ANAIS
IV EURO ELECS
2021

ARTIGO

# ANÁLISE QUANTITATIVA DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL: JARDIM DE CHUVA - RJ

**CARVALHO, Fabiana Ferreira de**
*(fabiana.carvalho@fau.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

**DURANTE, Adriana Colafranceschi1**
*(adriana.durante@fau.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

**REZENDE, Osvaldo Moura2**
*(omrezende@poli.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

**VERÓL, Aline Pires1**
*(alineverol@fau.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

**MAGALHÃES, Paulo Canedo de**
*(canedo@hidro.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

**MIGUEZ, Marcelo Gomes**
*(marcelomiguez@poli.ufrj.br)*
*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil*

## PALAVRAS-CHAVE:

Sistema de drenagem urbana sustentável, SUDS, soluções baseadas na natureza, jardim de chuva, modelagem hidrodinâmica

## RESUMO

Os Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) correspondem a uma abordagem para o controle do escoamento superficial e da qualidade da água pluvial, aliado à oferta de áreas verdes na cidade. Percebe-se um afastamento entre arquitetos e urbanistas e engenheiros na elaboração desse tipo de projeto, sendo recorrente a implementação de intervenções não integradas às qualidades ambientais da paisagem ou de baixa eficiência hidráulica, quando a forma não se mostra funcional. O presente artigo visa colaborar com essa discussão – promoção de SUDS por uma equipe transdisciplinar – por meio da análise de um projeto de infraestrutura verde, realizado na Fundição Progresso, na cidade do Rio de Janeiro (RJ), que utilizou o sistema de jardim de chuva integrado à criação de um espaço para eventos. Para tanto, foi feito um estudo comparativo do impacto de chuvas anteriores e posteriores à intervenção, por meio de modelagem matemática, com a simulação de cenários pelo software MODCEL. Para a composição dos cenários, foram utilizados os dados referentes ao acumulado de três dias de uma chuva ordinária com altura total de 85,6mm e a chuva de tempo de recorrência de dez anos com altura de 158,13mm. Os resultados obtidos mostraram que os jardins de chuva projetados e executados conseguiram suportar todo o volume da chuva de tempo de recorrência dez anos e da chuva ordinária, resultado que confirma o registro feito in loco, por meio de um vídeo disponibilizado por funcionários do local em ocasião de chuva. Com base neste trabalho, verifica-se que a introdução de jardins de chuva se mostra viável na microescala e pode cumprir múltiplas funções, sobretudo quando projetada por equipes transdisciplinares, e pode ainda vir a ser eficiente na escala da macrodrenagem, se empregado na escala da bacia.

# 1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e a ocupação desordenada de áreas sem o devido planejamento urbano originaram solos com maior taxa de impermeabilização, acarretando grandes impactos à infraestrutura das cidades (HOANG e FENNER, 2016; OLIVEIRA, 2020). O processo de urbanização traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez alteram o ciclo hidrológico das áreas urbanizadas, apresentando os efeitos mais notáveis no aumento na diminuição da infiltração das águas pluviais e no escoamento superficial que, desta forma, amplifica os riscos de inundação (CHUI et al., 2016; ECKART et al., 2018; GUAN et al., 2016).

Os sistemas clássicos de drenagem urbana implementados nas cidades remetem ao período do surgimento das cidades pós-revolução industrial, quando houve um aumento expressivo da população urbana e a promoção de saneamento tornou-se necessária para reduzir e evitar a proliferação de doenças. Como resposta para a busca de soluções higienistas, os sistemas de drenagem foram projetados para promover o escoamento das águas pluviais e esgotos o mais rápido possível para os corpos hídricos a jusante através de uma rede de canais. Como consequência, tais sistemas tendem a amplificar as velocidades e os volumes do escoamento superficial, gerando novos problemas de inundações, ou intensificando os já existentes, nas regiões mais a jusante (MIGUEZ *et al.,* 2012).

