

Implantação de microrreservatórios de lotes como proposta para diminuir a lâmina de água nas galerias e o pico de vazão no sistema de microdrenagem de um novo loteamento

Implementation of parcels of land micro-reservoirs as a strategy to reduce water volume in galleries and peak flows in the micro-drainage system of a new subdivision

Mariane Kempka¹, Rodrigo Scoczynski Ribeiro¹, Rúbia Mara Bosse¹, Marcella Scoczynski Ribeiro Martins², Monica Rodrigues Brisolla Rubio³

¹Professor do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

E-mail: marianekempka@utfpr.edu.br; rodrigossribeiro@utfpr.edu.br; rubiambosse@utfpr.edu.br

²Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. E-mail: marcella@utfpr.edu.br.

³Engenheira da Secretaria Municipal de Habitação Urbana de Guarapuava, Ceplug. E-mail: ceplugsmbhu@gmail.com

RESUMO: A urbanização tem gerado impactos ambientais significativos sobre os ciclos naturais, com destaque para o ciclo hidrológico. A impermeabilização do solo aumenta o escoamento superficial, o que contribui para a maior frequência e intensidade das enchentes urbanas. Esse fenômeno evidencia a crescente vulnerabilidade das cidades frente aos eventos climáticos extremos, exacerbados pelas mudanças climáticas. O padrão de precipitação vem mudando devido a alterações no clima, exigindo ajustes nas curvas IDF, essenciais para o planejamento de adaptações climáticas. Em muitos casos, os sistemas de drenagem existentes não são suficientes para lidar com os impactos da urbanização e com eventos de chuvas intensas. Nesse cenário, a adoção de técnicas que controlam as vazões distribuídas ao longo do tempo e seus picos pode ser crucial para o controle de enchentes, especialmente em áreas urbanizadas. As técnicas de infraestrutura verde, como as práticas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (LID), têm mostrado ser eficientes na mitigação de enchentes urbanas. Entre as medidas, destacam-se as de infiltração, como telhados verdes e pavimentos permeáveis, e as de armazenamento, como bacias de retenção, detenção e microrreservatórios (RB). Este estudo analisa o impacto da implementação de RB na microdrenagem de um novo loteamento no interior do Paraná. As simulações, realizadas para tempo de retorno de 1, 5 e 10 anos, indicaram possíveis falhas no sistema de drenagem. Para evitar o alagamento, propôs-se a inclusão estratégica de RB para mitigar picos de vazão nas galerias, prevenindo o transbordamento e a sobrecarga do sistema, reduzindo o pico de vazão em até 47%.

Palavras-chave: Microrreservatórios; Lotes Urbanos; Drenagem Urbana.

ABSTRACT: Urbanization has caused significant environmental impacts on natural cycles, particularly the hydrological cycle. Soil impermeabilization increases surface runoff, contributing to the higher frequency and intensity of urban flooding. This phenomenon underscores the growing vulnerability of cities to extreme events, which are further exacerbated by climate change. Precipitation patterns have been shifting due to climate alterations, necessitating adaptations to IDF curves, which are critical for planning climate adaptation strategies. In many cases, existing drainage systems are insufficient to handle the impacts of urbanization and intense rainfall events. In this context, the adoption of techniques that control flow distribution over time and mitigate peak flows may be crucial for flood control, especially in urbanized areas. Green infrastructure techniques, such as Low Impact Development (LID) practices, have proven effective in mitigating urban flooding. Among these measures, infiltration techniques such as green roofs and permeable pavements, as well as storage techniques such as retention basins, detention basins and rain barrels (RB), stand out. This study examines the impact of implementing RB in the microdrainage system of a new subdivision in the interior of Paraná. The simulations were conducted for return time of 1, 5, and 10 years, indicating potential failures in the drainage system. To prevent flooding, the strategic inclusion of RB was proposed to mitigate peak flows in the drainage galleries, preventing overflow and system overload, and reducing peak flow by up to 47%.

Keywords: Rain Barrel; Parcels of Land; Urban Drainage.

