


Integração de sistemas LID-GREI na busca da resiliência da drenagem urbana: caso de estudo do Córrego Água das Flores, Bauru – SP

Integration of LID-GREI Systems for Urban Drainage Resilience: a case study of the Água das Flores catchment, Bauru – SP

• **Data de entrada:**
02/09/2024
• **Data de aprovação:**
28/01/2025

Maria Beatriz Hernandez de Barros Zanatta^{1*} | Rodrigo Braga Moruzzi¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2025.083>

Zanatta MBHB  <https://orcid.org/0009-0004-7970-4963>

Moruzzi RB  <https://orcid.org/0000-0002-1573-3747>

Resumo

A integração de técnicas de baixo impacto (Low Impact Development – LID) com a infraestrutura cinza instalada pode contribuir com as inundações em áreas urbanas. Este trabalho propõe simular a ação combinada de sistemas LID-GREI para avaliar a resiliência do sistema de drenagem urbana. Para tal, foram simulados cenários em uma bacia urbana reconhecidamente impactada por problemas de inundações. A resiliência do sistema foi quantificada por meio do índice Reso, que visa verificar a capacidade do sistema em absorver perturbações, retendo suas funções básicas. O Storm Water Management Model (SWMM) – modelo hidrológico-hidráulico – foi utilizado para simular cenários hidrológicos e hidráulicos de chuva intensa recorrente, projetando a implementação de trincheiras de infiltração, jardins de chuva e bacias de retenção, associados ao sistema de drenagem. Os resultados apontam para redução de 42% no volume escoado e um aumento de 98% na resiliência urbana, comparado ao cenário sem LID, com destaque à eficácia das intervenções propostas na mitigação de eventos hidrológicos recorrentes.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Enchentes. SWMM. Adaptabilidade.

Abstract

This study investigates the potential of integrating low impact development techniques with the existing grey infrastructure to enhance the resilience of urban drainage systems. A case study was carried out in the Água das Flores catchment, Bauru, Brazil, a region prone to flooding. To assess the effectiveness of this approach, various scenarios were simulated using the storm water management model, incorporating the implementation of infiltration trenches, rain gardens, and detention basins. The resilience of the drainage system was quantified using the resilience index, which evaluates the capacity of a system to absorb disturbances and maintain its essential functions. Results show a substantial reduction in runoff volume (42%) and a significant increase in urban resilience (98%) by integrating low impact development and grey infrastructure systems. These findings underscore the efficacy of these interventions in mitigating the impacts of recurrent hydrological events and improving the overall sustainability of urban environments.

Keywords: Urban Drainage. Floods. SWMM. Adaptability.

¹ Faculdade de Engenharia de Bauru – Bauru – São Paulo – Brasil.

* **Autor correspondente:** maria.hernandes@unesp.br

1 INTRODUÇÃO

A frequência de enchentes em áreas urbanas, causada por eventos de alta recorrência (baixo período de retorno), reflete a ocupação desordenada das bacias hidrográficas, que prescinde as variáveis hidrológicas no planejamento urbano, expondo inclusive as fragilidades dos sistemas para enfrentar fenômenos mais raros. Segundo Tucci (2008), as inundações em razão da urbanização ocorrem por conta do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento, pois aumentam os excedentes gerados pelo escoamento superficial direto.

A prática Low Impact Development (LID), em português Desenvolvimento de Baixo Impacto, é uma solução inovadora e traz benefícios sociais e ecológicos (Wang *et al.*, 2022). O princípio dessas técnicas é o controle do escoamento em microescala, por meio da retenção e detenção dos volumes excedentes. O propósito principal da ação de Técnicas LID, trazido por Islam, Hassini e El-Dakhakhni (2021) é aprimorar a gestão quantitativa e qualitativa das águas pluviais, amplificar os mecanismos hidrológicos naturais, ou seja, replicar as características naturais do fluxo hidrológico, semelhantes às condições existentes antes do desenvolvimento urbano (XIAN *et al.*, 2021).

Técnicas LID, como jardins de chuva, telhados verdes, biorretenção, valas de infiltração e pavimentos permeáveis, podem ser implementadas em diferentes escalas, tanto localmente quanto em toda a bacia hidrográfica, como indicado por Bibi *et al.* (2023) e por Shu *et al.* (2023) ao exporem que infraestruturas verdes urbanas têm sido empregadas como abordagens baseadas na natureza para enfrentar desafios de escoamento urbano. Essas técnicas permitem mitigar os impactos das áreas urbanas sobre o ciclo hidrológico a longo prazo, conforme exposto por United States Environmental Protection Agency (Rossman;

Simon, 2022), minimizando a sobrecarga sobre o sistema de drenagem convencional (GREI).