Como um contraponto aos sistemas clássicos de escoamento rápido das águas pluviais, existem os sistemas de drenagem urbana sustentável (do inglês, "Sustainable Urban Drainage Systems" ou SUDS) que se baseiam na infiltração e na retenção das águas pluviais perto da área de precipitação das mesmas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o rearranjo temporal das vazões (CIRIA, 2015; FLETCHER *et al.,* 2015). Os SUDS visam restabelecer os padrões hídricos do momento pré-urbanização (WSUD, 2008) por meio deste manejo das águas, reduzindo, assim, os alagamentos provocados pelo processo de urbanização. As medidas podem ser inseridas desde a micro à macro escala, ou seja, desde o lote até cidades inteiras (CIRIA, 2015), integrando os recursos naturais à paisagem urbana (HOANG e FENNER, 2016). Os projetos SUDS podem assumir diversos formatos e múltiplas funções, criando espaços de lazer, de jardins, praças e parques urbanos (CIRIA, 2015; HOANG e FENNER, 2016).

A concepção de um projeto de drenagem urbana sustentável deve ser transdisciplinar e colaborativa a fim de atender às diversas naturezas das demandas que surgem desse tipo de projeto, que envolve um número grande de informações relacionadas ao volume de captação de águas de chuva, ao orçamento, à eficiência do sistema, ao prazo, à qualidade, entre outros. Entende-se que é de suma importância o trabalho conjunto entre as diversas partes interessadas (ZISCHG *et al.,* 2019), inclusive entre os profissionais de arquitetura e urbanismo, engenharia, paisagismo, entre outros, com o intuito de planejar corretamente as etapas construtivas e a adequada inserção no ambiente construído.

# 2. OBJETIVO

O presente artigo visa colaborar com a promoção de sistemas sustentáveis de drenagem urbana e com o diálogo transdisciplinar na implementação de projetos urbanos por meio da análise quantitativa de um projeto de jardim de chuva integrado à criação de um espaço para eventos culturais implantado na Fundição Progresso, na cidade do Rio de Janeiro (RJ).

# 3. METODOLOGIA

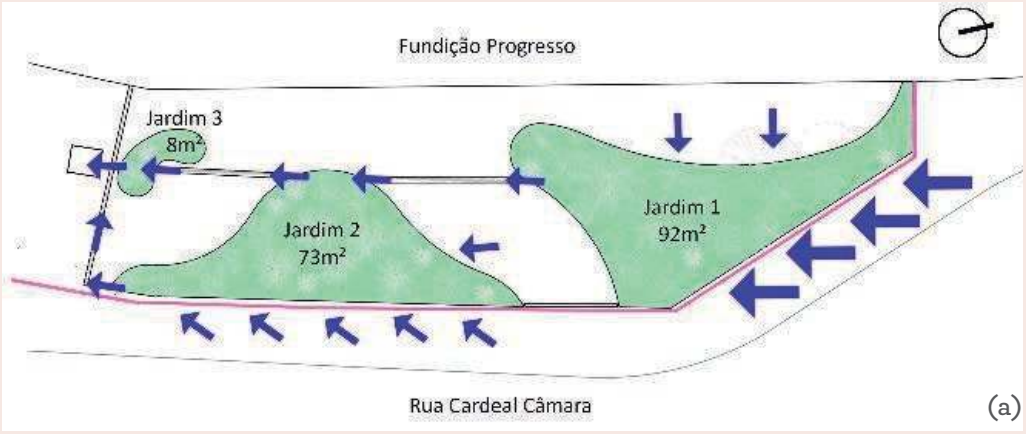
A metodologia proposta visa analisar um jardim de chuva efetivamente implantado na Fundição Progresso, município do Rio de Janeiro. O projeto aqui apresentado faz parte da adequação de uma área do Centro Cultural, para reduzir os alagamentos no local e, ainda, criar um espaço para eventos ao ar livre, melhorando a comunicação com os Arcos da Lapa e estimulando o aumento da segurança no entorno imediato. O projeto foi adaptado ao espaço existente sem se balizar por uma análise hidrológica formal.

Na oportunidade, foi adotada uma estimativa de volume gerado para uma chuva de 0,50 m como referência para o dimensionamento. Outro parâmetro utilizado foi a relação da quantidade de área impermeabilizada disponível para a permanência de público, entendendo que essa área será um espaço para eventos; portanto, precisando acomodar uma certa quantidade de pessoas para atendimento da dinâmica de uma casa cultural.