INTRODUÇÃO

Na era das Mudanças Climáticas, as cidades estão se tornando cada vez mais vulneráveis aos eventos climáticos extremos. Suresh; Pekkat; Subbiah (2023) ponderam que, nos últimos dez anos, as enchentes urbanas têm se tornado mais frequentes e devastadoras. Moustakis *et al.* (2021), Zhai *et al.* (2020), Wang *et al.* (2023) e Chan; Zhang (2019) destacam que as mudanças climáticas alteram a frequência e a intensidade da precipitação e, portanto, as curvas IDF (intensidade – duração - frequência) precisam ser adaptadas.

Silva (2022) explica que a estimativa atual de precipitação intensa é determinada com base em um risco associado, utilizando um tempo de retorno, sendo o risco aceitável aquele calculado em termos de intensidade da precipitação (curvas IDF-presente). Se essa intensidade aumentar, as obras hidráulicas dimensionadas podem apresentar mais falhas do que as inicialmente aceitáveis, causando prejuízos à população. Ainda, é justificável considerar novos ajustes nas curvas IDF como uma abordagem eficaz para orientar o planejamento da drenagem urbana.

Os sistemas de drenagem instalados nas cidades, projetados com base em curvas IDF - presente, revelam-se subdimensionados para absorver os impactos da urbanização, impermeabilização do solo e eventos extremos de chuva observados recentemente. Para aumentar a capacidade e/ou eficiência da drenagem, tanto nos centros urbanos existentes quanto em novos empreendimentos, torna-se essencial adotar novas técnicas e abordagens capazes de reduzir o escoamento superficial e mitigar seu impacto. Tanto é que, após as intensas chuvas que ocorreram em maio de 2024 no RS, o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) emitiu uma nota técnica com critérios hidrológicos para adaptação às mudanças climáticas, os quais envolvem fatores de aumento da magnitude da precipitação e da vazão máxima, essencialmente à região sul do Brasil (Paiva *et al.* 2024). É nesta perspectiva que as denominadas infraestruturas verdes têm ganhado destaque, muito devido à efetividade das técnicas para mitigar as enchentes urbanas. Essas técnicas são conhecidas, também, por LID sigla do inglês *Low Impact Development* (Desenvolvimento de Baixo Impacto). O objetivo principal destas técnicas é retardar o escoamento, diminuindo as vazões de pico, podendo ser divididas em medidas de infiltração e medidas de armazenamento.

No escopo das medidas de infiltração, pode-se destacar: telhados verdes, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, dentre outros. Yang *et al.* (2022) estudaram, na China, as técnicas de telhados verdes, pavimentos permeáveis e bio-retenção e destacaram, em seus resultados, que o pico de vazão diminuiu entre 39% e 60%. Ekmekcioglu *et al.* (2021), na Turquia, utilizando as mesmas técnicas, perceberam uma redução de 56% no escoamento superficial. No Brasil, Gonçalves *et al.* (2018) identificaram que as trincheiras de infiltração, ocupando 5% e 10% da área de bacias com inundações, podem reduzir até 39,7% e 55,9% do volume de inundação, respectivamente.

As medidas de armazenamento são dispositivos para reservação de parte do volume de chuva, liberando-o de forma controlada, dessa forma diminuindo o pico das enchentes. Assim, são classificados como medidas de armazenamento as bacias de retenção e detenção e os RB. Saadatpour *et al.* (2020) apontaram uma redução de 33% no escoamento superficial com a técnica de reservatório de detenção. Essa mesma magnitude de amortecimento foi

obtida por Suresh; Pekkatt; Subbiah (2023), os quais apontaram uma redução entre 37% e 44% no pico do escoamento.

Por outro lado, Suresh; Pekkatt; Subbiah (2023) enfatizam que existe diferença na eficiência das diferentes LID's para diferentes regiões e características das áreas estudadas. Lopes; Lima Júnior; Matos (2023) complementam que a decisão para a escolha do melhor equipamento para o controle da drenagem deve considerar diversos fatores, tais como: econômico, social, ambiental e técnico, comparando vantagens e desvantagens de cada sistema proposto e não apenas tomando a decisão em função de um único objetivo.

