

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### SISTEMA DE JARDIM DE CHUVA PROJETADO COM SUPORTE DE UM MODELO QUASI-2D MULTICAMADAS - MODCEL

*Osvaldo Moura Rezende<sup>1</sup>; Fabiana Ferreira de Carvalho<sup>2</sup>; Matheus Martins de Sousa<sup>3</sup>; João Vitor Mendes Marques de Oliveira<sup>4</sup>, Aline Pires Veról<sup>5</sup>, Lucy Antunes Grisolia Rimes<sup>6</sup>*

**Abstract:** This paper outlines the Rain Garden project at Samira Nahid Mesquita Square, located at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Brazil. The goal is to manage surface runoff and mitigate recurrent flooding issues. The intervention consists of three interconnected rain gardens designed using the hydrological-hydrodynamic modeling tool MODCEL, which enables a sophisticated approach to sustainable drainage solutions. The rain gardens are strategically placed to capture and filter rainwater, reducing flood areas by 98% and peak flow rates by 27%. The project not only addresses flood management but also enhances microclimate conditions and biodiversity by incorporating native Atlantic Forest vegetation. The square, which covers 5,000 square meters, will see improved water absorption, aesthetics, and ecosystem services through this green infrastructure. The implementation is planned for ending 2025, aiming to serve as a model for other urban sustainable water management projects.

**Resumo:** Este artigo descreve o projeto de Jardim de Chuva na Praça Samira Nahid Mesquita, localizada na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil. O objetivo é gerenciar o escoamento superficial e mitigar problemas recorrentes de alagamento. A intervenção consiste em três jardins de chuva interconectados, projetados com o uso da ferramenta de modelagem hidrológica-hidrodinâmica MODCEL, que permite uma abordagem sofisticada para soluções de drenagem sustentável. Os jardins são estrategicamente posicionados para captar e filtrar a água da chuva, reduzindo em 98% as áreas alagadas e em 27% as vazões de pico. O projeto não apenas trata da gestão de enchentes, mas também melhora as condições do microclima e a biodiversidade ao incorporar vegetação nativa da Mata Atlântica. A praça, com 5.000 metros quadrados, terá maior capacidade de absorção de água, melhor estética e mais serviços ecossistêmicos com essa infraestrutura verde. A implementação está prevista para o fim de 2025, com o objetivo de servir como modelo para outros projetos urbanos sustentáveis de gestão hídrica.

**Palavras-Chave** – Jardim de chuva; drenagem sustentável; MODCEL; Modelagem hidrodinâmica

### INTRODUÇÃO

O planejamento urbano tradicional vê a água como um obstáculo, buscando sua remoção rápida (Ahammed, 2017). Essa abordagem leva a enchentes e deslizamentos de terra, transferindo os problemas para áreas a jusante (Rezende, Miguez e Veról, 2013). No Brasil, as enchentes são

1) Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica; Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro – omrezende@poli.ufrj.br

2) Programa de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro – fabiana.carvalho@fau.ufrj.br

3) Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro – matheus@poli.ufrj.br

4) Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro – jvitor\_mendes@poli.ufrj.br

5) Programa de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro – alineverol@fau.ufrj.br

6) Prefeitura da Cidade Universitária, Universidade Federal do Rio de Janeiro – lucy.pu.ufrj@gmail.com

responsáveis por 60% das mortes e 30% das perdas econômicas decorrentes de desastres naturais (Rezende et al., apud Freeman, 2013). As soluções de drenagem convencionais — como calhas e canalizações — impedem a recarga dos aquíferos e tornam o ciclo da água invisível, afastando-o da população (Ahamed, 2017). Originado no movimento higienista do século XIX, esse modelo ignora a hidrologia natural e aumenta a concentração de poluentes, causando problemas socioeconômicos.

A urbanização substitui a vegetação nativa por edificações e pavimentação. O modelo de transporte rodoviário intensifica a impermeabilização e a poluição. Os materiais absorvem energia solar, as estruturas bloqueiam a circulação dos ventos e os veículos emitem gases e calor, criando ilhas de calor urbanas com temperaturas significativamente mais altas (Selmi et al., 2021). A falta de áreas verdes compromete a qualidade de vida, agravando os problemas de calor e alagamentos, além de reduzir os serviços ecossistêmicos.