A combinação da versatilidade e sustentabilidade do LID com a confiabilidade e aceitação das infraestruturas convencionais de drenagem, conhecidas como infraestrutura cinza, surge como uma alternativa potencial para adaptar a hidrologia urbana, conforme destacado por Wang *et al.* (2022). Essa abordagem oferece um auxílio significativo no controle das águas pluviais em áreas urbanas, contribuindo para a gestão eficaz de enchentes e para a preservação dos recursos hídricos nas cidades.

A abordagem integrada é reforçada por Xian *et al.* (2021) ao dizer que a adoção de uma abordagem integrada, que combine diferentes métodos, representa uma estratégia mais eficaz para o gerenciamento de águas pluviais em áreas urbanas. Embora o LID seja uma ferramenta valiosa, ele não consegue substituir totalmente o sistema de drenagem urbana convencional.

Por outro lado, a resiliência urbana é definida como uma medida que quantifica a capacidade de um sistema absorver perturbações e ainda reter sua estrutura e função básicas. Ele reflete a capacidade do sistema de se recuperar de choques e tensões, mantendo suas características essenciais (Mugume *et al.*, 2015). Essa definição enfatiza a importância da resiliência no gerenciamento eficaz de recursos e sistemas hídricos diante de desafios como as enchentes urbanas.

Neste artigo, a integração das técnicas LID-GREI foi avaliada por meio da resiliência do sistema. Para tal, foram simulados dois cenários (atual e hipotético) no contexto de uma bacia urbanizada com reconhecido impacto causado por enchentes urbanas. As técnicas empregadas permitiram avaliar o efeito da combinação das técnicas no reestabelecimento das condições operacionais do sistema, medido por meio da capacidade de descarga dos excedentes gerados pela chuva de projeto.

2 METODOLOGIA

Foram simulados dois cenários utilizando o modelo hidrológico-hidráulico SWMM para avaliar a eficácia das estruturas LID-GREI, bem como seu impacto na promoção da resiliência urbana, sendo eles:

- Cenário Atual: trata-se do cenário controle e refere-se às condições existentes sem a implementação dos jardins de chuva, trincheiras de infiltração e bacias de retenção, com coeficiente de escoamento superficial elevado para a área completamente urbanizada, determinado a partir do uso do solo e ocupação atuais.
- Cenário Proposto (hipotético): inclui a implementação das técnicas LID-GREI, como jardins de chuva, trincheiras de infiltração e bacias de retenção. Além disso, prevê a redução do coe-

ficiente de escoamento e o aumento da taxa de infiltração, visando alcançar um índice de resiliência operacional entre 0,7 e 1,0 nos poços de visita da rede de drenagem da área de estudo, conforme critério de Mugume *et al.* (2015).

2.1 Caracterização da área de estudo

A cidade de Bauru (SP) está situada entre duas bacias hidrográficas, a Tietê/Jacaré e a Tietê/Batalha. Nesta pesquisa focou-se a atenção na Sub-Bacia do Rio Bauru, pertencente à Bacia Tietê/Jacaré (Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC, 2014), mais especificamente no leito do Córrego Água das Flores, um afluente do Rio Bauru.

A seção de estudo, demonstrada na Figura 1, abrange a Avenida Nações Unidas, construída sobre esse córrego canalizado. Essa área abrange aproximadamente 4,7 km² e uma extensão de 3 km.