Ben-Daoud *et al.* (2022) acrescentam que as limitações mais comuns da generalização de LID nas áreas de estudo devem ser abordadas. Mas, que, em primeiro lugar, há de ser considerada a questão da falta de locais apropriados para a instalação, devido à complexa infraestrutura existente em algumas áreas urbanas. Além disso, há uma falta de conhecimento sobre a tecnologia LID entre gestores e residentes. Por fim, outra limitação é a causada pelo custo de implementação das LID, que requer vontade por parte dos formuladores de políticas públicas.

Assim, essas soluções requerem uma coordenação cuidadosa e planejamento espacial para garantir que os benefícios, como a redução do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água, sejam totalmente realizados. O layout espacial dessas infraestruturas precisa ser otimizado para garantir que as áreas urbanas possam lidar de maneira mais eficiente com eventos de precipitação intensa ao mesmo tempo em que proporcionam benefícios adicionais, como a criação de espaços verdes e a melhoria da resiliência climática das cidades. A falta de uma abordagem integrada e otimizada pode resultar em uma subutilização dessas infraestruturas, além de uma oportunidade perdida para maximizar seus benefícios ambientais e sociais.

Sob essa ótica, este estudo, derivado de uma pesquisa mais abrangente, tem como objetivo a avaliação do impacto da instalação dos RB na microdrenagem de um loteamento em desenvolvimento em um município do interior do estado do Paraná. Essa delimitação se deu em resposta às simulações que indicaram que as galerias de águas pluviais projetadas podem estar subdimensionadas para lidar com a porcentagem de impermeabilização máxima indicada no zoneamento do município.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

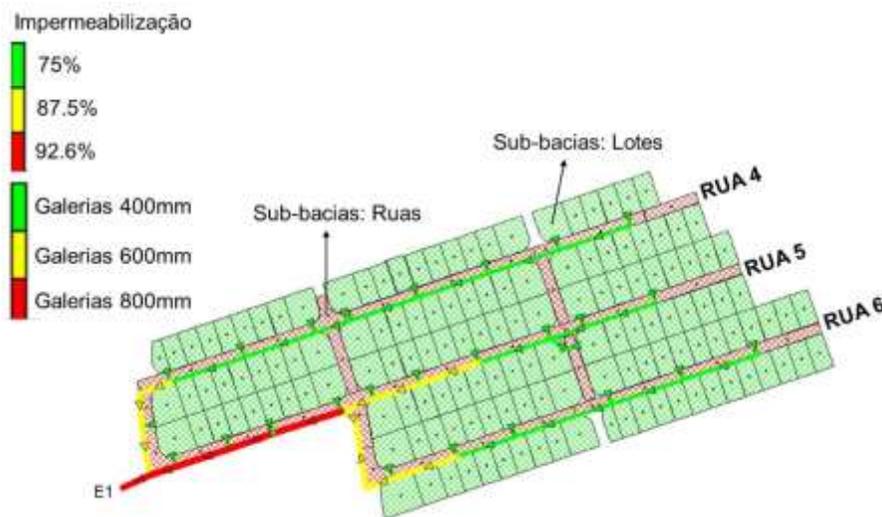
O loteamento objeto de estudo está localizado em um município no interior do estado do Paraná e conta com 216 lotes distribuídos em uma área total de 10 hectares. O sistema de drenagem foi dividido em três bacias, E1, E2 e E3. O exutório E1 fica a noroeste do loteamento e drena cerca de 55% da área. O exutório E2 drena aproximadamente 36,2% e o exutório E3 drena 8,9%. Conforme **Figura 1**, todas as saídas são livres e com dissipador de energia. Ainda, cabe ressaltar que as declividades da área variam entre 1% e 12,8%.

Figura 1. Áreas contribuintes para os exutórios



A bacia objeto de estudo deste trabalho, cujo exutório é E1, compreende 148 lotes, sendo 24 com 295,50m² e os 124 restantes com 225,5m². A microdrenagem contém 64 poços de visita e 57 galerias com diâmetro entre 400 mm e 800 mm, conforme **Figura 2**.

