 30% e 90% do volume pluvial captado, dependendo das condições locais e do dimensionamento (LI; ZHAO, 2008).

Essas estruturas ainda contribuem para a biodiversidade urbana, proporcionam sombreamento, reduzem ilhas de calor e agregam valor estético à paisagem urbana. Além disso, sua implantação em espaços públicos, como escolas e universidades, favorece práticas educativas e conscientização ambiental, tornando-se ferramentas de integração entre engenharia, ecologia e sociedade. A adoção dos jardins de chuva como prática de manejo sustentável também proporciona benefícios ecológicos e sociais, como o aumento da biodiversidade urbana, a valorização paisagística e a educação ambiental, principalmente em áreas públicas e institucionais. Tais estruturas representam uma alternativa eficiente à expansão da infraestrutura cinza, com menor custo e maior adaptabilidade às mudanças climáticas.

Este presente artigo apresenta o estudo e o dimensionamento de um jardim de chuva implantado no bicicletário da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), uma área marcada pela presença de superfície impermeável e pontos de alagamento. A escolha do local levou em consideração sua importância funcional dentro do campus e sua propensão a alagamentos. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e ambiental da implementação de SbN, contribuindo para uma

gestão hídrica mais eficiente, resiliente e alinhada aos princípios do desenvolvimento urbano sustentável.

METODOLOGIA

O presente trabalho é estruturado em três eixos principais — hidrológico, hidráulico e geotécnico — que, de forma integrada, possibilitam a análise das condições locais, o dimensionamento adequado das estruturas e a verificação da viabilidade física e funcional do sistema. Cada etapa assegura que a solução proposta atenda aos objetivos de controle do escoamento superficial, infiltração da água da chuva, e compatibilidade com a infraestrutura existente.

O estudo hidrológico teve como objetivo quantificar a vazão de água pluvial na área de contribuição que será direcionado ao jardim de chuva. Para isso, define-se a área de drenagem, que é delimitada a partir do divisor de águas, considerando superfícies impermeáveis como as calçadas.

Inicialmente, foi realizada a estimativa da vazão afluente ao jardim de chuva utilizando o Método Racional, por meio da Equação (1), com tempo de concentração de 10 minutos. De acordo com a Rio-Águas (2019), esse tempo é recomendado para áreas densamente construídas com declividade inferior a 3%.

$$Q = C * i * A \quad (1)$$

Na qual:

Q = vazão de pico (l/s);

C = coeficiente de escoamento superficial adimensional;

i = intensidade da chuva (mm/h), obtida a partir da curva IDF – Equação (2) – com valores correspondentes à região do Jardim Botânico, que corresponde à equação IDF (Intensidade, Duração e Frequência) mais próxima do Estudo de Caso e com dados informados por Rio-Águas (2019).

A = área de contribuição (m^2);

$$i = \frac{a * TR^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

Na qual:

i = intensidade da chuva (mm/h);

TR = Tempo de recorrência em anos (definido para os TRs 1, 5 e 10);

t = tempo de duração da precipitação em minutos;

a, b, c e d = Coeficientes representativos para a região avaliada;

Posteriormente, foi determinada a vazão efluente, composta pela soma da vazão de vertimento e da vazão de infiltração. O estudo hidráulico concentrou-se no dimensionamento da capacidade do jardim de chuva para infiltrar, reter e conduzir o volume de água pluvial estimado no estudo hidrológico.

A análise hidráulica teve como objetivo verificar a capacidade de amortecimento do sistema considerando o volume total disponível de retenção, a vazão de entrada (determinada pelo método

racional) e as vazões de saída, com a possibilidade de extravasamento das águas pluviais para o sistema de macrodrenagem (Rio Rainha), e a possibilidade de infiltração na base do jardim de chuva.

Para a definição da vazão de saída por extravasamento, considerou-se o escoamento por um vertedor retangular, posicionado na extremidade do dispositivo em direção ao Rio Rainha, que passa no interior da Universidade. A vazão correspondente foi obtida com base na Equação (3).