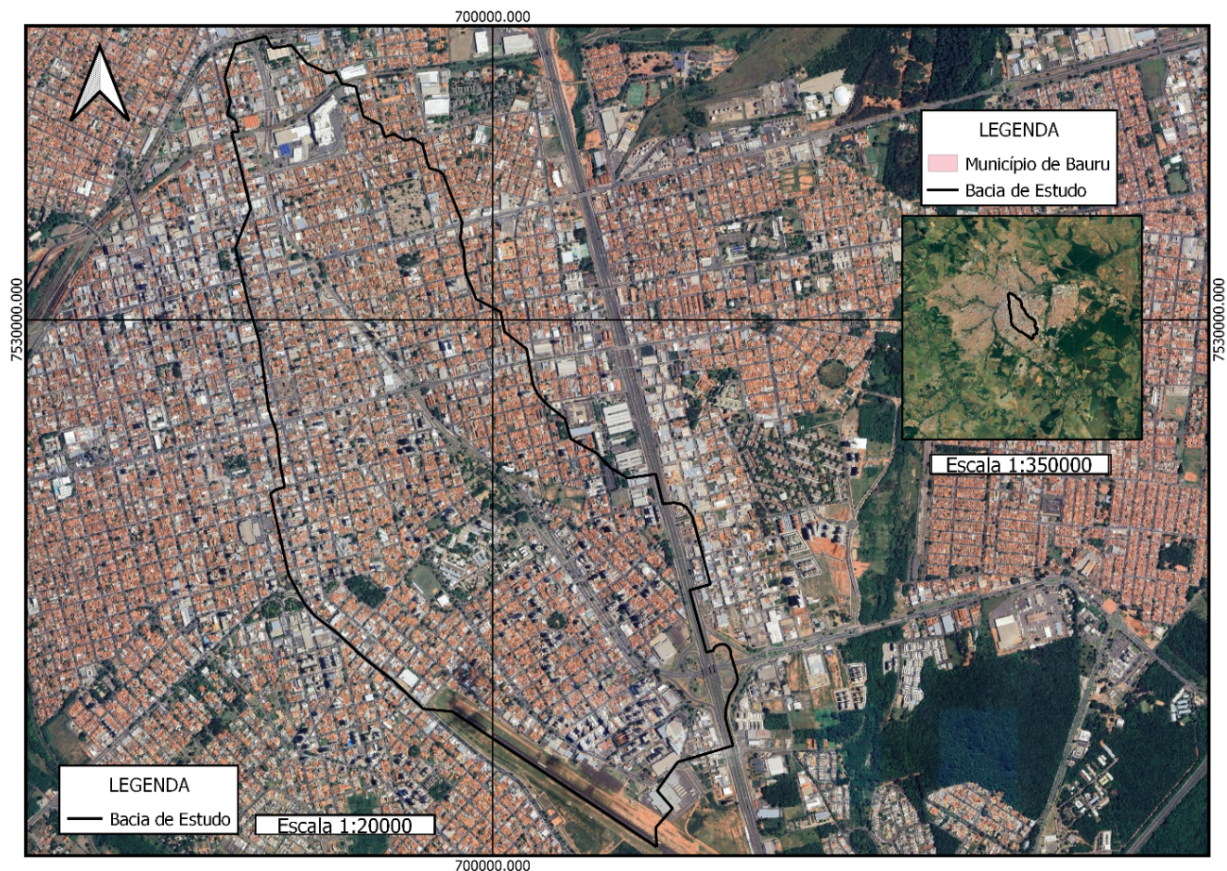


Figura 1 – Área de Estudo da Sub-bacia do Rio Bauru, Bauru (SP).

2.2 Parâmetros para análise do SWMM

A simulação no SWMM foi usada para avaliar os cenários hidrológicos e hidráulicos de chuvas intensas recorrentes, incorporando a implementação de práticas de LID para avaliar seu impacto na resiliência urbana do sistema de drenagem convencional.

Os dados de chuva utilizados na calibração e validação do volume precipitado e do tempo de simulação são provenientes da estação pluviométrica do Instituto de Pesquisa Meteorológicas (IPMet, 2024), localizada na cidade de Bauru, com dados do mês de fevereiro de 2024 de intensidade

de 48,3 mm/h para um evento de duração de 60 minutos. O período de retorno (TR) para esse evento foi de cinco anos, de acordo com dados do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 1999), compatível com as recomendações de projeto para galerias e ruas de áreas residenciais e comerciais.

Com base no uso do solo na bacia em estudo descrita por Lino (2018) e nos coeficientes estabelecidos previamente por Rio-Águas (2019), foi possível determinar o coeficiente de *runoff* médio para a bacia em estudo no valor de 0,64 exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficiente de *runoff* (C) determinado para a área de estudo.

Tipo de uso do solo	% do uso do solo na área da bacia	Tipo de área	C	C estimado
Vegetação	7,35%	Gramma, em solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,15	0,01
Urbano	79,27%	Áreas centrais	0,75	0,60
Solo exposto	13,23%	Solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,15	0,02
Outros	0,15%	Solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,15	0,01

Fonte: Adaptado de Lino (2018).

Para a propagação das descargas decorrentes do escoamento superficial direto na rede de drenagem, foi empregado o modelo de Onda Dinâmica, fundamentado nas equações de Saint Venant, conforme Equação 1 (Rossman, 2010).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + gAy \right) = gA(S_0 - S_f) \quad (1)$$

Em que:

Q é a vazão.

A é a área da seção transversal.

g é a aceleração devido à gravidade.

y é a profundidade do fluxo.

S_0 é a inclinação do canal (declive do fundo do canal).

S_f é a declividade da linha de energia do escoamento (*slope* de energia).

O modelo SWMM permite a simulação de cinco tipos específicos de dispositivos de baixo impacto: bacias de filtração, trincheiras de infiltração,

pavimentos permeáveis, cisternas e valas de infiltração sem drenos. Ao integrar dispositivos LID na bacia, é necessário ajustar as propriedades relacionadas ao percentual de áreas impermeáveis – haja vista o fato de que a inserção das estruturas mencionadas aumenta as áreas permeáveis da bacia. Assim sendo, é preciso informar qual a porcentagem de permeabilidade acrescida ao sistema de acordo com a metragem quadrada do LID escolhido.

