

AValiação DE UM PROJETO DE DRENAGEM URBANA COM SOLUÇÕES DE BAIXO IMPACTO (LID) EM NÍVEL DE LOTE PARA UM LOTEAMENTO EM CARIACICA - ES

*Érico Matheus Fantoni de Faria¹; Marina Batalini de Macedo²; Priscilla Mota Costa³
; Thainá Vieira Holz⁴; Thereza Isabelle Silva dos Santos⁵ ; Victoria Sofia Guimarães Braga⁶
; Valdir José da Costa Júnior⁷*

RESUMO – Entre os diversos fatores que intensificam o risco de inundações, destacam-se as mudanças climáticas e o processo de urbanização. Esse cenário evidencia a necessidade de adoção de técnicas de drenagem capazes de mitigar os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar e realizar o pré-dimensionamento de telhados verdes, reservatórios em lote e trincheiras de infiltração a serem aplicados em escala de lote. Os resultados indicam que os telhados verdes apresentam viabilidade técnica. Por outro lado, as trincheiras de infiltração não se mostram adequadas quando utilizadas isoladamente, pois demandam dimensões superiores aos limites técnicos. Já os reservatórios em lote apresentam volumes compatíveis, contudo, suas limitações de capacidade reduzem sua viabilidade, embora ainda contribuam para a diminuição do escoamento superficial. Assim, as técnicas analisadas demonstram potencial para melhorar o comportamento hidrológico da área de estudo, especialmente por meio da retenção e do amortecimento do escoamento superficial.

ABSTRACT – Among the various factors that intensify the risk of flooding, climate change and the urbanization process stand out. This scenario highlights the need to adopt drainage techniques capable of mitigating the impacts of urbanization on the hydrological cycle. In this context, the present study aims to evaluate and carry out the preliminary design of green roofs, on-site storage reservoirs, and infiltration trenches to be applied at the lot scale. The results indicate that green roofs are technically feasible. On the other hand, infiltration trenches are not suitable when used in isolation, as they require dimensions that exceed technical limits. On-site storage reservoirs present compatible volumes; however, their capacity limitations reduce their feasibility, although they still contribute to reducing surface runoff. Thus, the analyzed techniques demonstrate potential to improve the hydrological behavior of the study area, especially through the retention and attenuation of surface runoff.

Palavras chave – Drenagem Urbana; Desenvolvimento de Baixo Impacto; Gestão de Águas Pluviais.

¹) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, erico.fantoni2@gmail.com

²) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, thainaholz@hotmail.com

³) Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Recursos Naturais, marinamacedo@unifei.edu.br

⁴) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, d2018016318@unifei.edu.br

⁵) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, bellessantos@unifei.edu.br

⁶) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, victoriasgbraga@gmail.com

⁷) Programa de Pós-Graduação Profissional em Engenharia Hídrica - UNIFEI, valdircosta@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

Dentre os diversos elementos que elevam os riscos de inundação, as alterações climáticas e o processo de urbanização se destacam como dois dos mais significativos, representando desafios para as abordagens atuais e futuras de gestão de inundações em áreas urbanas. Entender os fatores que impulsionam essas mudanças nos riscos de inundação é fundamental para direcionar estratégias futuras de mitigação e adaptação em contextos dinâmicos [Zhou *et al.* (2019)].

A urbanização leva ao aumento das áreas impermeáveis e construção de redes de drenagem pluvial que reduzem o tempo de concentração e aumentam o escoamento direto, resultando em elevações mais rápidas do fluxo nos rios [Mishra *et al.* (2018)]. Considerando o paradigma que permeia o manejo das águas pluviais, associado a utilização da infraestrutura convencional de drenagem urbana, observa-se a necessidade de mudança e adaptação para um novo modelo de gestão de águas pluviais, nesse contexto destacam-se as Soluções Baseadas na Natureza.