Este artigo apresenta a proposta projetual de um Sistema de Jardim de Chuva na Praça Samira Mesquita, no campus da UFRJ — uma área formada pela união e aterramento de ilhas existentes. O Jardim de Chuva visa gerenciar o escoamento superficial que alaga as ruas adjacentes, integrando conceitos contemporâneos de planejamento urbano nos quais a hidrologia é essencial. A proposta oferece uma gestão sustentável das águas pluviais, melhora o microclima e reduz as enchentes, valorizando a área. O objetivo é criar uma intervenção harmônica e funcional que sirva de base para outras iniciativas, ampliando o acesso de diversas espécies e reforçando benefícios como a mitigação de ilhas de calor e o uso sustentável da água. Os Jardins de Chuva surgem como soluções inovadoras e eficazes para desafios urbanos — coletando, filtrando e absorvendo a água da chuva. Eles unem design, ecologia e engenharia, trazendo benefícios estéticos e funcionais à cidade, além de promoverem a biodiversidade (Woods-Ballard et al., 2015).

O projeto utilizou o MODCEL, uma ferramenta de modelagem hidrológica-hidrodinâmica multicamadas e quase bidimensional (Miguez et al., 2017), voltada para o desenvolvimento de soluções sustentáveis de drenagem, como os jardins de chuva. O MODCEL oferece uma abordagem dinâmica para simular interações complexas entre processos hidrológicos de superfície e subsuperfície, representando com precisão paisagens urbanas e captando o fluxo de água através do solo, vegetação e infraestrutura (Sousa et al., 2022). Esse nível de detalhamento permite que planejadores e engenheiros projetem jardins de chuva capazes de gerenciar de forma eficiente o escoamento de águas pluviais, otimizar as taxas de infiltração e reduzir alagamentos.

Ao considerar tanto os movimentos verticais quanto horizontais da água, o MODCEL garante soluções mais eficientes e resilientes a diferentes condições. Além disso, a ferramenta viabiliza uma abordagem integrada à gestão hídrica urbana ao permitir a avaliação de múltiplos cenários, apoiando a criação de paisagens multifuncionais que aumentam a resiliência urbana e oferecem benefícios adicionais, como melhoria da qualidade do ar e aumento da biodiversidade. Ferramentas avançadas de modelagem como o MODCEL ajudam as cidades a avançarem em direção a ambientes urbanos mais sustentáveis e adaptáveis.

## ESTUDO DE CASO

A Praça Samira Nahid Mesquita está localizada na Ilha do Fundão, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Ela se encontra no centro de uma rotatória, dando acesso a diversas instalações da UFRJ e à conexão com a Linha Vermelha por meio da Ponte do Saber. A praça tem aproximadamente 5.000 metros quadrados e é totalmente vegetada. Sua localização é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Localização da Praça Samira Mesquita na Ilha do Fundão (Campus Universitário da UFRJ).



A área ao redor da praça apresenta um histórico de alagamentos recorrentes, o que pode causar interrupções no tráfego (Figura 2) e aumento de acidentes de trânsito. Para mitigar esse problema, a proposta inclui a implementação de um Sistema de Jardim de Chuva para gerenciar o escoamento superficial e evitar bloqueios de acesso. O plano de intervenção conceitual prevê três jardins de chuva interconectados e a integração com a rede de drenagem existente, além do plantio de vegetação nativa da Mata Atlântica para aumentar a absorção de água, melhorar o microclima e impulsionar a biodiversidade.

Figura 2. Evento de alagamento nas vias ao redor da Praça Samira Mesquita em 4 de dezembro de 2024.