O projeto do jardim de chuva foi desenvolvido pela equipe da Fundição Progresso sob a coordenação da arquiteta Fabiana Carvalho. Integraram a equipe os paisagistas Cecília Herzog e Pierre Martín como consultores e o grupo Organicidade. Houve uma etapa de projeto colaborativo, em que foram ministrados *workshops* sobre jardim de chuva e sobre seu plantio. As oficinas foram ministradas pela Organicidade, e por Cecília Herzog e Pierre Martín. Cabe ressaltar que em 2020 o projeto Fundição Verde, que inclui o jardim de chuva da Fundição Progresso, recebeu menção honrosa na 58ª Premiação do IAB - RJ 2020 - Rumo ao centenário 1921-2021, na categoria Urbanismo e Paisagismo.

O projeto conta com três jardins de chuva com distintas áreas: o primeiro com 92 $m^2$, o segundo com 73 $m^2$ e o terceiro com 8 $m^2$. De acordo com o esquema apresentado na figura 1(a), o Jardim 1 recebe tanto a água de chuva que cai sobre ele quanto a água de chuva que escoa da Rua Cardeal Câmara e o fluxo oriundo da Avenida República do Paraguai. Este se comunica com o segundo através de uma canaleta de drenagem já existente no local. Da mesma forma, o Jardim 2 se comunica com o Jardim 3 através da mesma canaleta que já havia no local. Por fim, o Jardim 3 se comunica com o ramal que se conecta ao sistema de drenagem pluvial subterrâneo local. Dessa forma, foi possível fazer um sistema redundante, ou seja, quando o jardim a montante é saturado, o excesso de água consegue escoar para o jardim seguinte até chegar à rede de drenagem urbana existente, reduzindo a probabilidade de transbordamento. Além disso, quando esse volu-

me chega até as galerias pluviais, o tempo de maior sobrecarga no sistema já foi ultrapassado, visto que são os primeiros minutos que contribuem substancialmente para a saturação do sistema. Portanto, ao reduzir este tempo de chegada, há uma contribuição para a redução dos alagamentos no entorno imediato. O projeto original especificou a profundidade total de 1,10m, conforme indicado no corte apresentado na figura 1(b).



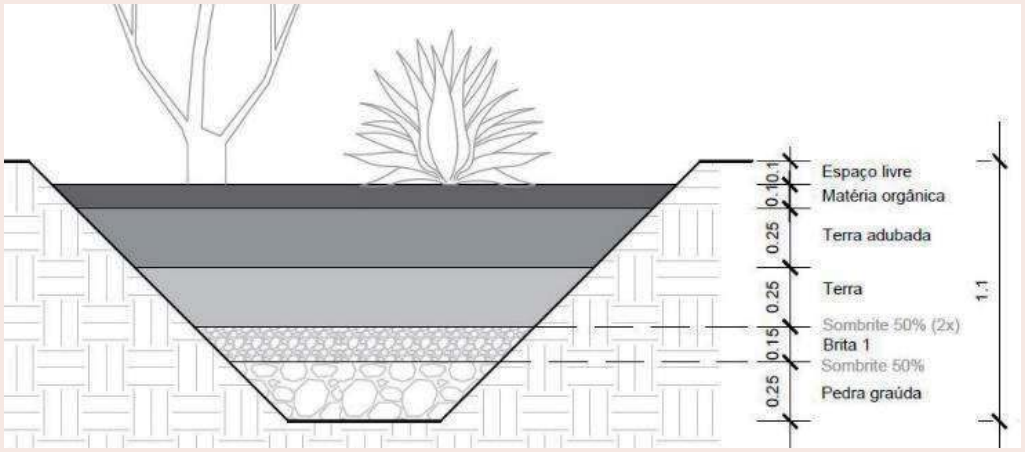




**Figura 1.** Projeto do jardim de chuva da Fundição Progresso: (a) Detalhe do caminho das águas percorrido entre os três jardins de chuva através das canaletas.
(b) Corte transversal com profundidade de 1,10m.