Os critérios para o traçado das sub-bacias de contribuição foram estipulados conforme o levantamento da rede de drenagem existente, fornecido pela Prefeitura Municipal de Bauru (2015), resultando no esquema de rede cadastrado no software SWMM.

A composição do solo foi baseada na sondagem fornecida pela Prefeitura Municipal de Bauru (2015), a qual apresentou predominância de solo arenoso na área de estudo. Para o modelo de infiltração da água no solo, foi empregado o modelo de Horton.

Para o cenário hipotético foi considerado a implantação das soluções de baixo impacto (LID) com a implantação dos jardins de chuva com 1,50 metro de largura nos passeios públicos, e das trincheiras de infiltração nos canteiros centrais das vias de acesso, de acordo com suas dimensões de largura, comprimento, conforme espaço urbano disponível.

Na Tabela 2 apresentam-se os valores utilizados para o dimensionamento da estrutura dos jardins de chuva. Seguindo o padrão de dimensionamento de Rossman (2010) e do LID SWMM Planning and Design Guide Contributors (2022), o jardim de chuva é composto pelas camadas de superfície,

solo e armazenamento, com limitações de profundidade para cada componente. As seguintes camadas de armazenamento compuseram a estrutura, sua espessura e o material utilizado:

- Superfície – espessura de 125 a 400 mm.
- Preenchimento – composto por pedra britada com espessuras que varia de 50 a 100 mm.
- Armazenamento – sua profundidade é dimensionada de acordo com o uso da cobertura vegetal, neste caso optou-se pelos 600 mm – usados para suportar arbustos, gramíneas e plantas decorativas.

A porosidade adotada foi de 0,4 para o material de preenchimento de pedra angular britada de 25 ou 50 mm de diâmetro, recomendado pelo LID SWM Planning and Design Guide (2022). Para o solo, o índice de porosidade adotado foi de 0,4, de acordo com Rossman (2010) para solos arenosos. Na Figura 2 apresenta-se o esquema simplificado da estrutura LID simulada.

Tabela 2 – Parâmetros de entrada para jardins de chuva hipotético.

Superfície		Fonte
Altura da Camada (mm)	200	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Cobertura Vegetal (fração)	0,10	Rossman (2010)
Rugosidade Superficial (coef. de Manning)	0,20	
Declividade Superficial (%)	3,0	
Solo		
Altura da Camada (mm)	100	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Porosidade	0,4	
Armazenamento		
Altura da camada (mm)	600	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Porosidade	0,4	
Taxa de Filtração (mm/h)	35	Rossman (2010)



Figura 2 – Esquema de um jardim de chuva.

Os parâmetros de entrada utilizados para simular os cenários com técnicas compensatórias para as trincheiras de infiltração estão apresentados na Tabela 3, tendo como base um solo predominantemente arenoso.

De acordo com o LID SWM Planning and Design Guide (2022), para que não haja a necessidade de estruturas de contenção, a profundidade máxima das trincheiras deve ser limitada a 2 metros, o documento também orienta a distância de

1 metro entre o lençol freático e a estrutura LID. O índice de porosidade adotado foi de 0,4 para o material de preenchimento de pedra angular britada de 25 ou 50 mm de diâmetro, recomendado pelo guia de planejamento e design de LIDs.

O cálculo da altura de armazenamento foi feito de acordo com o The SUDS Manual (2015) *apud* LID- SWMM Planning and Design Guide (2022). Na Figura 3 representa-se o esquema da estrutura LID simulada.

Tabela 3 – Parâmetros de entrada para trincheira de infiltração hipotética.

Superfície		Fonte
Altura da Camada (mm)	100	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Cobertura Vegetal (fração)	0,10	Rossman (2010).
Rugosidade Superficial (nº de Manning)	0,20	Rossman (2010).
Declividade Superficial (%)	3,0	Rossman (2010).
Armazenamento		
Altura da camada (mm)	350	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Porosidade	0,4	LID SWM Planning and Design Guide (2022).
Taxa de Filtração (mm/h)	35	Rossman (2010).



Figura 3 – Esquema hipotético de uma trincheira de infiltração com as camadas que a compõe.

Com a implantação de 55 jardins de chuva e de 21 trincheiras de infiltração em toda a extensão da área de estudo, foi possível atingir um total de 200 mil m² de área – visto na Tabela 4 – entre as técnicas de trincheira de infiltração e jardim de chuva, a qual proporcionou o aumento da infiltração da água precipitada e de armazenamento no solo.

Em adição às técnicas de LID, foram simuladas bacias de retenção nos trechos que apresentaram maior vazão e volume captados pelo sistema de drenagem convencional. Ao todo foram implantados quatro reservatórios de retenção com as dimensões e volumes exemplificados na Tabela 5 e na Figura 4.