Figura 2. Galerias de drenagem e sub-bacias



No que concerne ao zoneamento estabelecido no plano diretor municipal, o loteamento está inserido na Zona de Expansão Urbana, cuja taxa de ocupação máxima varia entre 50% e 67%, com taxa mínima de permeabilidade no solo variando entre 12,5% e 25%. Portanto, as simulações foram realizadas com os valores 75% e 87,5%. No item “resultados e discussões” são apresentados os resultados considerando 75% de impermeabilização nos lotes.

ASPECTOS HIDROLÓGICOS

Optou-se pelo modelo de infiltração Curva-Número do *Soil Conservation Service*, utilizando o parâmetro *Curve Number* (CN). O solo na área do loteamento foi categorizado como Latossolo Bruno Distrófico, apresentando textura argilosa ou muito argilosa, conforme informações do IBGE (2022). Nesse contexto, adotou-se a classe hidrológica dos solos B, conforme preconizado por Sartori; Lombardi Neto; Genovez (2005) para condições brasileiras. As bacias foram divididas em dois grupos, as sub-bacias “lotes” com fração impermeabilizada (CN 85) em 75% e as sub-bacia “ruas” (CN 98). As sub-bacias “Ruas” contemplam, conforme projeto, 7,60 m de largura do leito carroçável ($n = 0,011$), 0,80 m de largura de faixa gramada ($n = 0,15$) e 3 m de largura do passeio ($n = 0,013$), resultando em 92,6% de área impermeável (n resultante = 0,0116).

O modelo do SCS incorpora o tempo de secagem, que representa o número de dias que um solo totalmente saturado leva para secar. Foi considerado um valor médio de 7 dias, uma vez que esse intervalo se encontra dentro da faixa típica de 2 a 14 dias. Quanto aos parâmetros de profundidade de armazenamento na área permeável (S_{Perv}) adotou-se 2,54 mm e na área impermeável (S_{imperv}) 1,27 mm, conforme sugerido pelo manual do SWMM. No que concerne à precipitação de projeto, utilizou-se tempos de retorno 1, 5, e 10 anos, com os dados de precipitação obtidos a partir da curva IDF (intensidade, duração e frequência), equação 1 (GUARAPUAVA, 2023). Na **Tabela 1** são apresentadas a intensidade de chuva, a duração e a altura de precipitação. Destaca-se que foi utilizado o método dos Blocos Alternados para a desagregação dos totais de chuva em intervalos de tempo de 5 minutos, minimizando os erros de continuidade de fluxo, conforme o Manual do *Software*.

$$i = \frac{1039,68 \cdot TR^{0,171}}{(td+10)^{0,799}} \quad (1)$$

Onde:

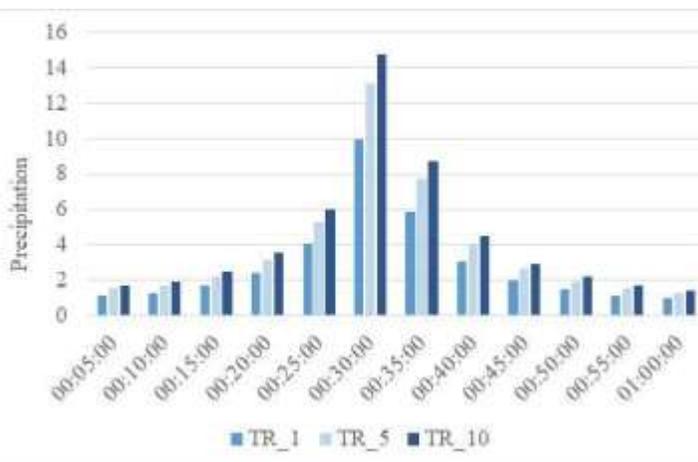
TR é o tempo de retorno,

td é o tempo de duração da chuva (60 minutos);

i é a intensidade (mm/h).