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right) * m * L * (h - h_0) * (2g(h - h_0))^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Na qual:

Q = vazão extravasada (m^3/s);

m = coeficiente de contração;

h = altura de água (m), que varia de acordo com o nível do reservatório;

h_0 = altura da soleira do vertedor (m);

L = largura do vertedor (m);

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

Em termos da vazão de saída pela base do jardim de chuva, foi calculada a vazão de infiltração com base na hipótese apresentada por Baptista et al. (2015), segundo a qual a infiltração ocorre por metade da altura das camadas laterais e pelo fundo do dispositivo, seguindo a Equação (4). A vazão foi obtida multiplicando-se a superfície efetiva de infiltração pela condutividade hidráulica do solo na base do jardim de chuva, conforme valores extraídos da mesma fonte, que foi considerado como boas condições de areia grossa a areia fina.

$$Q_{inf} = S_{ef} * K \quad (4)$$

Na qual:

Q_{inf} = vazão infiltrada (m^3/s);

S_{ef} = Superfície pela qual ocorre a infiltração (estimada em $\frac{1}{2}$ de h do jardim de chuva);

K = condutividade hidráulica (Estimado em $10^{-5} m/s$).

Considerando o volume total disponível para retenção, os parâmetros geométricos do jardim de chuva foram definidos com base na profundidade, área superficial, geometria da estrutura (Figura 1), composição das camadas filtrantes (solo, areia e brita zero) e configuração do sistema de extravasamento. O volume de retenção foi dimensionado considerando as limitações operacionais do campus, de forma a não comprometer a mobilidade na universidade.



Figura 1 – Geometria do jardim de chuva projetado

Para determinar o real volume disponível para retenção de água foi necessário desconsiderar o volume ocupado pelo solo nas diferentes camadas, que é considerado como volume efetivo. Para a determinação deste parâmetro, foi elaborada uma tabela relacionando profundidade, volume efetivo, volume total e área superficial para o melhor entendimento das correlações, considerando três materiais diferentes: Terra; Areia; e Brita 0.

O volume efetivo foi obtido por meio da multiplicação da porosidade característica de cada tipo de solo pelo volume total correspondente à respectiva lâmina d'água. Os valores utilizados na porosidade – volume de vazios em relação ao volume total do solo – encontram-se especificados na Tabela 1. De acordo com De Matos Fernandes (2016) e Freitas (2019), foram adotados os respectivos índices de vazios – volume de vazios em relação ao volume de sólidos do solo –, a partir dos quais a porosidade (n) foi calculada utilizando-se a Equação (5).

Tabela 1 – Valores da porosidade de cada tipo de solo

| Tipo de solo | Índice de vazios (e) | Porosidade (n) |
|--------------|----------------------|----------------|
| Terra | 0,80 | 0,4444 |
| Areia | 0,40 | 0,2857 |
| Brita 0 | 0,4648 | 0,3173 |

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (5)$$

Com base nos resultados de porosidade obtidos, foi possível estabelecer uma correlação entre a lâmina d'água, o volume (total e efetivo) e a porosidade do sistema. Considerando a presença de três camadas com diferentes tipos de solo e, portanto, distintas porosidades, além da geometria irregular do jardim de chuva, foi necessário construir gráficos que relacionassem a lâmina d'água com o volume armazenado. Para isso, utilizou-se o software AutoCAD Civil 3D, a fim de calcular o volume total de cada camada. O Gráfico 1 foi elaborado com o objetivo de representar essa relação e subsidiar a determinação do parâmetro h da Equação (3), de forma a refletir com precisão o nível de água, considerando a morfologia do jardim de chuva e as características específicas de cada camada.