A implantação do projeto iniciou com a escavação da área. Em seguida, foram colocadas pedras graúdas, uma a uma, de forma que ficasse um espaço entre elas para o acúmulo de água. Além disso, elas foram assentadas de forma que ficassem estáveis e não saíssem da posição com o passar do tempo (figura 2a). Após essa camada, foi colocada uma camada de sombrite 50% para servir como barreira de filtragem (figura 2b). Em seguida, foi inserida a camada de brita (figura 2b) e, por cima destas, mais duas camadas de sombrite 50% para evitar que a terra fosse carreada (figura 2c). Para finalizar o sistema de drenagem do jardim, foi inserida a camada de areia com pó de pedra retirada do próprio terreno (figura 2d). Após esse processo, pôde ser feita a regularização do piso do entorno e a colocação das tampas dos ralos. Neste ponto, o jardim já estava preparado para receber a camada

de terra adubada (figura 2e) e o plantio, representado pela imagem da figura 2f. A figura 3 apresenta a área antes e após a implantação do projeto.




**Figura 2.** Passo-a-passo da implantação dos jardins de chuva na Fundição Progresso.
**Fotos:** Fabiana Carvalho,2019.



(a) (b)

**Figura 3.** Área do projeto na Fundição Progresso: (a) antes da intervenção; (b) depois da execução do projeto.
**Fotos:** Fabiana Carvalho, 2019.

- Tomando como ponto de partida o jardim de chuva implantado na Fundição Progresso, pretende-se avaliar efetivamente sua contribuição no controle de escoamentos, de forma quantitativa, por meio de uma simulação hidrológica e hidrodinâmica, buscando integrar na concepção arquitetônica a contribuição da engenharia e valorizar o diálogo entre essas duas disciplinas, mostrando a importância desta interação. Foi, então, utilizada neste trabalho uma metodologia de abordagem quantitativa, por meio do método simulacional-correlacional (GROAT; WANG, 2013), realizado de acordo com as seguintes etapas:
- Levantamento de informações sobre o projeto de jardim de chuva implantado, tais como desenhos técnicos, fotografias, vídeos e dados fornecidos por integrantes da equipe responsável pela implantação do projeto;
- Escolha da ferramenta de modelagem matemática para simulação hidrológico-hidrodinâmica – Modelo de Células de Escoamento (MODCEL);
- Calibração do modelo matemático desenvolvido para a área de estudo;
- Definição de cenários e realização de modelagem matemática;
- Análise dos resultados obtidos nas simulações matemáticas para as lâminas máximas de água obtidas antes e depois da implantação do jardim de chuva.

# 4. ESTUDO DE CASO

## 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O Centro Cultural da Fundição Progresso está localizado na Rua Cardeal Câmara, bairro da Lapa, cidade do Rio de Janeiro, capital do Estado homônimo, situado na região sudeste do Brasil. Pertence à bacia de drenagem do Centro, que drena as águas pluviais por uma extensa galeria sob a Rua Mem de Sá, no sentido da Baía de Guanabara (RIO DE JANEIRO, 2014), como indicado pela figura 4. Ressalta-se que a rua em questão está numa cota inferior em relação à Avenida República do Paraguai, o que faz com que haja um direcionamento das águas pluviais através do escoamento superficial diretamente para a área de estudo, pois o nível da pista de rolamento é o mesmo que o da calçada e o do terreno. Na figura 5 É possível visualizar a indicação dos caminhos das águas que vêm da Avenida República do Paraguai, com destaque da vista da Rua Cardeal Câmara, onde observa-se o nível do leito carroçável igual ao da calçada.




**Figura 4.** Mapa de localização da área de estudo, Google Maps editado pelos autores, 2021.




(a) (b)