Tabela 1. Desagregação da chuva pelo método dos Blocos Alternados utilizando como a duração do evento 60 minutos, tempo de retorno de 1, 5 e 10 anos

Time	TR_1	TR_5	TR_10
00:05:00	1.2	1.5	1.7
00:10:00	1.3	1.7	1.9
00:15:00	1.7	2.2	2.5
00:20:00	2.4	3.2	3.6
00:25:00	4.0	5.3	6.0
00:30:00	10.0	13.1	14.8
00:35:00	5.9	7.7	8.7
00:40:00	3.0	4.0	4.5
00:45:00	2.0	2.6	2.9
00:50:00	1.5	1.9	2.2
00:55:00	1.2	1.5	1.7
01:00:00	1.0	1.3	1.4



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando uma taxa de impermeabilização de 75% nos lotes, verificou-se que algumas das galerias operam em sobrecarga, especialmente aquelas mais a montante. Isso ocorre, possivelmente, devido à pequena inclinação das galerias e ao diâmetro, já que as galerias mais a jusante, com maior declividade e diâmetro, operam, em sua maioria, com uma capacidade (h/D) menor que 0,7. Pode ser conferido, na **Figura 3**, os nós com sobrecarga e alagamento: a) 6 nós foram alagados na Rua 6: P3 (0,060 m³), P4 (0,25 m³), P5 (0,25 m³), P6 (0,42 m³), P7 (0,32 m³) e P9 (0,04 m³), com tempo de retorno de 10 anos; para o tempo de retorno de 5 anos, b), apenas os nós P6 e P7 alagam, 0,08 m³ e 0,08 m³, respectivamente. Na condição de TR = 1 ano, c), não há alagamento, embora os condutos G6 e G7 operem em carga.

No que diz respeito às galerias da Rua 4, são identificados alagamento e sobrecarga apenas na condição de TR = 10 anos. O nó P42 extravasa 0,08 m³, P44 0,04 m³ e P46 0,08 m³. Na **Figura 4** são mostradas as profundidades de água nos nós P42, P44, P46 e P48, adotando os três tempos de retorno. A linha horizontal (*Depth*), assinalada em 1 m, à exceção de P42 (1,075 m), é a profundidade da cota do radier dos respectivos nós.

Figura 3. a) tempo de retorno igual a 10 anos; b) tempo de retorno igual a 5 anos; c) tempo de retorno igual a 1 ano