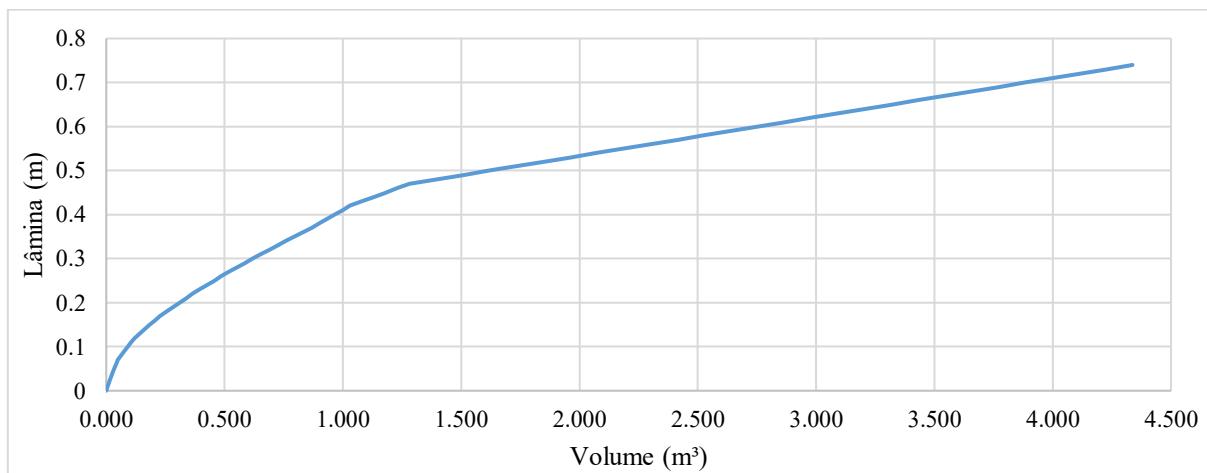


Gráfico 1 – Correlação entre lâmina e volume efetivo

RESULTADOS

Conforme descrito na metodologia, o estudo foi desenvolvido para três tempos de recorrência (TR). Os TRs de 5 e 10 anos foram selecionados para representar o desempenho do jardim de chuva em cenários típicos de verificação e dimensionamento de sistemas de microdrenagem. Já o TR de 1 ano teve como objetivo avaliar o comportamento da estrutura frente a eventos mais frequentes, ainda que de menor intensidade, mas com maior probabilidade de ocorrência anual. O primeiro conjunto de resultados apresenta, para cada TR, um gráfico que mostra a variação do nível da água ao longo do tempo no interior do jardim de chuva.

O Gráfico 2 apresenta os resultados para o TR 1, enquanto o Gráfico 3 e o Gráfico 4 ilustram os resultados para os TRs 5 e 10, respectivamente. Os níveis apresentados nos gráficos correspondem às camadas filtrantes do sistema, como brita, areia, solo e o nível do vertedor, permitindo a visualização do comportamento hidráulico da estrutura em diferentes fases de enchimento.

Observa-se que o comportamento hidráulico do jardim de chuva é semelhante para os três tempos de recorrência analisados. Em todos os casos, ocorre um pequeno pico de elevação do nível da água que ultrapassa momentaneamente o nível do vertedor, mas que rapidamente retorna para abaixo desse limite. Há uma variação mínima entre o nível de água para os diferentes tempos de recorrências – 0.53m para o TR01, 0.54m para o TR05 e 0.55m para o TR10 – que se trata de uma variação muito pequena.

Essa simulação validou o desempenho do sistema frente às chuvas de projeto, garantindo que o nível da água permanecesse dentro dos limites operacionais e que o vertedor entrasse em funcionamento apenas nos casos de excedente hidráulico, conforme planejado. Além de confirmar o papel da infiltração. Ainda, esse comportamento indica a atenuação do volume de escoamento superficial direcionado ao sistema de macrodrenagem — no caso, o Rio Rainha, que atravessa o campus da universidade.

Após esse pico inicial, o escoamento se dá exclusivamente por infiltração, e, passados aproximadamente 10.000 segundos (ou cerca de 2,77 horas), não há mais acúmulo visível de água na superfície do jardim, embora as camadas de solo ainda permaneçam com água.