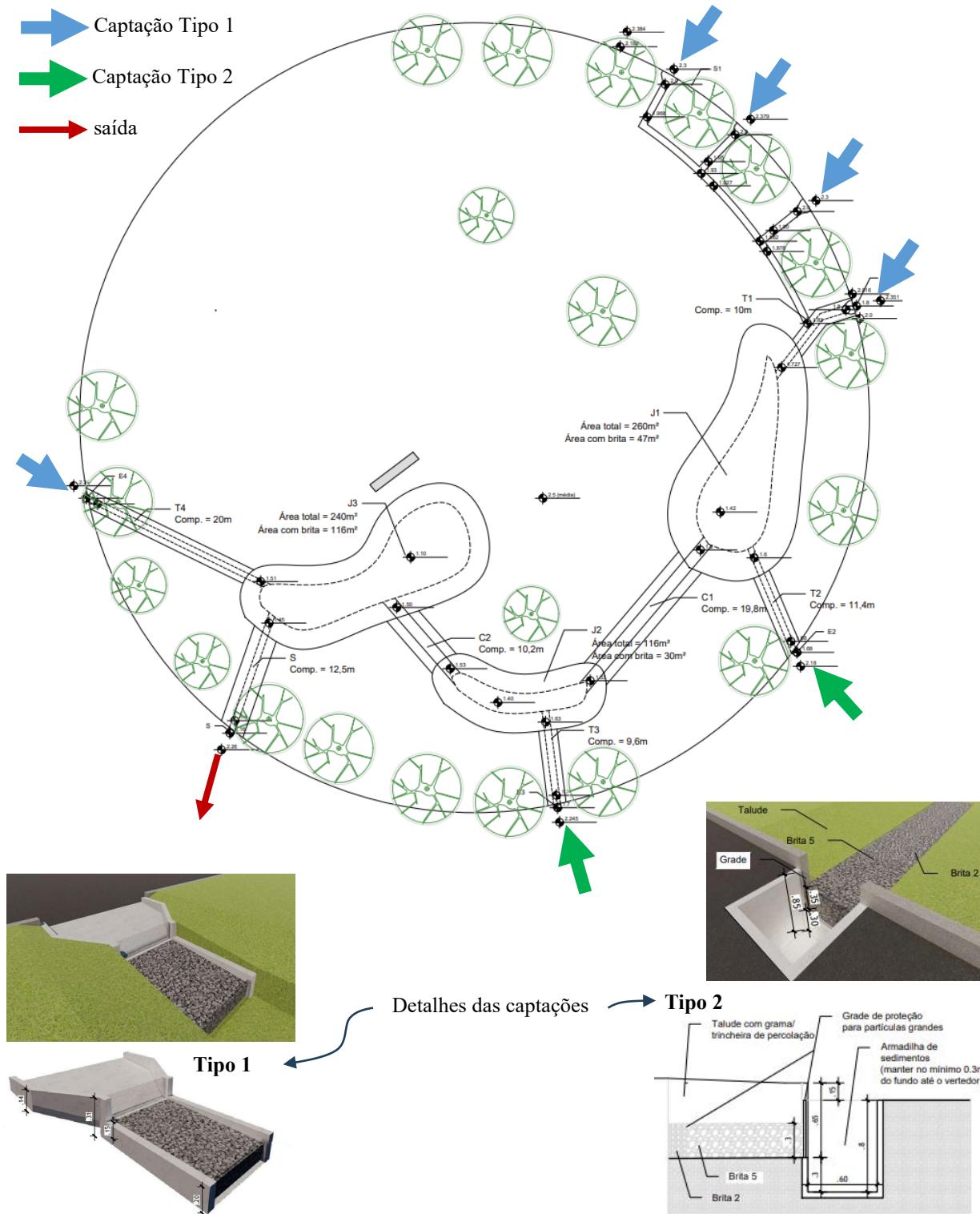
## METODOLOGIA

A avaliação hidráulica da concepção do Sistema de Jardim de Chuva proposto na Praça Samira Mesquita (PSM) foi conduzida por meio de modelagem hidrológica-hidrodinâmica com o uso do MODCEL. O processo foi dividido em três etapas principais: (i) construção e calibração do modelo base, (ii) concepção do sistema de jardins de chuva e (iii) simulação do sistema proposto.