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN), consistem em iniciativas voltadas à conservação, ao manejo sustentável e à restauração de ecossistemas naturais ou alterados, e tem por objetivo serem meios de resposta frente aos desafios sociais, como as mudanças climáticas, hídrica e alimentar e a ocorrência de desastres naturais. Essas estratégias buscam oferecer respostas eficazes e adaptáveis, trazendo benefícios tanto para as pessoas quanto para a biodiversidade [Cohen-Shacham *et al.* (2016)].

As SBN para drenagem urbana são frequentemente compreendidas como um conceito guarda-chuva que abrange uma variedade de estratégias e terminologias, as quais podem variar conforme a região. Apesar dessas diferenças nas denominações, o objetivo permanece comum: todas as abordagens buscam reduzir o volume de escoamento, atenuar picos de inundação e melhorar a qualidade e o funcionamento dos ambientes hídricos, além de, muitas vezes, oferecer funções e benefícios adicionais [(Kabisch *et al.* (2020))].

Entre os termos compreendidos pelas SBN, encontram-se as Técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID). As técnicas de LID visam controlar o escoamento na própria fonte, em pequena escala, reduzindo o volume escoado, os picos de vazão e os níveis de poluição, de modo que o ciclo hidrológico pós-urbanização se aproxime do pré-urbanização [Fletcher *et al.* (2015)]. Diferentemente do modelo tradicional de gestão das águas pluviais, focado em escoar rapidamente a água para fora das áreas urbanas, o LID busca restaurar o equilíbrio natural entre infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração [Gilroy e Mccuen (2009)].

Diante desse contexto, o presente artigo teve como objetivo realizar o pré-dimensionamento de três diferentes técnicas LID, a serem aplicadas em escala de lote no município de Cariacica – ES. As técnicas analisadas foram: telhados verdes, reservatórios de lote e trincheiras de infiltração. Adicionalmente, por meio da definição de critérios de viabilidade, buscou-se avaliar a existência de viabilidade técnica para a implantação dessas técnicas de drenagem compensatória na área de estudo.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo corresponde a um loteamento urbano localizado no município de Cariacica, no estado do Espírito Santo, mais especificamente no bairro Tucum, conforme apresentado pela Figura 1. O empreendimento é composto por 80 lotes, com áreas variando entre 150 m² e 350 m², caracterizando um padrão de parcelamento compatível com ocupação residencial de média densidade.