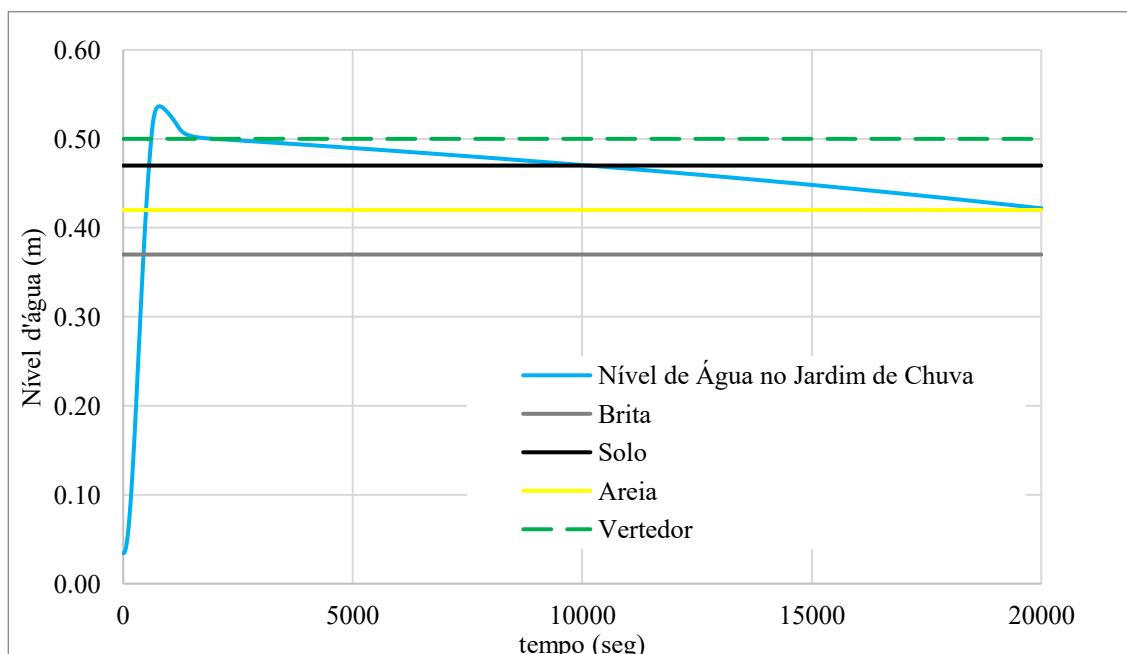


Gráfico 2 – Jardim de chuva como reservatório de detenção para TR01

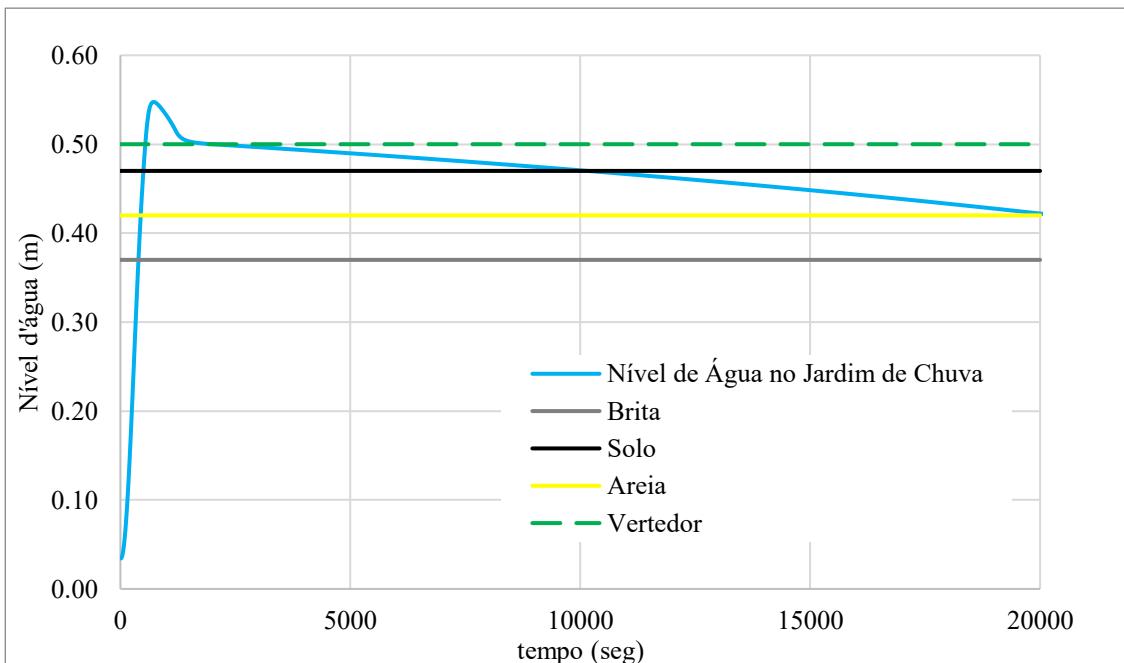


Gráfico 3 – Jardim de chuva como reservatório de detenção para TR05

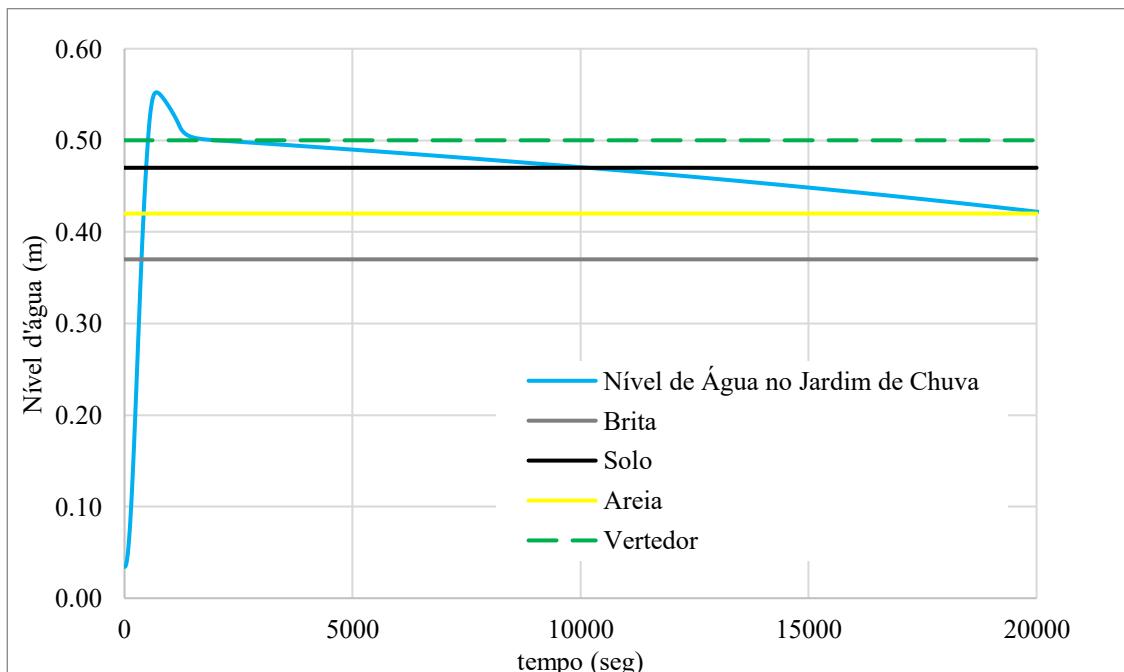


Gráfico 4 – Jardim de chuva como reservatório de detenção para TR10

Como apresentado na metodologia, considerou-se que a vazão de infiltração permanece constante ao longo do tempo. Para a verificação hidráulica, adotou-se uma área efetiva de infiltração de 3 m^2 e uma condutividade hidráulica do solo igual a 10^{-5} m/s . Com base nessas informações e nos dados das tabelas anteriormente mencionadas, foram elaborados o Gráfico 5, Gráfico 6 e Gráfico 7, que apresentam o balanço entre a vazão afluente (Q_{afluente}) e a efluente (Q_{efluente}).