O projeto proposto é composto por três jardins de chuva interligados, com captação da água drenada pelas vias do entorno, por meio de estruturas de concreto dotadas de grade para filtragem de resíduos grosseiros e brita para redução de energia do escoamento na entrada do sistema. Foram projetados dois tipos de captação, sendo um para nova implantação de entrada no sistema (Tipo 1) e outros para aproveitar bocas-de-lobo existentes (Tipo 2). A Figura 3 apresenta a planta geral e detalhes das captações.



Figura 3. Projeto de implantação do Sistema de Jardins Filtrantes na Praça Samira Mesquita.



## i. Construção e calibração do modelo base (MODCEL)

Inicialmente, a bacia de contribuição associada à Praça Samira Mesquita foi representada no sistema de modelagem. Toda a área responsável pelo escoamento nas vias adjacentes foi delimitada e subdividida em 143 células de fluxo, interligadas por equações hidráulicas específicas. A equação de Saint Venant foi utilizada para simular o escoamento superficial nas vias, enquanto equações de vertedouro representaram o fluxo entre as ruas e as sarjetas (Figura 4.a).

Para a modelagem hidrológica, os coeficientes de escoamento foram definidos em 0,35 para superfícies permeáveis e 0,90 para impermeáveis. As conexões ao longo das vias foram simuladas com a equação de Saint Venant simplificada, sem os termos de inércia, adotando um coeficiente de rugosidade de Manning de 0,018.

## ii. Concepção do Sistema de Jardins de Chuva

O sistema proposto consiste em três jardins de chuva interligados, localizados próximos às principais áreas de alagamento e afastados de infraestruturas existentes, como redes elétricas. Juntos, recebem água de sete dispositivos de entrada (Figura 4.b). O Jardim de Chuva 1 (JC1) capta o maior volume de água por escoamento superficial por meio de um canal aberto (OC), alimentado por quatro entradas. O Jardim de Chuva 2 (JC2) recebe água de um canal aberto e o excedente do JC1, através de uma trincheira de percolação (TP). O Jardim de Chuva 3 (JC3) é alimentado por outro canal aberto e pelo extravasamento do JC2, também via trincheira de percolação, sendo conectado à rede de drenagem urbana existente, funcionando como ponto de saída do sistema.