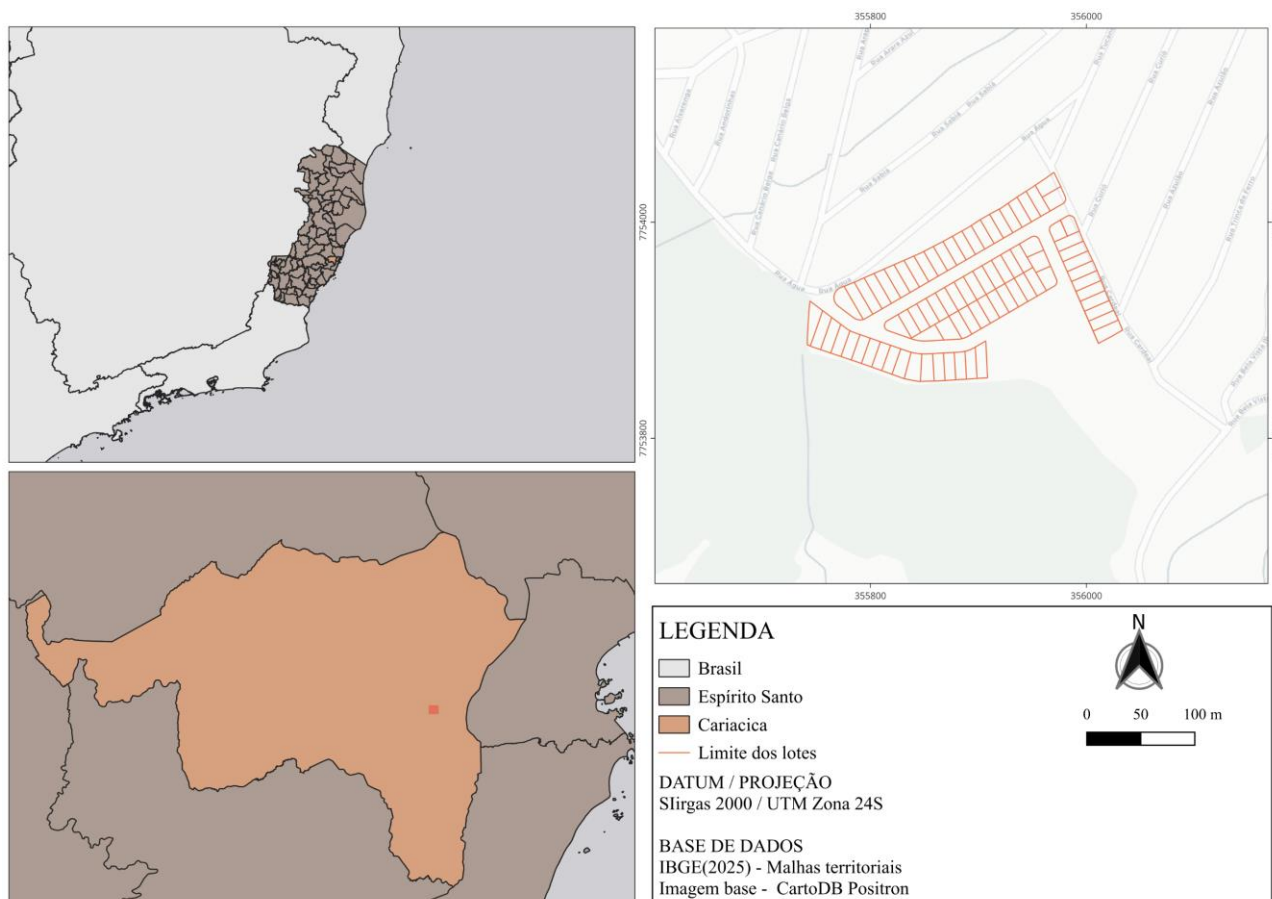


Figura 1 – Localização do loteamento em estudo no município de Cariacica.

Dimensionamento

O dimensionamento hidráulico das técnicas LID em questão foi conduzido com base em duas abordagens complementares: o controle das águas pluviais na fonte e o tratamento do escoamento

superficial. O controle na fonte tem por objetivo limitar tanto o volume escoado quanto a vazão de contribuição de cada lote, buscando reproduzir, como condição de referência, características hidrológicas próximas às do período pré-urbanização, especialmente no que se refere aos volumes e às vazões geradas. Por sua vez, o tratamento do escoamento superficial visa à redução da carga poluente associada ao processo de lavagem das superfícies urbanas.

Dessa forma, o dimensionamento das técnicas consiste na determinação do volume necessário para atender simultaneamente às funções de controle e de tratamento das águas pluviais. Para tanto, adota-se como critério o maior valor entre o volume requerido para o controle do escoamento e aquele necessário para o tratamento.

No que se refere ao dimensionamento hidráulico considerado neste estudo, adotaram-se abordagens específicas para cada tipologia de dispositivo. Para telhados verdes e trincheiras de infiltração, o dimensionamento baseia-se na determinação da espessura da camada de drenagem necessária para armazenar o volume de controle (para controle e tratamento do escoamento). Por sua vez, para os reservatórios de lote, o procedimento consiste na estimativa do volume requerido para o armazenamento das águas pluviais em cada lote.