Os resultados dos três gráficos indicam que a vazão de saída do sistema é inferior à vazão de entrada, evidenciando a capacidade do jardim de chuva em atenuar o escoamento superficial e atuar como uma medida eficiente de controle hidrológico. Para o tempo de recorrência de 10 anos, observou-se uma redução de 16% no pico de vazão; para 5 anos, a redução foi de 19%; e, para 1 ano, atingiu-se a maior atenuação, com 30%.

Os resultados mais expressivos, contudo, referem-se à redução do volume total de escoamento superficial direcionado ao sistema de macrodrenagem. Verificou-se uma redução de 37% no TR de 10 anos, 41% no de 5 anos e 52% no de 1 ano. Esses dados reforçam o potencial dos jardins de chuva como soluções eficazes para a mitigação de alagamentos, especialmente quando adotadas de forma distribuída ao longo das bacias hidrográficas urbanas.

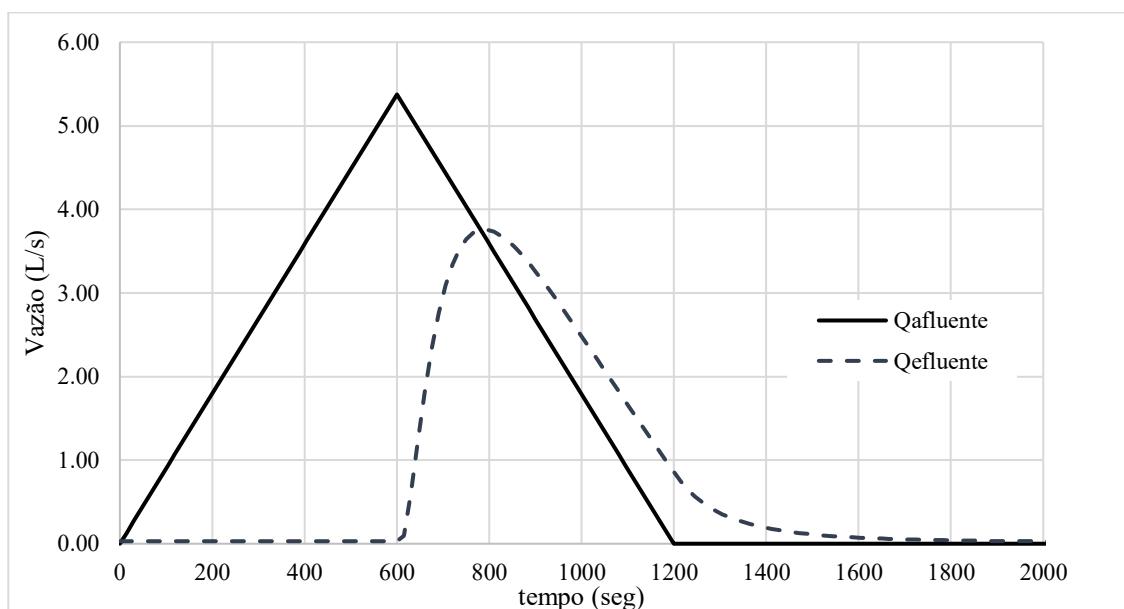


Gráfico 5 – Correlação entre as vazões afluente e efluente com TR01

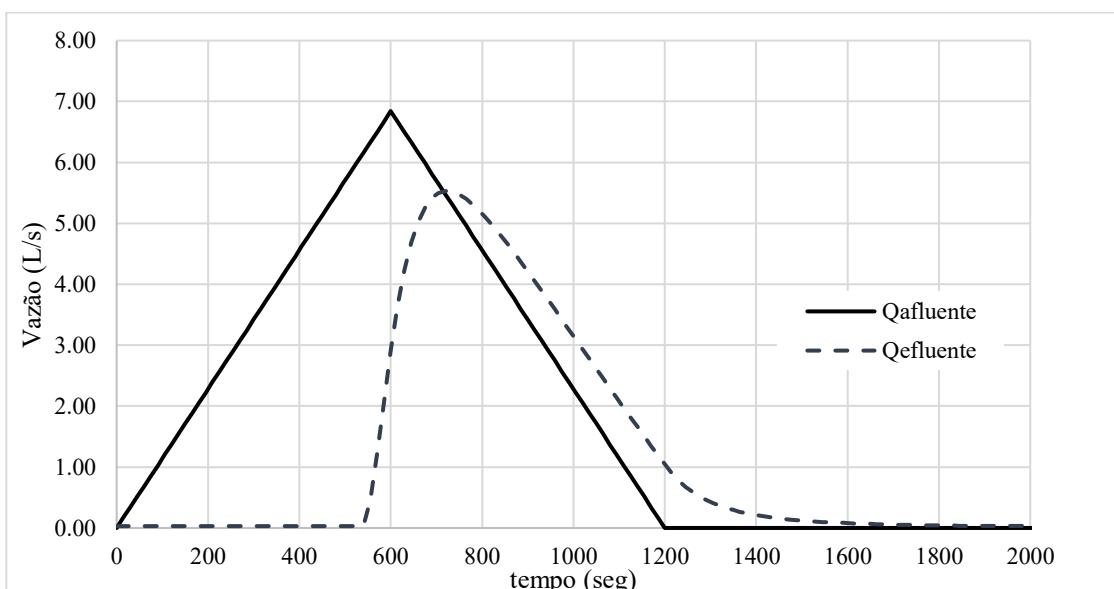


Gráfico 6 – Correlação entre as vazões afluente e efluente com TR05

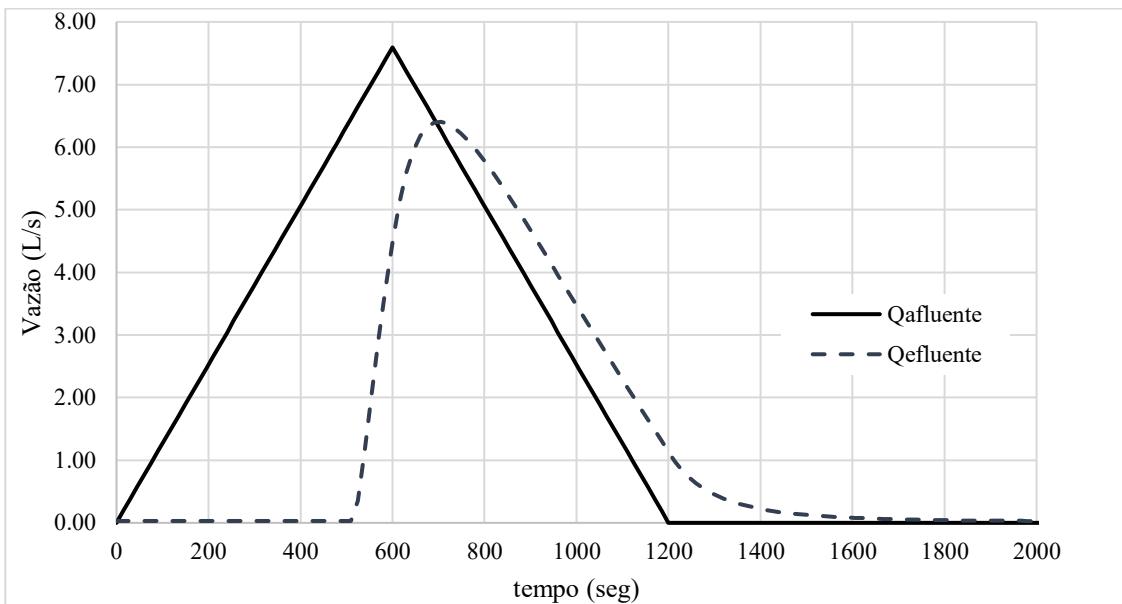


Gráfico 7 – Correlação entre as vazões afluente e efluente com TR10

Em relação à vegetação, foram selecionadas espécies de bromélias para o jardim de chuva devido à sua capacidade de tolerar tanto o excesso de umidade quanto períodos de seca, o que garante sua adaptação ao regime hidrológico variável desse tipo de sistema. Além disso, por serem nativas da Mata Atlântica, integram-se naturalmente às condições ambientais do Rio de Janeiro.