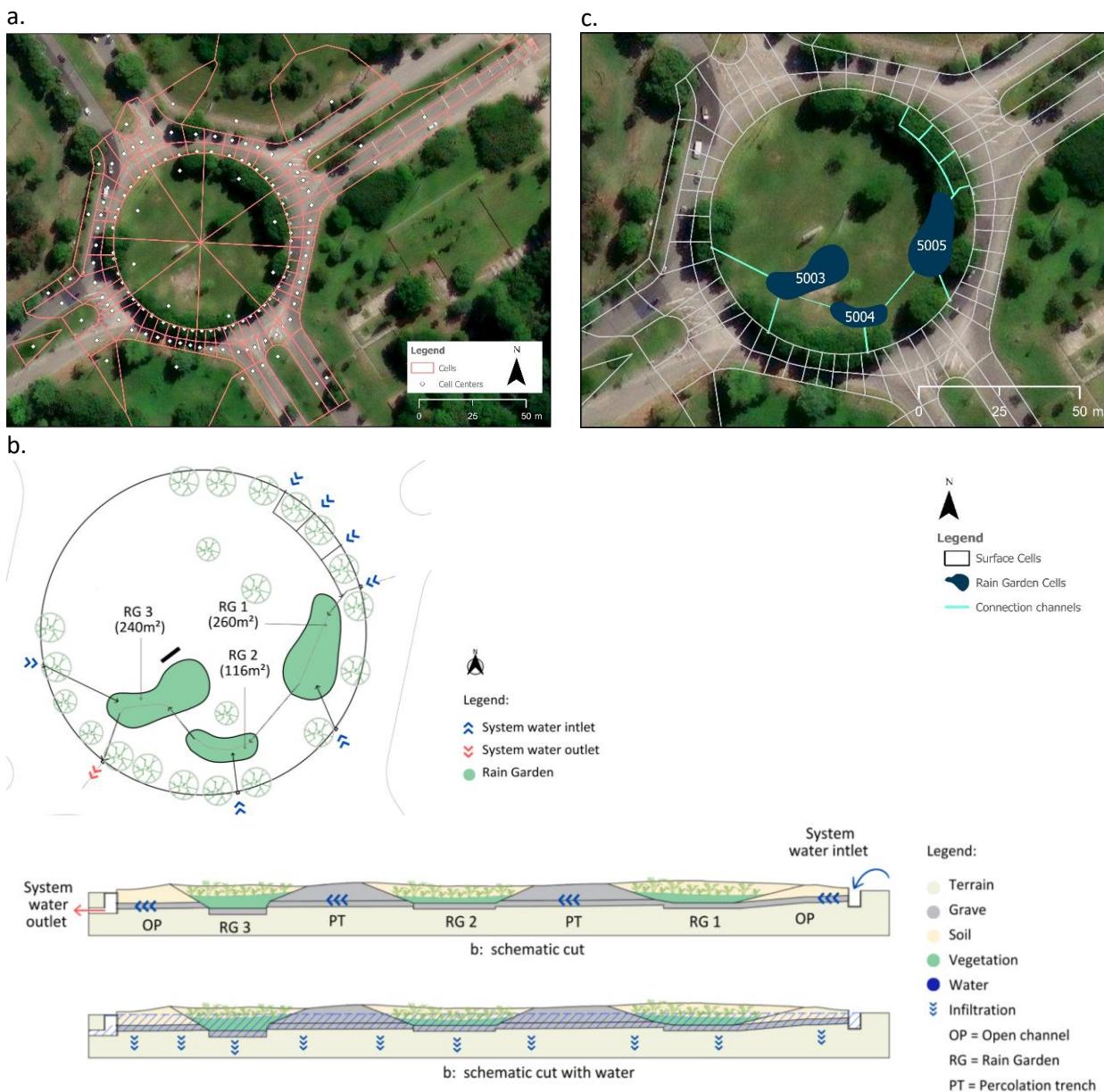
As bases dos jardins, trincheiras e canais são permeáveis e preenchidas com uma camada de brita de 0,30 m, funcionando como reservatórios temporários. Nos canais abertos, o espaço acima da brita permanece vazio; nas trincheiras, a brita atinge a superfície; e nos jardins, há camadas adicionais de solo e substrato para plantio acima da brita, separadas por uma membrana perfurada de poliestireno, permitindo o fluxo da água sem a mistura das camadas. Os três jardins somam uma área de 616 m<sup>2</sup>, com capacidade volumétrica estimada de 78 m<sup>3</sup> quando completamente preenchidos.

## iii. Simulação do Sistema de Jardins de Chuva

O modelo base foi ajustado para incluir as novas células representando os jardins de chuva e seus canais de conexão (Figura 4.c). A capacidade de armazenamento de cada jardim foi determinada com base na porosidade da brita, considerada em 40%.

As conexões entre as vias e os jardins foram modeladas com equações de vertedouro clássicas, enquanto o fluxo nos canais internos foi calculado com a equação de Saint Venant simplificada, desconsiderando o termo de aceleração dinâmica (inércia) e adotando coeficiente de Manning de 0,04. Os coeficientes de escoamento permaneceram os mesmos da etapa anterior (0,35 para superfícies permeáveis e 0,90 para impermeáveis), e não foi considerada a infiltração nos jardins.