Tabela 4 – Dados de entrada das estruturas hipotéticas de LID no SWMM.

Infraestrutura LID	Área (m ²)	Armazenamento final (mm)
Trincheira de infiltração	31.79	6282
Jardim de chuva	168.13	20900

Tabela 5 – Características dos reservatórios de retenção hipotéticos simulados.

Reservatório	Área (m ²)	Profundidade (m)	Volume máximo (m ³)
R1	4900	2	2802
R2	5200	3	8808
R3	2450	3	5717
R4	2400	2	3317

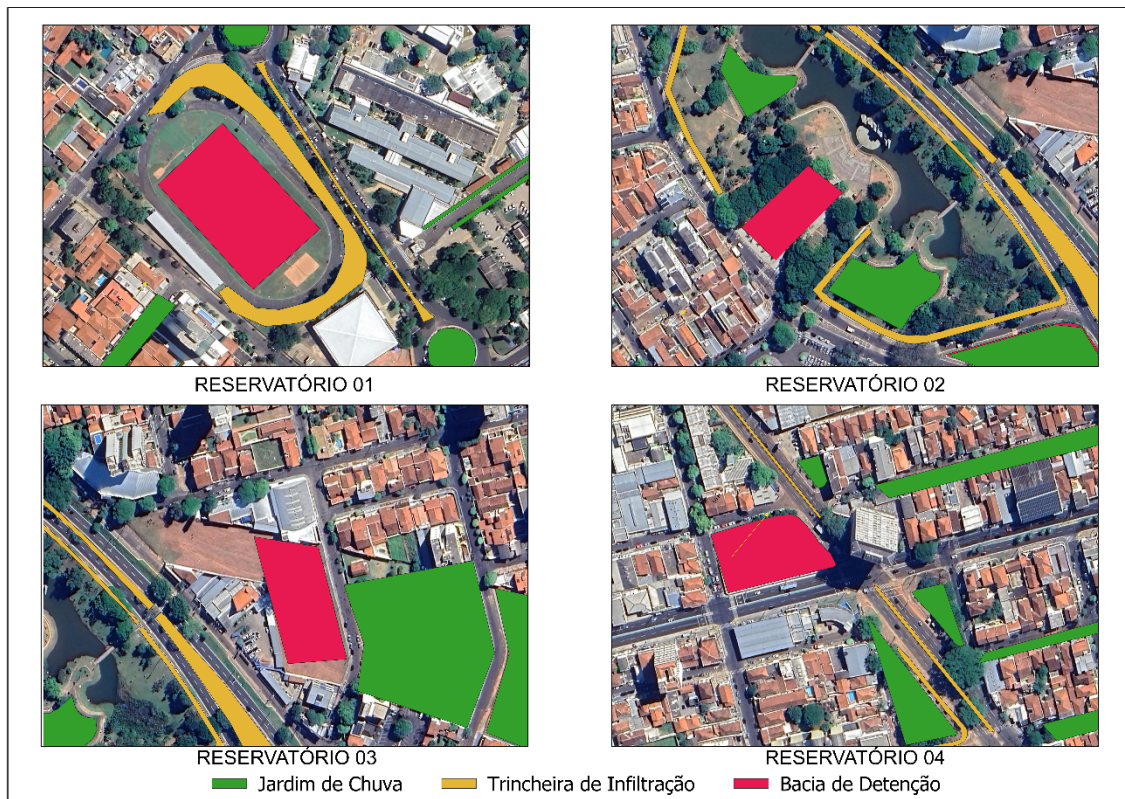


Figura 4 – Alocação dos reservatórios hipotéticos como parte das técnicas LID empregadas.

2.3 Parâmetros para o Índice de Resiliência

Para uma avaliação eficaz da resiliência urbana em sistemas de drenagem voltados ao manejo de inundações, utilizou-se o Índice de Reso, conforme Equação 2 proposta por Mugume *et al.* (2015). O Reso reflete a resiliência operacional de um sistema de drenagem urbana, e leva em conta tanto a capacidade de manutenção do serviço durante uma falha quanto a velocidade de recuperação após uma falha. O valor do Reso varia de 0 a 1, em que valores mais altos indicam maior resiliência, sendo que o valor de 0,7 representa uma resiliência mínima aceitável.

$$Reso = 1 - \left(\frac{VTF}{VTI} \times \frac{tf}{tn} \right) \quad (2)$$

Em que:

Reso: índice de resiliência operacional;
VTF: volume total de inundação no nó;
VTI: volume total de entrada no nó;
tf: duração média da inundação nodal;
tn: tempo total decorrido de simulação.

Nas Tabelas 6 e 7, apresentam-se os valores de entrada para os cálculos de Reso para os nós da rede de drenagem, com base no método de Mugume *et al.* (2005) e nos resultados de simulação usando o SWMM.