Do ponto de vista paisagístico, o jardim foi implantado em uma área estratégica do campus, com o intuito de valorizar a convivência e possibilitar a observação cotidiana da intervenção por alunos e funcionários. O local, anteriormente ocupado por pavimento asfáltico, não possuía função paisagística ou de uso. Para potencializar o valor estético da estrutura, foram incluídas espécies ornamentais, promovendo maior integração visual com o entorno, incentivando a sensibilização ambiental e ampliando o caráter educativo e demonstrativo da solução. A Figura 2 apresenta o jardim de chuva após a implementação.



Figura 2 – Correlação entre as vazões afluente e efluente com TR10

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica e ambiental da implementação de um jardim de chuva como Solução Baseada na Natureza (SbN) no bicicletário da PUC-Rio, contribuindo para uma gestão mais eficiente e sustentável das águas pluviais em áreas urbanas. Através da análise foi possível verificar o efeito da estrutura na mitigação da geração de escoamento superficial. Os resultados obtidos reforçam o papel das SbN na mitigação de alagamentos, na melhoria da qualidade da água e na promoção da recarga do lençol freático, ao mesmo tempo em que valorizam o ambiente urbano do ponto de vista estético e ecológico.

Além de seu desempenho funcional, o projeto evidencia o potencial de replicabilidade de jardins de chuva em outros espaços públicos e institucionais, atuando como ferramenta pedagógica e de conscientização ambiental. A integração entre engenharia, ecologia e planejamento urbano se mostra essencial para enfrentar os desafios crescentes da urbanização, especialmente em tempos de mudanças climáticas. Portanto, iniciativas como esta representam um passo importante na construção de cidades mais resilientes, verdes e integradas com os ciclos naturais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Vice-reitoria de Infraestrutura e Serviços da PUC-Rio pelo apoio e viabilização da implementação desta solução inovadora no campus.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARROUD, S. TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM DRENAGEM URBANA. 2. ed. Local: ABRH, 2015. 101-104 p.

DE MATOS FERNANDES, Manuel. Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais. Oficina de Textos, 2016.

DIETZ, M. E.; CLAUSEN, J. C. Saturation to Improve Pollutant Retention in a Rain Garden. Environmental Science & Technology, v. 40, n. 4, p. 1335-1340, 2006.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. CATÁLOGO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SbN) PARA ESPAÇOS LIVRES. 2024. Disponível em: <<https://cdn.paniclobster.com/hackathons/chamada-rs/catalogo-solucoes.pdf>>

FREITAS, Iucn. Nature-based Solutions. Informing the global standard for Nature-based Solutions, 2019. Disponível em: <<https://iucn.org/news/ecosystem-management/201901/informing-global-standard-nature-based-solutions>>

FREITAS, Thassia Roncalli. Análise granulométrica. Pedreira Santo Antonio, 2019. Disponível em: <<https://pedreirasantoantonio.com.br/wp-content/uploads/2019/03/Brita-0.pdf>>

LI, J. Q.; ZHAO, W. W. Design and Hydrologic Estimation Method of Multi-Purpose Rain Garden: Beijing case study. In: INTERNATIONAL LOW IMPACT DEVELOPMENT CONFERENCE, Seattle, 2008. Proceedings...Seattle, 2008.

NUNES, E. D.; ROSA, L. E. Compactação e impermeabilização do solo e implicações nos canais fluviais urbanos. Mercator (Fortaleza), v. 19, p. e19023, 2020.

OLIVEIRA, A. K. B. et al. Evaluating the role of urban drainage flaws in triggering cascading effects on critical infrastructure, affecting urban resilience. Infrastructures, v. 7, n. 11, p. 153, 2022.

RIO-ÁGUAS, Fundação. Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana. Prefeitura do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/8940582/4244719/InstrucaoTecnicaREVISA01.pdf>>