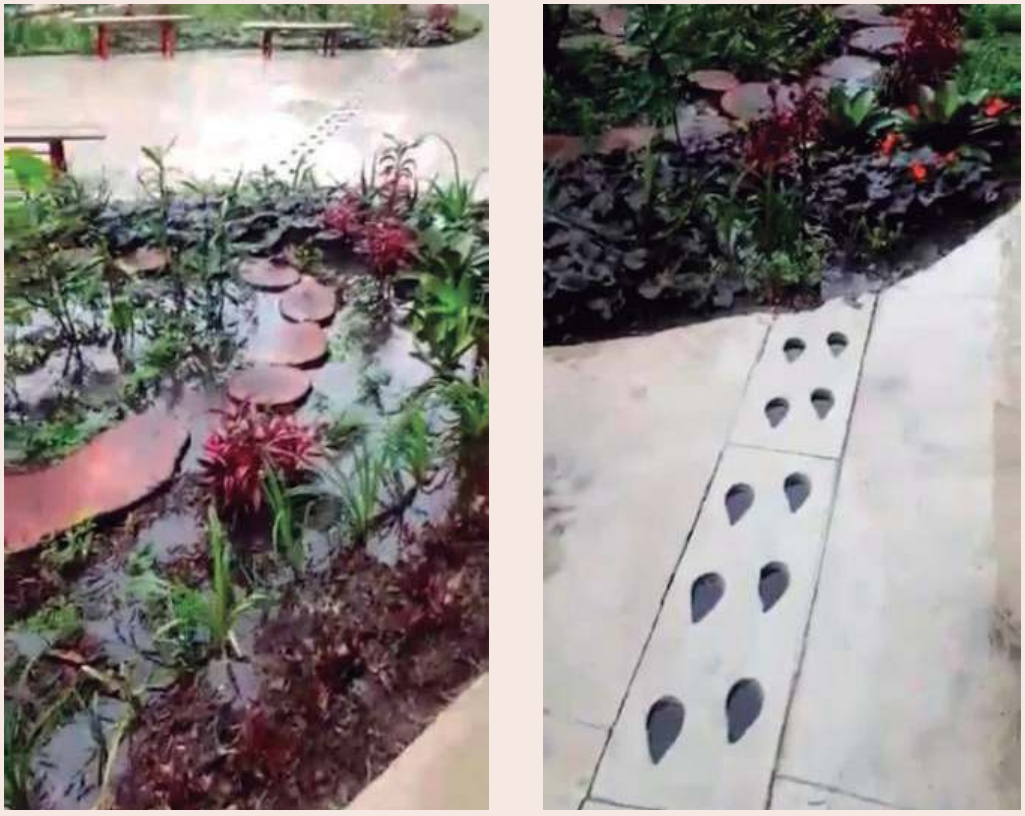
**Figura 5.** (a) Mapa de localização da área de estudo; (b) *Google Earth* e *Google Street View*, editado pelos autores, 2021.

## 4.2 MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Esse artigo verificou, por meio da simulação realizada com o suporte do modelo matemático hidrodinâmico MODCEL (MIGUEZ, 2001; MIGUEZ *et al.*, 2017), os escoamentos superficiais resultantes de eventos pluviométricos precipitados

sobre a área de projeto da Fundição Progresso antes e após a implantação dos três jardins de chuva.

De forma a calibrar o modelo construído para o sistema, foram utilizados os dados pluviométricos dos dias 7, 8 e 9 de outubro de 2019. Os dados foram obtidos por meio do Sistema Alerta Rio da estação Jardim Botânico, localizada a 7,38 km da área de estudo e com acumulado total de 85,6mm. Apesar da distância, esta estação foi escolhida para manter coerência com o documento da Fundação Rio-Águas (RIO DE JANEIRO, 2010) que inclui o bairro da Lapa como área de influência do Jardim Botânico para as equações de microdrenagem. A escolha das datas se deu em função da possibilidade de comparação visual com um vídeo gravado pela equipe da Fundição Progresso, para o mesmo período, apontando a situação da área de projeto em ocasião de chuva. A figura 6 apresenta duas imagens, reproduzidas a partir deste vídeo, nas quais é possível visualizar o Jardim 1 com água aparente e com nível de água que se conecta à canaleta que leva ao Jardim 2 (figura 6a) e a chegada da água pela canaleta no Jardim 2 (figura 6b). Estas imagens foram utilizadas para a calibração do modelo. Posteriormente, com o modelo calibrado, foram simulados cenários de chuva com tempo de recorrência de dez anos (TR10).