Tabela 6 – Dados de entrada nos nós do sistema de drenagem para o cenário atual.

	N9	N20	N24	N26	N31	N34	N35	N37	N40	N42	N46	N47
VTF	5,09	1,83	2,86	4,22	11,43	6,71	7,72	5,74	3,18	6,90	7,53	10,42
VTI	3,07	0,03	2,19	0,08	9,51	1,07	3,57	1,94	0,35	3,19	0,94	5,26
tf	0,5	0,01	0,28	0,26	0,71	0,38	0,61	0,67	0,33	0,67	0,42	0,56
tn	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 7 – Dados de entrada para o cenário hipotético LID-GREI.

	N9	N20	N24	N26	N31	N34	N35	N37	N40	N42	N46	N47
VTF	5,09	1,83	2,86	4,22	11,43	6,71	7,72	5,74	3,18	6,90	7,53	10,42
VTI	3,07	0,03	2,19	0,08	9,51	1,07	3,57	1,94	0,35	3,19	0,94	5,26
tf	0,69	0,74	0,60	0,35	0,74	0,59	0,68	0,73	0,70	0,71	0,55	0,73
tn	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em função do contexto que engloba as condições presentes na rede de drenagem, a topografia local e o uso do solo na bacia do Córrego Água das Flores, os resultados foram obtidos para cada segmento da

rede de drenagem – cadastrada conforme Figura 2 – após a simulação no modelo hidrológico-hidráulico SWMM e consolidados no balanço hídrico da Tabela 8, com informações obtidas pela simulação no modelo SWMM com o método dinâmico.

Tabela 8 – Balanço hídrico simplificado para o cenário atual.

	Altura (mm)
Precipitação total	48,3
Perdas por infiltração	0,2
Escoamento superficial	41,3
Armazenamento superficial final	11,1
Erro de continuidade	-7,9%

Para Rossman (2010), os erros de continuidade em simulações representam a diferença percentual entre a quantidade inicial de água armazenada somada ao fluxo de entrada e a quantidade final armazenada somada ao fluxo de saída. Para que os resultados da simulação sejam considerados aceitáveis, essa diferença pode chegar até 10%.

Nas análises realizadas, observou-se sobrecarga em diversos nós do sistema. Isso acontece quando

a água sobe acima da crista do conduto mais alto e o conduto excede sua capacidade. Dessa forma, nos trechos em que esse fenômeno ocorre, a rede trabalha sobrecarregada e há extravasamento de água nos tampões dos poços de visita.

A Tabela 9 consolida o volume inundado nos nós sobrecarregados, a duração da inundação em cada poço de visita e o índice de resiliência, para o cenário atual.

Tabela 9 – Dados consolidados do cenário atual.

Nó crítico	Volume inundado	Duração da inundação (h)	Índice Reso
N9	7,37	0,69	0,36
N20	13,63	0,74	1,00
N24	15,88	0,60	0,79
N26	4,39	0,35	0,98
N31	22,37	0,74	0,33
N34	8,74	0,59	0,84
N35	11,99	0,68	0,70
N37	12,43	0,73	0,50
N40	7,5	0,70	0,62
N42	10,76	0,71	0,63
N46	9,35	0,55	0,89
N47	15,46	0,73	0,55

É possível constatar que 29 dos 48 nós simulados sofreram inundação, ou seja, 48% dos trechos analisados. Somado a isso, aproximadamente 65% dos nós são resilientes de acordo com o Índice Reso adotado. Nesse sentido constata-se uma rede de drenagem sobrecarregada nos trechos acima elucidados.

Os dispositivos de drenagem não convencionais são projetados para fazer uso eficiente do espaço disponível, conforme relata Davis e Naumann (2017). Nesse sentido, para alocar as infraestruturas LID e projetar um novo cenário, foram considerados os trechos sobrecarregados da rede existente aliado à geometria espacial da bacia.

A integração das infraestruturas LID-GREI resultou no novo balanço hídrico da Tabela 10, simulado no método dinâmico.

Tabela 10 – Balanço hídrico simplificado para o cenário hipotético LID-GREI.

	Altura (mm)
Precipitação total	48,3
Perdas por infiltração	2,2
Escoamento superficial	23,9
Armazenamento superficial final	24,3
Erro de continuidade	-4,3%

Com -4,3% de erro, pode-se constatar que dos 48,3 mm de precipitação que caem sobre a área estudada,

24,3 mm foram armazenados na bacia e o restante se convertem em escoamento superficial direto. A diminuição do erro de continuidade demonstra a melhora na propagação de vazão na rede, bem como a diminuição do escoamento superficial.