Em relação aos volumes necessários para a função de controle e tratamento do escoamento, estes foram determinados a partir da relação entre a altura máxima precipitada e as áreas de contribuição. No presente estudo, tais áreas correspondem às superfícies impermeáveis dos lotes, representadas pelas áreas de telhados. Assim, os volumes foram calculados conforme a Equação 1.

$$V_{controle} = Pe_{max} \cdot A_{telhado} \quad (1)$$

Em que $V_{controle}$ representa o volume necessário para o controle do escoamento (m^3); $A_{telhado}$ corresponde à área do telhado de cada lote (m^2) e Pe_{max} refere-se à precipitação efetiva máxima (m).

Para o volume de controle do escoamento, a precipitação efetiva máxima foi obtida por diferentes formas. Para os telhados verdes, a precipitação máxima foi estimada por meio da aplicação das curvas IDF (Intensidade, Duração e Frequência) do município de Cariacica, cujos coeficientes foram obtidos por meio do *software* Plúvio 2.1. Como parâmetros de estudo, adotou-se um tempo de retorno de 5 anos e um tempo de concentração de 5 minutos. Posteriormente, a precipitação efetiva máxima foi obtida por meio do uso de um coeficiente de escoamento superficial de 1,00.

No caso das trincheiras de infiltração, a precipitação máxima foi determinada a partir do cálculo da precipitação efetiva, utilizando o método SCS-CN. Inicialmente, o total precipitado foi obtido com base nas curvas IDF do município de Cariacica, considerando uma duração de precipitação de 30

minutos e tempo de retorno de 10 anos. Posteriormente, a precipitação efetiva foi calculada a partir da diferença entre as precipitações efetivas nos cenários pré e pós-urbanização, representados por valores de Curve Number (CN) iguais a 81(pastagens pobres) e 90(lotes com área inferior a 500 m²), respectivamente.

Por fim, para os reservatórios de lote, a precipitação efetiva máxima foi estimada por meio do método da curva envelope, a partir da determinação da diferença máxima entre a curva PDF (Precipitação, Duração e Frequência), determinada para o tempo de retorno de 5 anos, e a curva de descarga dos reservatórios ao longo do tempo, considerando um tempo de esvaziamento dos reservatórios de 1 hora. Além disso, também se considerou a aplicação de coeficiente de escoamento superficial de 1,00.

Para o volume do tratamento do escoamento, na determinação da precipitação efetiva máxima se utilizou a precipitação com 90% de probabilidade de excedência, também chamada de P90, multiplicada por um coeficiente de escoamento superficial de 0,95. A P90 foi obtida por meio da análise da série histórica de dados pluviométricos do posto 02040014 – DUAS BOCAS, localizado no município de Cariacica. Esse posto apresenta registros de precipitação no período de 1952 a 2024, onde sua P90 corresponde a 35,1 mm.

Por fim, a fim de avaliar a viabilidade técnica de implantação das técnicas LID, foram estabelecidos critérios específicos para cada solução analisada. Para os telhados verdes, a viabilidade técnica foi associada à espessura máxima da camada de drenagem, fixada em 15 cm. No caso das trincheiras de infiltração, adotou-se como limite de viabilidade técnica a espessura máxima de 1,50 m. Já para os reservatórios de lote, definiu-se como critério de viabilidade um volume máximo de armazenamento de 5 m³ por lote.

Em relação aos equacionamentos utilizados, o dimensionamento da espessura das camadas de drenagem dos telhados verdes e das trincheiras de infiltração foram realizados conforme as Equações 2 e 3.

$$h_{\text{telhado verde}} = \frac{V_{\text{controle}}}{\frac{A_{\text{telhado}}}{n}} \quad (2)$$

Em que h é a espessura da camada de drenagem(m), V_{controle} o volume a ser considerado no dimensionamento(m³), A_{telhado} a área adotada para o telhado verde(m²) e n a porosidade do meio.

$$h_{\text{trincheira de infiltração}} = \frac{\frac{V_{\text{controle}}}{n}}{A_{\text{trincheira}}} \cdot F_s \quad (3)$$

Em que h é a espessura da camada de drenagem (m), V_{controle} o volume é o volume a ser considerado no dimensionamento (m^3), n é a porosidade do meio, adotado como 0,35, $A_{\text{trincheira}}$ corresponde à área disponível para implantação da trincheira, fixada em $10,00 \text{ m}^2$ para todos os lotes, em função da área permeável disponível e F_s é o fator de segurança adotado, considerado igual a 2,00.