(a) (b)

**Figura 6.** *Frame* do vídeo gravado em 10/10/2019: (a) Jardim 1; (b) Jardim 2.

**Fonte:** Vídeo da equipe Fundição Progresso, editado pelos autores em 2020.

A estimativa das chuvas de projeto utilizadas para avaliação do funcionamento hidráulico do sistema de jardins de chuva foi realizada com base no documento "Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento

hidráulico de sistemas de drenagem urbana", da Fundação Rio-Águas, órgão vinculado à Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município do Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2010). De acordo com o documento, o projeto está localizado na área de influência do posto Jardim Botânico. Considerando os parâmetros da equação IDF (intensidade-duração-frequência) para este posto, as chuvas de projeto são calculadas a partir da equação (1).

$$i = \frac{1239\ x\ TR^{0,15}}{(t+20)^{0,74}} \quad (1)$$

Onde:

i: intensidade de chuva (mm/h)

*TR*: tempo de recorrência (ano)

*t*: duração total da chuva (min)

Foi adotada uma duração total do evento de 12 horas, possibilitando a avaliação do funcionamento do dispositivo sob a ocorrência de chuvas com volumes de precipitação mais expressivos. Porém, de forma a obter intensidades de chuva críticas para a bacia de contribuição ao dispositivo, os eventos foram subdivididos em intervalos iguais de dez minutos, respeitando o valor indicado pela Fundação Rio-Águas (RIO DE JANEIRO, 2010) para projetos de microdrenagem. A distribuição temporal da chuva nestes intervalos seguiu o Método dos Blocos Alternados, totalizando 72 blocos de dez minutos. Os volumes totais de precipitação, assim como as intensidades média e máxima de cada evento simulado são apresentados na tabela 1 e o hietograma utilizado nas simulações é apresentado na figura 7.

| **Tempo de recorrência** | **10 anos** |
|---|---|
| Altura total de chuva | 158,13mm |
| Intensidade média do evento | 13,18mm/h |
| Intensidade máxima do evento | 141,25mm/h |

**Tabela 1.** Altura e intensidades médias e máximas do hietograma de projeto (TR 10 anos)

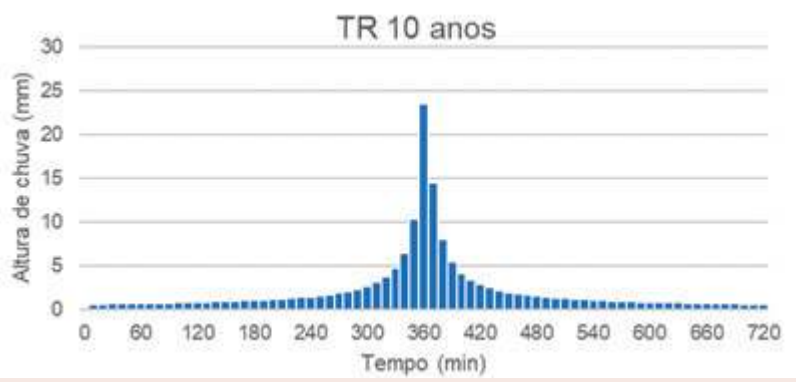



**Figura 7.** Hietograma de projeto para o tempo de recorrência de dez anos.

Para este estudo, foram propostos e simulados quatro cenários, onde, para sua composição, além da chuva de tempo de recorrência de dez anos e duração de 12 horas, também foram utilizados os dados referentes ao acumulado de três dias de uma chuva ordinária com acumulado total de 85,6mm. A seguir, estão descritos cada um dos cenários propostos:

- **Cenário 1a - Com Jardim de Chuva**: simulação para um período de três dias de chuva (7, 8 e 9 de outubro de 2019) com acumulado de 85,6mm;
- **Cenário 1b - Sem Jardim de Chuva:** simulação para um período de três dias de chuva (7, 8 e 9 de outubro de 2019) com acumulado de 85,6mm;
- **Cenário 2a - Com Jardim de Chuva:** simulação para tempo de recorrência de dez anos, evento de referência para projetos de microdrenagem na cidade do Rio de Janeiro;
- **Cenário 2b - Sem Jardim de Chuva:** simulação para tempo de recorrência de dez anos, evento de referência para projetos de microdrenagem na cidade do Rio de Janeiro.

# 5. RESULTADOS

Após a simulação matemática, observou-se que o volume de água que antes da intervenção seguia diretamente para a rede de drenagem, com formação de lâmina d'água de 0,03m (Cenário 1b), foi absorvido pelo sistema com o uso do jardim de chuva (Cenário 1a). Este resultado corresponde ao observado e gravado pela equipe da Fundição Progresso durante o dia 10 de outubro de 2019 , momento em que os jardins apresentaram lâmina d'água visível, porém sem transbordamento.