Embora os resultados das simulações tenham apresentado alguns erros de continuidade, devido principalmente à ocorrência de sobrecarga em diversos nós, é importante destacar que foram adotadas medidas para minimizar esses impactos. A redução do passo de tempo de simulação, a calibração cuidadosa dos parâmetros hidráulicos e a verificação da representação da geometria da rede contribuíram significativamente para melhorar a precisão dos resultados. Após a implementação dessas medidas, os erros de continuidade foram reduzidos a níveis considerados aceitáveis, conforme a recomendação de Rossman (2010), e os resultados obtidos demonstraram consistência e confiabilidade.

Assim, os resultados obtidos no software SWMM, seguindo os parâmetros previamente conveniados, demonstrou-se favorável, conforme verificado na Tabela 11, que consolida o volume inundado nos nós sobrecarregados, a duração da inundação em cada poço de visita e o índice de resiliência para o cenário LID-GREI.

Tabela 11 – Dados consolidados para o cenário hipotético LID-GREI.

Nó crítico	Volume inundado	Duração da inundação (h)	Índice Reso
N9	3,07	0,50	0,70
N20	0,03	0,01	1,00
N24	2,19	0,28	0,79
N26	0,08	0,26	1,00
N31	9,51	0,71	0,41
N34	1,07	0,38	0,94
N35	3,57	0,61	0,72
N37	1,94	0,67	0,77
N40	0,35	0,33	0,96
N42	3,19	0,67	0,70
N46	0,94	0,42	0,95
N47	5,26	0,56	0,72

A resiliência operacional da rede – composta por 48 nós – aumentou em 11, dos quais 12 foram classificados como críticos com base no índice Reso, com uma melhora positiva na duração da inundação, de acordo com as comparações da Figura 5.

Aproximadamente 92% dos nós inundados são resilientes de acordo com o Índice Reso adotado, considerando um tempo de retorno de cinco anos

e uma intensidade de precipitação de 48,3 mm/h para uma chuva de 60 minutos. Somado a isso, a duração da inundação foi reduzida em todos os nós, proporcionando uma melhora significativa na resposta da rede às inundações simuladas. Assim sendo, soluções adotadas para o sistema de drenagem existente possibilitam um aumento considerável de resiliência na infraestrutura e fica claro o avanço operacional dos trechos simulados.

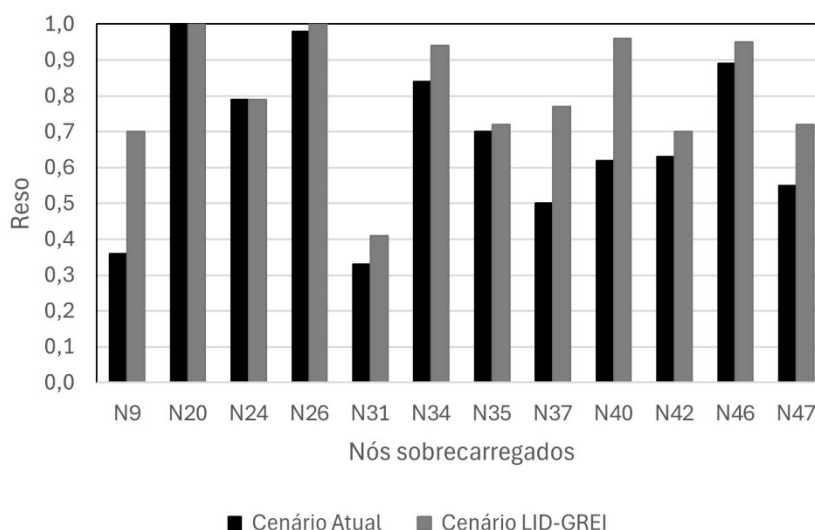


Figura 5 – Comparação de resiliência para diferentes cenários com base nos nós críticos do sistema de drenagem. Linha vermelha indica o limite da resiliência operacional aceitável (>0,70).

4 CONCLUSÃO

Este artigo buscou avaliar o efeito da integração LID-GREI na resiliência de uma bacia hidrográfica com reconhecidos problemas de enchentes. Para isso, foi estudada na bacia do Córrego Águas das Flores na cidade de Bauru, onde foram simulados dois cenários, com chuva recorrente em evento registrado, um referente a situação atual da rede de drenagem urbana e outro projetando a implantação de soluções hipotéticas de LID, associadas ao sistema de drenagem convencional existente. Para tal, utilizou-se de jardins de chuva nos passeios públicos, parques e áreas permeáveis e trincheiras de infiltração nos

canteiros centrais das avenidas. Foram implementados, também, reservatórios de detenção hipotéticos.

Ao comparar os dois cenários, ficou evidenciado que a integração LID-GREI resultou em redução global de 42% do volume escoado na bacia e um armazenamento superficial praticamente triplicado, considerando o evento crítico simulado. Em relação à resiliência urbana, 47 dos 48 nós do sistema, após a comparação dos resultados do cenário atual e do cenário LID-GREI, foram obtidos índices de resiliência operacional aceitável (>0,70). Portanto, a integração dos dois conceitos pode construir sistemas mais resilientes.