a) TR₁₀



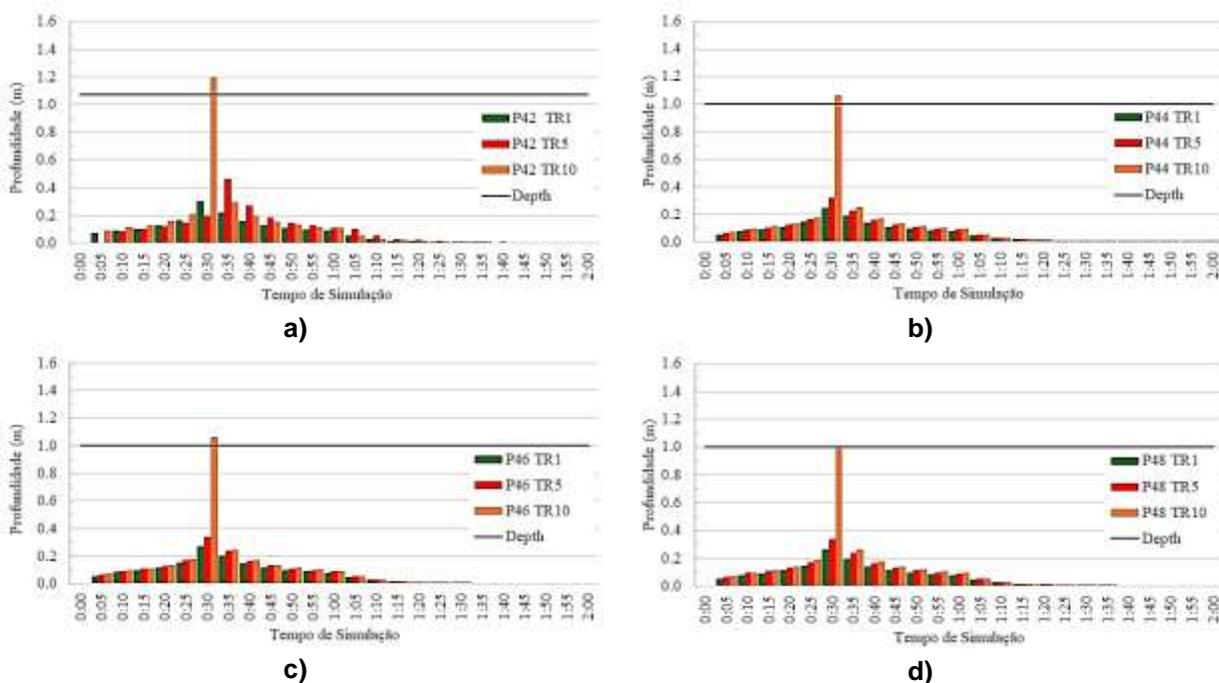
b) TR₅



c) TR₁



Figura 4. Profundidade de água nos nós a) P42; b) P6; c) P7 e d) P9, considerando TR1, TR5 e TR10



As **Figuras 5. 6 e 7** mostram o perfil hidráulico das canalizações, onde é possível verificar que as canalizações funcionam em carga. Nas figuras 5 e 6, para tempos de retorno de 10 e 5 anos, respectivamente, pode-se visualizar que, além da sobre carga, ocorrem alagamentos já que a linha da carga piezométrica cruza o nível do terreno. Na figura 7, as canalizações operam em carga, mas não há o extravasamento os PVs.

Figura 5. Nós alagados e galerias que operaram com sobrecarga com TR igual a 10 anos