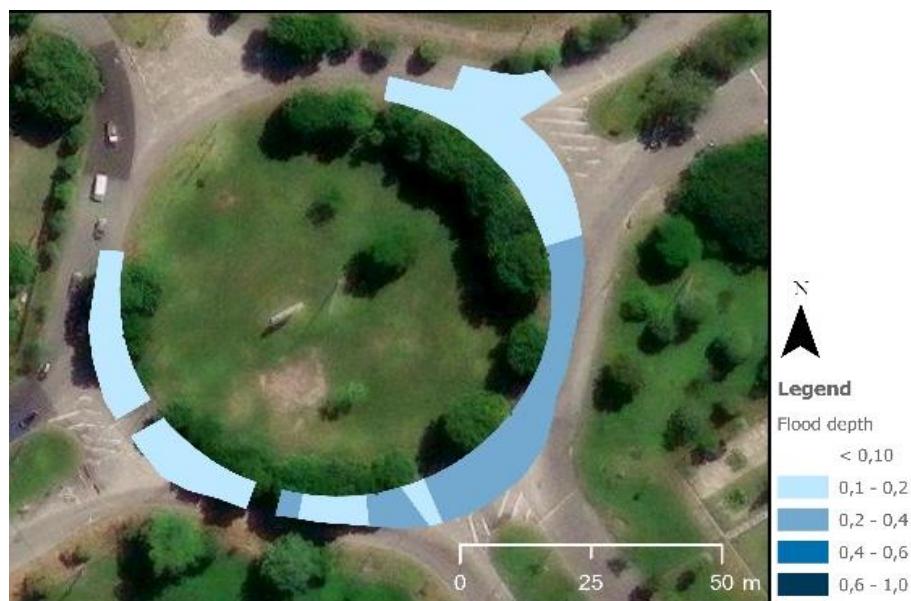
Figura 4. a. Divisão da bacia contribuinte em células; b. Projeto proposto do Sistema de Jardins de Chuva; c. Divisão da bacia em células de fluxo, considerando a implementação do Sistema de Jardins de Chuva.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações indicam que, durante uma chuva com período de retorno de 10 anos, as vias ao redor da Praça Samira Mesquita (PSM) sofrem alagamentos que ultrapassam 1.554 m<sup>2</sup>, evidenciando a vulnerabilidade crítica da área. Deste total, 980 m<sup>2</sup> apresentam lâminas d'água entre 10 e 20 cm, enquanto 574 m<sup>2</sup> ultrapassam os 20 cm de profundidade (Figura 4.a). Este resultado reflete as condições de drenagem observadas no local.

Figura 5. Mancha de inundação resultante da simulação do cenário atual, sem projeto, para uma chuva com 10 anos de tempo de recorrência.



Com a implementação do Sistema de Jardins de Chuva (SJC), o alagamento foi efetivamente mitigado, restando apenas uma pequena área residual onde a lâmina d'água atinge 11 cm (Figura 4.b). Além de sua capacidade de controle de alagamentos, o SJC também atua na contenção de picos de vazão. O efeito de retenção do sistema proporciona uma redução de 27% na vazão de pico, passando de 0,45 m<sup>3</sup>/s para 0,33 m<sup>3</sup>/s (Figura 4.c).

Figura 6. Mancha de inundação resultante da simulação do cenário de projeto, com implantação do Sistema de Jardins de Chuva, para uma chuva com 10 anos de tempo de recorrência.

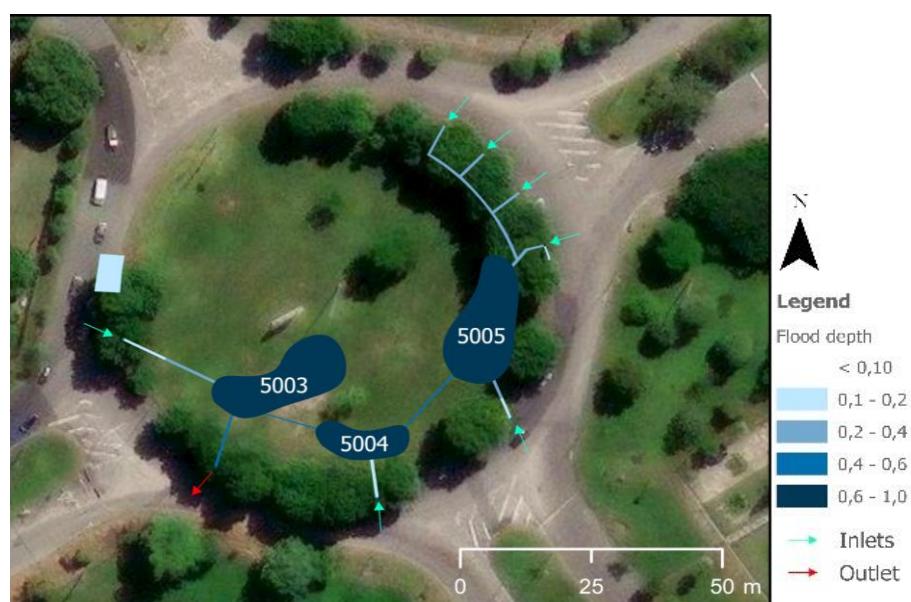
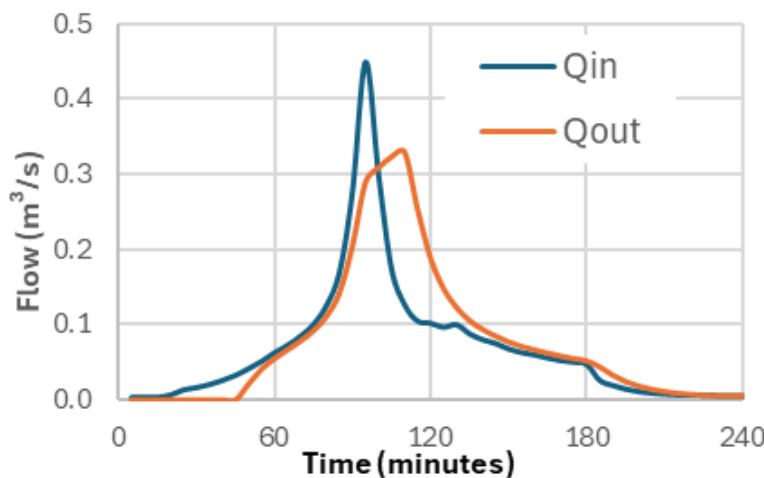