Para os reservatórios de lote, a quantidade de reservatórios de lote com capacidade de armazenamento de 1 m^3 foi obtida através da Equação 4.

$$N_{\text{reservatórios}} = \frac{V_{\text{controle}}}{V_{\text{reservatório}}} \quad (4)$$

Em que $N_{\text{reservatórios}}$ é o número de reservatórios necessários por lote, V_{controle} o volume é o volume a ser considerado no dimensionamento (m^3) e $V_{\text{reservatórios}}$ o volume unitário de cada reservatório, adotado de 1 m^3 , conforme as soluções comerciais disponíveis no mercado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os intervalos dos volumes requeridos para o dimensionamento dos telhados verdes, de acordo com a sua função de controle e tratamento do escoamento.

Tabela 1 – Distribuição dos volumes requeridos pelos telhados verdes conforme função

Volume necessário para escoamento			Volume necessário para tratamento		
Intervalo(m^3)	Nº lotes	% dos lotes	Intervalo(m^3)	Nº lotes	% dos lotes
1,50 - 2,00	4	5,00	4,50 - 6,00	4	5,00
2,00 - 2,50	33	41,25	6,00 - 7,50	12	15,00
2,50 - 3,00	33	41,25	7,50 - 9,00	54	67,50
3,00 - 3,50	10	12,50	9,00 - 10,50	10	12,50

Fonte: Os autores.

Em relação aos telhados verdes, observa-se que o volume crítico, entendido como aquele associado à dupla função de controle e tratamento do escoamento, corresponde ao volume destinado ao tratamento, o qual se apresenta aproximadamente três vezes superior ao volume requerido para o controle. Conforme apresentado na Tabela 1, os volumes necessários ao controle do escoamento variam entre $1,50$ e $3,50 \text{ m}^3$, com predominância na faixa de $2,00$ a $3,00 \text{ m}^3$, representando $82,50\%$ dos lotes analisados. Por sua vez, os volumes destinados ao tratamento do escoamento situam-se entre

4,50 e 10,50 m³, com maior concentração no intervalo de 7,50 a 9,00 m³, correspondendo a 67,50% dos lotes avaliados.

Dessa forma, para o dimensionamento da espessura da camada de drenagem dos telhados verdes, foram considerados os volumes associados à função de tratamento do escoamento, por serem os mais restritivos do ponto de vista de projeto. Considerando-se que a área de telhado verde foi definida como equivalente à área urbanizada do lote, a espessura da camada de drenagem será uniforme para todos os telhados verdes analisados. Tal premissa se justifica pelo fato de que, nessa condição, a espessura depende exclusivamente da altura de precipitação e da porosidade do material empregado na camada. Assim, para o cenário avaliado, a espessura necessária da camada de drenagem, visando ao atendimento da condição de tratamento do escoamento, foi estimada em 10,00 cm.

Já para as trincheiras de infiltração, assim como nos telhados verdes, observa-se que o volume crítico é aquele associado a função do tratamento do escoamento, no qual, apresenta-se aproximadamente 2,50 vezes superior ao volume requerido para o controle do escoamento. Observa-se na Tabela 2 que, os volumes necessários ao controle do escoamento variam entre 1,50 e 4,50 m³, com predominância na faixa de 2,50 a 3,00 m³, representando 48,75% dos lotes analisados. Por outro lado, os volumes requisitados para o tratamento são os mesmo que os dos telhados verdes, situando-se entre 4,50 e 10,50 m³, com maior concentração no intervalo de 7,50 a 9,00 m³, correspondendo a 67,50% dos lotes avaliados.