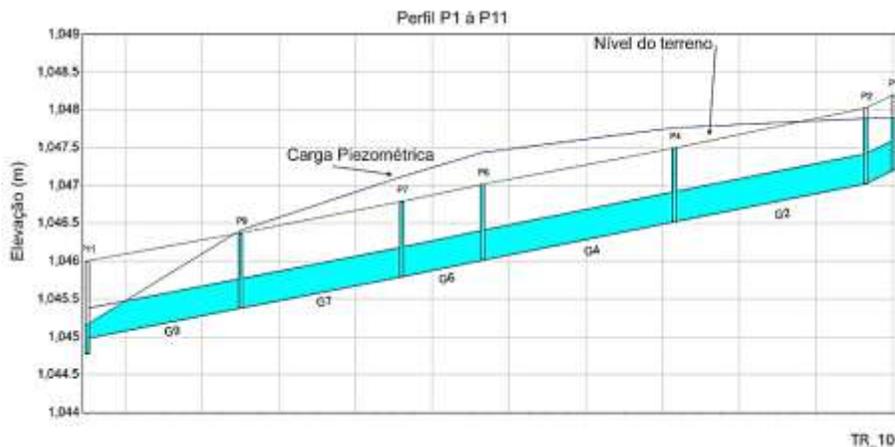


Figura 6. Nós alagados e galerias que operaram com sobrecarga com TR de a 5 anos

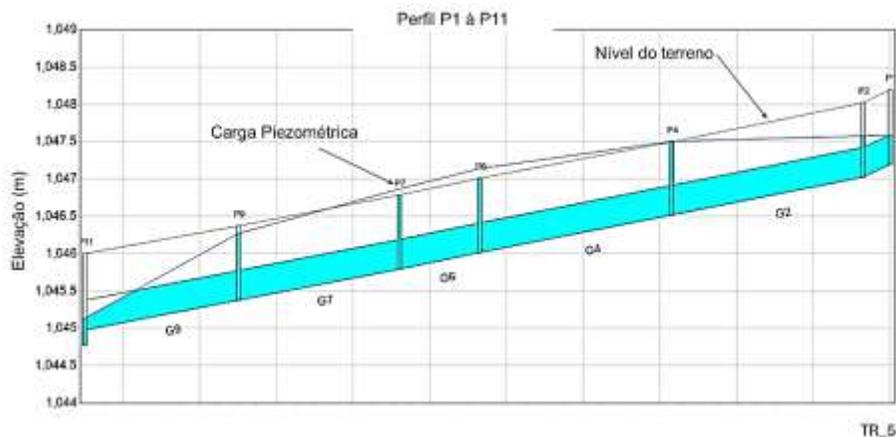
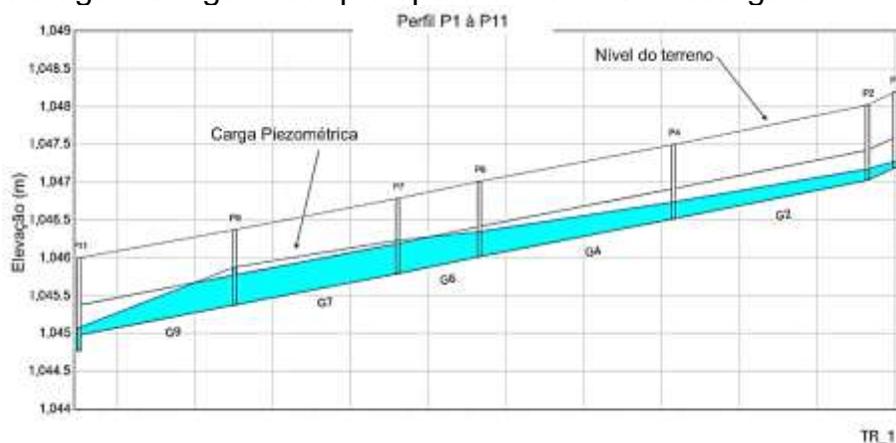


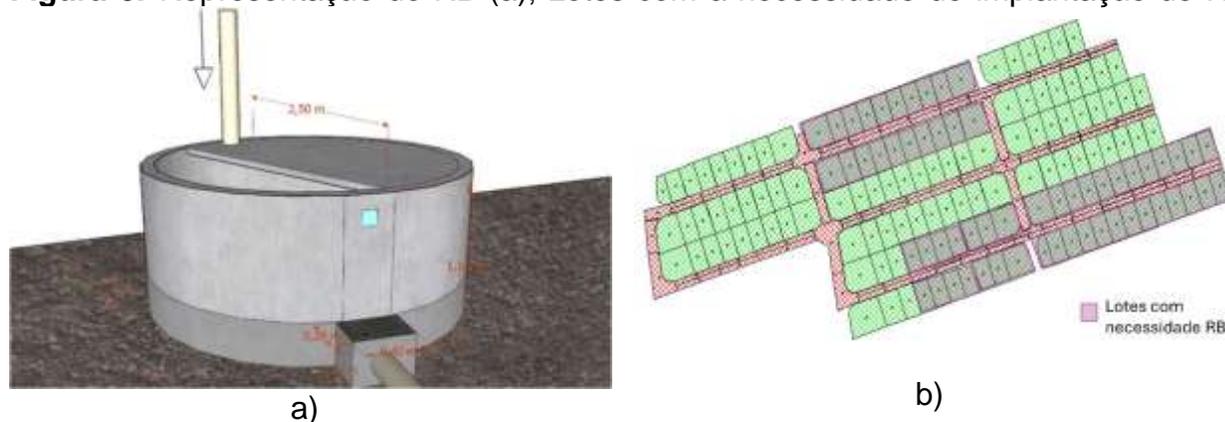
Figura 7. Nós alagados e galerias que operaram com sobrecarga com TR de a 5 anos



Noh *et al.* (2015) estudaram o desempenho de uma rede de RB compartilhada em condições de alterações climáticas e identificaram que a implantação dos RB melhora, em termos de confiabilidade, entre 7,3% e 10,5%, e, em termos de vulnerabilidade, entre 36,7% e 46,4%. Por outro lado, os mesmos autores identificaram que o compartilhamento, dentre outros aspectos, é afetado negativamente.