Na simulação do Cenário 2a, foi observado que os jardins 1 e 2 conseguiram absorver todo o volume drenado e que o Jardim 3 excedeu sua capacidade em 2 mm, direcionando as águas excedentes para a canaleta de saída do sistema, não havendo transbordamento para a área adjacente às estruturas. A simulação do Cenário 2b apresentou a formação de lâmina d'água de até 0,08m no local. A vazão de pico final do sistema, considerando os jardins implantados, foi de 0,061 $m^3/s$. Para o Cenário 1b, a vazão de pico lançada na rede pública de drenagem foi de 0,067 $m^3/s$. Apesar de aparentemente pouco expressivo (amortecimento de 10%), esse resultado foi alcançado considerando-se uma chuva de longa duração (12 horas), com ocorrência de um período de chuva muito intensa no meio do evento, configurando uma situação crítica para o funcionamento do dispositivo, que drena uma pequena área com curto tempo de concentração.

As simulações mostraram que os jardins de chuva projetados suportam os volumes de chuvas ordinárias, representadas pelo evento ocorrido nos dias 7, 8 e 9 de outubro de 2019, assim como chuvas com tempo de recorrência de dez anos, evento de referência para projetos de microdrenagem na cidade do Rio de Janeiro. Em todos os cenários, o sistema conseguiu manejar todo o volume de água que chegou até eles.

Os resultados apontaram, ainda, que antes da intervenção, a água escoava pela área diretamente até a rede de drenagem. Pode-se afirmar que ao tornar parte do piso permeável, com a instalação dos jardins de chuva, e direcionar as águas drenadas pelas parcelas impermeáveis para esses jardins, a água pluvial excedente deixou de escoar diretamente para o sistema público de drenagem urbana, sendo absorvida pelo sistema de drenagem sustentável. De acordo com as simulações, o sistema de jardins é capaz de suportar uma chuva de 181,43mm (TR 10) numa área total de 397m$^2$, amortecendo as vazões de pico e retendo parte desse volume, que será infiltrado no solo. Considerando a capacidade volumétrica do conjunto de jardins de chuva, de 23,5m$^3$, e o volume precipitado, de aproximadamente 72m$^3$ durante um período de 12 horas, há uma redução de cerca de 30% no volume que poderia vir a sobrecarregar a rede de drenagem pluvial existente.

# 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise quantitativa realizada neste estudo mostrou que o sistema de jardins de chuva implementado na Fundição Progresso funcionou de forma satisfatória, atendendo à exigência de projeto do órgão competente local, que exige o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana para suportar eventos hidrológicos com dez anos de tempo de recorrência. O sistema apresentou, ainda, uma redução da vazão de pico drenada pela área que recebeu a intervenção e lançada na rede pública de drenagem de 10%, quando comparado à situação tradicional, com direcionamento das águas pluviais excedentes por meio de canaletas diretamente para a rede de drenagem. Vale destacar que o sistema foi testado para uma chuva com 12 horas de duração, com ocorrência de um período de chuva mais intensa no meio do evento, configurando uma situação mais desfavorável ao funcionamento dos jardins de chuva. A adoção desse evento teve como objetivo avaliar o potencial do sistema em manejar eventos hidrológicos críticos para a escala de bacia.

A modelagem hidrodinâmica se mostrou como uma etapa importante para a concepção projetual no aspecto do dimensionamento de SUDS e para estimar eficiência do mesmo em relação à problemática local. Embora essa etapa não tenha sido realizada no projeto que foi executado, o estudo indica que esta seja inserida em projeto futuros de SUDS.

Além disso, pode-se inferir que houve uma melhora significativa das questões urbanas, ambientais e paisagísticas, não apenas dentro do espaço delimitado pelas grades da Fundição Progresso, mas em toda a região do entorno imediato. Tal intervenção também irá propiciar, ao longo do tempo, um aumento na diversidade ecológica da região. Cabe frisar que esta área possui grande apelo turístico, o que por si só, já justificaria o projeto, uma vez que, ao contribuir para a melhora da ambiência de uma área tão importante para a economia da cidade, já é um fator positivo e determinante para sua implementação.