Tabela 2 – Distribuição dos volumes requeridos pelas trincheiras de infiltração conforme função e as espessuras necessárias para a camada de drenagem

Volume necessário para escoamento			Volume necessário para tratamento			Espessuras da camada		
Intervalos (m ³)	Nº lotes	% dos lotes	Intervalos (m ³)	Nº lotes	% dos lotes	Intervalos (m)	Nº lotes	% dos lotes
1,50 - 2,50	6	7,50	4,50 - 6,00	4	5,00	2,50 - 3,00	1	1,25
2,50 - 3,00	39	48,75	6,00 - 7,50	12	15,00	3,00 - 4,00	6	7,50
3,00 - 3,50	25	31,25	7,50 - 9,00	54	67,50	4,00 - 5,00	61	76,25
3,50 - 4,50	10	12,50	9,00 - 10,50	10	12,50	5,00 - 6,00	12	15,00

Fonte: Os autores.

Em relação a espessura da camada de drenagem, essas variam de modo geral entre 2,50 e 6,00 m, com maior concentração de valores no intervalo entre 4,00 m e 5,00 m, representando 76,25% dos lotes analisados. Para as trincheiras de infiltração, não se verificou a viabilidade técnica para a

implantação isolada de trincheiras de infiltração. Como critério de viabilidade, adotou-se a espessura máxima de 1,50 m para a camada de drenagem contudo, a menor espessura requerida foi de 2,64 m, excedendo o limite estabelecido, além disso, a maioria das trincheiras requerem uma profundidade entre 4,00 e 5,00, superando consideravelmente o limite definido para a viabilidade técnica.

Em relação aos reservatórios de lote, a Tabela 3 apresenta a distribuição dos intervalos dos volumes requeridos pelos lotes. Os volumes requeridos para reservatórios em nível de lote variam entre 4,50 e 10,50 m³, valores comparáveis aos obtidos para telhados verdes e trincheiras de infiltração quando considerados para a função de tratamento do escoamento. Observa-se predominância de volumes no intervalo de 6,00 a 9,00 m³, correspondendo a 82,50% dos lotes analisados.

Tabela 3 – Distribuição dos volumes requeridos para armazenamento nos reservatórios de lote

Volume necessário para armazenamento		
Intervalos(m ³)	Nº lotes	% dos lotes
4,50 - 6,00	4	5,00
6,00 - 7,50	36	45,00
7,50 - 9,00	30	37,50
9,00 - 10,50	10	12,50

Fonte: Os autores.

Destaca-se que apenas um lote atendeu ao critério de viabilidade técnica estabelecido, que considera o volume máximo de armazenamento de 5 m³ por lote, apresentando volume requerido de 4,50 m³. Os demais 79 lotes não atenderam integralmente a esse critério. Entretanto, ressalta-se que 36 lotes, com volumes situados entre 6,00 e 7,50 m³, apresentam viabilidade técnica parcial, uma vez que, mesmo sob a restrição de capacidade máxima de 5 m³ por lote, a adoção de reservatórios ainda resultaria em redução significativa do volume escoado em comparação ao cenário sem a implementação dessas estruturas.

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que, para o loteamento em análise, a aplicação isolada das técnicas avaliadas indica viabilidade técnica apenas para o telhado verde. Tal desempenho está associado, sobretudo, à ampla área disponível para sua implantação, o que contribui para a redução significativa das espessuras necessárias da camada de drenagem. Em contrapartida, os reservatórios de lote e as trincheiras de infiltração, quando considerados de forma isolada, não se mostram tecnicamente viáveis. Isso se deve ao fato de que os critérios máximos adotados para a análise de viabilidade impõem limitações ao volume disponível para armazenamento nos lotes, resultando em valores inferiores aos requeridos para o atendimento simultâneo das funções de controle e tratamento do escoamento.