Figura 7. Hidrogramas de entrada (Qin) e saída (Qout) do Sistema de Jardins de Chuva projetado para a Praça Samira Mesquita, resultantes da simulação de uma chuva com 10 anos de tempo de recorrência.



## CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O projeto de Jardim de Chuva na Praça Samira Mesquita demonstrou ser uma solução eficaz para a gestão sustentável de águas pluviais em ambientes urbanos. Os resultados apontaram uma redução de 98% nas áreas alagadas e uma diminuição de 27% na vazão de pico para a chuva de projeto, confirmando a capacidade do sistema em mitigar inundações. Além disso, a integração do modelo MODCEL permitiu uma análise precisa das interações hidrológicas em múltiplas camadas, ressaltando a importância de ferramentas avançadas para o planejamento urbano resiliente. O uso de modelos quasi-2D em multicamadas permitem uma avaliação do funcionamento integrado de sistemas hídricos complexos.

Vale destacar que os Jardins de Chuva não apenas controlam alagamentos, mas também melhoram as condições microclimáticas e promovem a biodiversidade, integrando funcionalidade e estética urbana de forma eficiente. A implementação do Jardim de Chuva na Praça Samira Mesquita está prevista para o final de 2025.

## REFERÊNCIAS

- AHAMMED, Faisal. A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable stormwater management. *Sustainable Water Resources Management*, v. 3, p. 269–282, 2017.
- MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; SOUSA, M. M. Urban flood simulation using MODCEL – an alternative quasi-2D conceptual model. *Water (Switzerland)*, v. 9, n. 6, 2017. DOI: 10.3390/w9060445.
- SELMI, Wissal et al. Prioritizing the provision of urban ecosystem services in deprived areas: a question of environmental justice. *Ambio*, v. 50, p. 1035–1046, 2021.
- SOUSA, M. M. et al. Highlighting the role of the model user and physical interpretation in urban flooding simulation. *Journal of Hydroinformatics*, p. 976–991, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2166/hydro.2022.174>.

WOODS-BALLARD, B. et al. The SuDS Manual (C697). London: CIRIA, 2015.

ALCOCK, S. J.; BRANSTON, L. SENSPOL: Sensors for Monitoring Water Pollution from Contaminated Land, Landfills and Sediment. 2000. Disponível em: <http://www.cranfield.ac.uk/biotech/senspol/>. Acesso em: 23 jun. 2025.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pelo Fundo Verde de Desenvolvimento e Energia para a Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Agradecemos à Cátedra UNESCO em Drenagem Urbana em Regiões de Planícies Costeiras, sediada na UFRJ, à qual esta pesquisa está vinculada.