Este estudo indica que a promoção de cidades resilientes faz parte de uma corresponsabilização de ações no território, podendo-se inferir que é primordial que as técnicas de SUDS sejam empregadas em pequena, média e larga escala, em ações

tanto públicas quanto privadas. Por fim, reforça-se a necessidade de que equipes transdisciplinares possam contribuir para uma maior integração entre as questões estéticas e formais, garantindo o correto funcionamento hidráulico de dispositivos de drenagem urbana e a sua melhor integração ao ambiente urbano.

# 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chui, T. F.M.; Trinh, D.H. (2016). Modelling infiltration enhancement in a tropical urban catchment for improved stormwater management. Hydrological Processes, v. 30, p. 4405–4419.

CIRIA. (2007). The SUDS Manual. By Woods-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Bray, R; Shaffer, P. CIRIA C697. London.

Eckart, K.; Mcphee, Z.; Bolisetti, T. (2018). Multiobjective optimization of low impact development stormwater controls. Journal of Hydrology v. 562, p. 564–576.

Fletcher, T.; Shuster, W.; Hunt, W.F.; Rashley, R.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S.; Barraud, S.; Semadeni- Davies, A.; Bertrand-Krajewski, J.; Mikkelsen, P.S.; Rivard, G.; Uhl, M.; Dagenais, D.; Viklander, M.(2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more–The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. Urban Water Journal, v. 12, n. 7, p. 525-542.

Groat, L.; Wang, D. (2013). Architectural Research Methods. 2ª ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Guan, M.; Sillanpää, N.; Koivusalo, H. (2016). Storm runoff response to rainfall pattern, magnitude and urbanization in a developing urban catchment. Hydrological Processes, v. 30, p. 543–557.

Hoang, L.; Fenner, R.A. (2016). System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure. Urban Water Journal, v. 13, n. 7, p. 739-758.

IAB-RJ. (2021). Site institucional. Disponível em http://iabrj.org.br/post_20-11_premiacao/ acessado em 19 de janeiro de 2021.

Miguez, M. G. (2001). Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Miguez, M. G., Bahiense, J. M.; Rezende, O. M.; Veról, A. P. (2012). New urban developments: flood control and LID – a sustainable approach for urban drainage systems. The Sustainable City VII, v. 1, p. 469 – 480.

Miguez, M. G.; Battemarco; B. P., De Sousa; M. M.; Rezende, O. M.; Veról, A. P.; Gusmaroli, G. (2017). Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. Water (Switzerland), Vol. 9, No. 6.

Oliveira, E. L.; Salles, M.T. Relações entre o Subsolo Urbano e Mudanças Climáticas em diferentes bairros do Rio de Janeiro. Ambient. soc. [online]. 2020, vol.23 [citado 2020-12-07], e 01782. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2020000101001&lng=pt&nrm=iso>. Epub 04-Dez-2020. ISSN 1809-4422. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190178r2vu2020l6td.

Rio de Janeiro. (2019). Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana (Aprovada pela Portaria O/SUB – RIO-ÁGUAS "N" nº. 004/2010), 2ª. Versão – JULHO/2019. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas - Rio-Águas - Secretaria Municipal de Obras / Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro. (2010). Subsecretaria de gestão de bacias hidrográficas - Rio-Águas. Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana. 1ª. Versão - Dezembro 2010. RIO-ÁGUAS, Secretaria Municipal de Obras, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Rio de Janeiro. (2014). Secretaria de Obras. Fundação Rio Águas. Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Rio de Janeiro – Relatório Síntese. Disponível em: <https://syr.us/H7H>, acesso em: 31/05/2021.

WSUD. (2008). City of Melbourne WSUD Guidelines. Applying the Model WSUD Guidelines. An Initiative of the Inner Melbourne Action Plan. Melbourne.

Zischg, J; Rogers, B; Gunn, A.; Raucha, W.; Sitzenfrei, R. (2019). Future trajectories of urban drainage systems: A simple exploratory modeling approach for assessing socio-technical transitions. Science of the Total Environment v. 651, p. 1709–1719.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no âmbito da Cátedra UNESCO de "DRENAGEM URBANA EM REGIÕES DE BAIXADA COSTEIRA" da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001] e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (303862/2020-3).