Apesar da inviabilidade observada para os reservatórios de lote e as trincheiras de infiltração em aplicações isoladas, sugere-se, como desdobramento desta pesquisa, a realização de estudos que considerem o dimensionamento integrado dessas técnicas. Nessa abordagem, os volumes de entrada nas equações de dimensionamento devem incorporar a redução proporcionada pelo volume previamente retido ou armazenado por dispositivos localizados a montante. Tal estratégia permitirá avaliar se a adoção combinada dessas técnicas pode resultar em um cenário globalmente viável do ponto de vista técnico.

No presente estudo, a análise de viabilidade restringiu-se ao aspecto técnico. Entretanto, em intervenções em nível de lote, a viabilidade econômica tende a ser um fator determinante para a implementação das soluções propostas. Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras ampliem essa análise, contemplando simultaneamente os aspectos técnico e econômico, por meio da avaliação de diferentes cenários de aplicação e de combinações entre técnicas de LID.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo principal realizar o pré-dimensionamento hidráulico de três técnicas LID aplicadas em escala de lote: telhados verdes, reservatórios de lote e trincheiras de infiltração, a serem implantadas em um loteamento localizado no município de Cariacica, Espírito Santo. Buscou-se, nesse contexto, avaliar a viabilidade técnica dessas soluções para o controle e o tratamento do escoamento de águas pluviais, com vistas à mitigação dos impactos decorrentes da urbanização sobre o ciclo hidrológico local.

De modo geral, os resultados obtidos indicam que as técnicas analisadas apresentam potencial para promover melhorias no comportamento hidrológico da área de estudo, sobretudo por meio da retenção e do amortecimento do escoamento superficial. Destaca-se, em particular, o desempenho dos telhados verdes, favorecido pela maior área disponível para sua implementação, o que amplia sua eficácia no controle de volumes e picos de vazão.

Embora os reservatórios de lote e as trincheiras de infiltração tenham apresentado limitações quanto à sua viabilidade nas condições analisadas, tais dispositivos ainda contribuem de forma relevante para a atenuação do escoamento superficial. Esse efeito, ainda que parcial, revela-se significativo, uma vez que a ausência dessas soluções implicaria aumentos expressivos tanto na vazão quanto no volume escoado durante eventos de precipitação. Dessa forma, conclui-se que a adoção das técnicas LID, mesmo diante de restrições pontuais, constitui uma estratégia promissora para o manejo sustentável das águas pluviais em áreas urbanizadas, contribuindo para a redução de impactos hidrológicos e para a promoção de um desenvolvimento urbano mais resiliente.

REFERÊNCIAS

- COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. (2016). “*Nature-bases solutions to address global societal challenges*”. Internation Union for Conservation of Nature. Suíça.
- FLETCHER, T. D.; SHUSTER, W.; HUNT, W. F.; ASHLEY, 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, pp. 1525 – 542.
- GILROY, K. L.; MCCUEN, R. H. (2009). “*Spatio-temporal Effects of Low Impact Development Practices*”. Journal of Hydrology, v. 367, p. 228 – 236, 2009.
- HUANG, Y.; TIAN, Z.; KE, Q.; LIU, J.; IRANNEZHAD, M. FAN, D.; HOU, M. SUN, L. (2020). “Nature-based solutions for urban pluvial flood risk management”. WIREs Water, v. 7, n. 3.
- KABISCH, N.; FRANTZESKAKI, N.; HANSEN, R. (2022). “Principles for urban nature-based solutions”. Ambio, v. 51, pp. 1388 – 1401.
- MISHRA, B. K.; EMAM, A. R.; MASAGO, Y.; KUMAR, P.; REGMI, R. K.; FUKUSHI, K. (2018). “Assessment of future flood inundations under climate and land use change scenarios in the Ciliwung River Basin, Jakarta”. Journal of Flood Risk Management, v.11, pp. 1105 – 1115.
- ZHOU, Q.; LENG, G.; SU, J.; REN, Y. (2019). “Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: importance of urban planning and drainage adaptation”. Science of the Total Environment, v. 658, pp. 24 – 33.