Assim, os resultados obtidos nesta pesquisa demonstram que a implementação de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), associadas a estruturas convencionais (GREI) em áreas urbanas consolidadas, aumentaram a infiltração das águas pluviais, mediante a criação de paisagens que integram o espaço urbano em razão da modulação da estrutura de acordo com o espaço urbano disponível.

Ainda, é razoável extrapolar que a integração do manejo de águas urbanas com as infraestruturas LID-GREI pode ser usada em favor de projetos arquitetônicos e em benefício das cidades de forma recreativa paisagística, trazendo oportunidade para os moradores e para o meio ambiente.

Por fim, ressalta-se que o cenário hipotético apresentado buscou avaliar o potencial do uso do índice de resiliência na quantificação do impacto hidrológico da associação de técnicas LID-GREI. Para tal, foram consideradas hipóteses simplificadoras, restritas à condição hipotética investigada, sendo que a implementação ou a generalização de qualquer alternativa deve ser precedida de detalhamento e de rigorosa análise frente as particularidades locais e as interações complexas entre os diversos componentes do sistema urbano.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Zanatta MBHB, Moruzzi RB;
Metodologia: Zanatta MBHB, Moruzzi RB;
Investigação: Zanatta MBHB; **Redação - Primeira versão:** Zanatta MBHB; **Redação - Revisão & Edição:** Zanatta MBHB; **Aquisição de Financiamento:** Zanatta MBHB; **Recursos:** Zanatta MBHB

6 AGRADECIMENTOS

Rodrigo Moruzzi agradece ao CNPq pela bolsa de Pesquisa Produtividade 309788/2021-8.

7 REFERÊNCIAS

- BIBI, T. S. *et al.* Application of PCSWMM for assessing the impacts of urbanization and climate changes on the efficiency of stormwater drainage systems in managing urban flooding in Robe town, Ethiopia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S. l.], v. 45, e101291, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101291>
- DAVIS, M.; NAUMANN, S. Making the Case for Sustainable Urban Drainage Systems as a Nature-Based Solution to Urban Flooding. In: LOORBACH, D. et al. (eds.) **Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions**. Berlin: Springer, 2017. p. 123-137.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Euações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, 1999. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%203/DAEE_Eq_Chuvas_SP.pdf. Acesso em: 5 fev. 2024.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC. **Mapa das Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo: IGC, 2014. 1 mapa. Escala 1:1.000.000. Disponível em: <http://www.igc.sp.gov.br/produtos/ugrhi.html>. Acesso em: 21 jun. 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS – IPMET. **Balancos Mensais da Precipitação e Temperatura em Bauru**. Bauru: IPMet, 2024. Disponível em: <https://www.ipmetradar.com.br/2relatosMensais.php>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- ISLAM, A; HASSINI, S; EL-DAKHAKHNI, W. A systematic bibliometric review of optimization and resilience within low impact development stormwater management practices. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 599, e1264572021, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126457>
- LID SWM PLANNING AND DESIGN GUIDE CONTRIBUTORS. Bioswales LID SWM Planning and Design Guide. **Sustainable Technologies Evaluation Program**, 2022. Disponível em: https://wiki.sustainabletechnologies.ca/wiki/Infiltration_trenches. Acesso em: 13 ago. 2024.
- LINO, J. F. L. **Metodologia baseada nas relações intensidade-duração-frequência para retroanálise e monitoramento em tempo real de chuvas intensas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização à Distância em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos) – Instituto Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- MUGUME, S. N. *et al.* A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. **Water Research**, Amsterdam, v. 81, p. 15-26, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.030>

PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU. Secretaria de Planejamento e Obras. **Projeto básico da macrodrenagem do córrego Água das Flores**. Bauru: Prefeitura Municipal de Bauru, 2015.

RIO-ÁGUAS. Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**. 2ª Versão. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2019.

ROSSMAN, L. A. **Storm water management model user's manual**: Version 5.0. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 2010.

ROSSMAN, L. A.; SIMON, M. A. **Storm water management model user's manual**: Version 5.2. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency, 2022. Disponível em: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2024.

SHU, X. *et al.* Improving runoff quality in vertical greenery systems: substrate type outweighed the effect of plant growth promoting microbes. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 904, p. 166718, 2023. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166718>

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

WANG, J. *et al.* The improved analytical stochastic model of infiltration trenches for stormwater quantity control. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 903, e166527, 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166527>

XIAN, B. C. C. *et al.* Evaluation of low impact development and best management practices on peak flow reduction using SWMM. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, [S. l.], v. 646, n. 1, p. 1-10, 2021. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/646/1/012045>