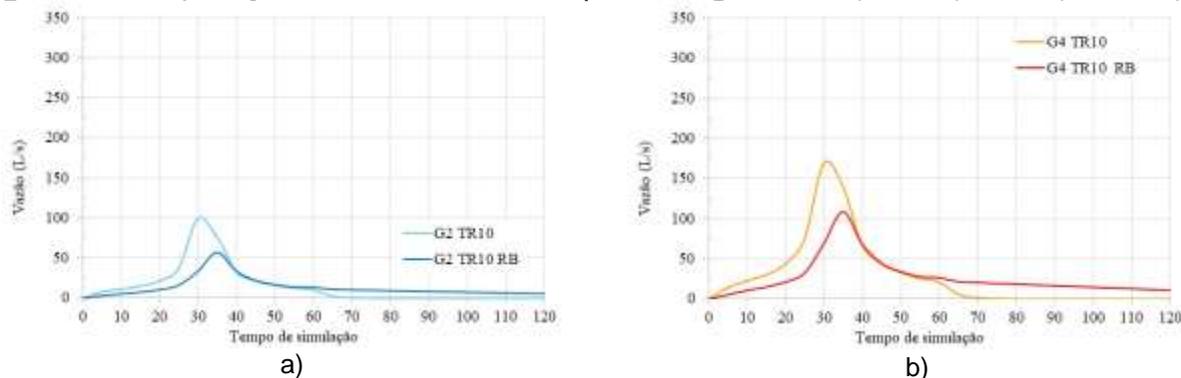
Considerando as conclusões dos autores, optou-se por implantar RB em lotes pré-definidos, **Figura 8**, como uma medida para reduzir os riscos de alagamento e sobrecarga nas galerias durante picos de vazão. Simulou-se um reservatório hipotético, com formato cilíndrico, com 2,5 m de diâmetro, ocupando cerca de 5% da área total do terreno, com profundidade total de 1,10 m. O reservatório é composto por um orifício circular, com 2,5 cm de diâmetro e coeficiente de descarga 0,65, instalado a 5 cm do fundo, com vista a controlar a vazão drenada para as galerias, e um vertedor retangular com 10 cm de altura e 10 cm de soleira, instalado a 1 m do fundo do reservatório, a ser utilizado em caso de extravasamento do reservatório. Tanto o orifício quanto o vertedor são projetados para direcionar o fluxo de água para uma canalização que leva a um ponto de saída na altura da sarjeta.

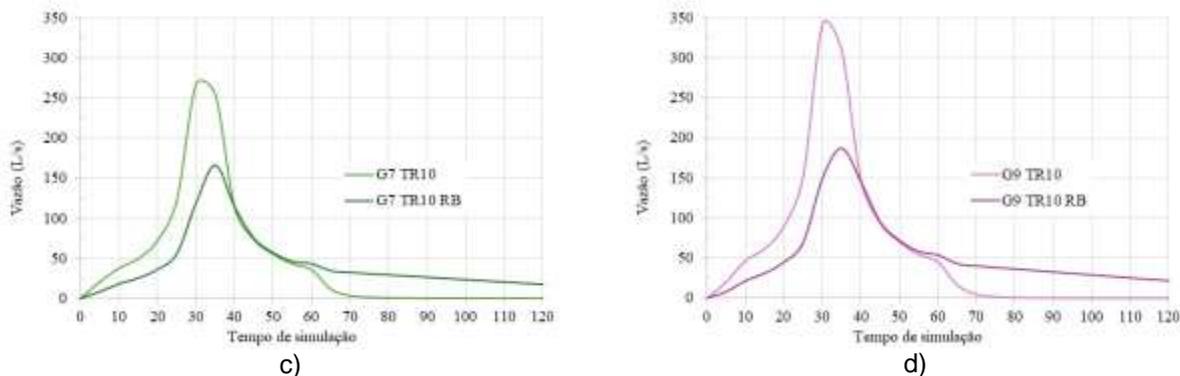
Figura 8. Representação do RB (a); Lotes com a necessidade de implantação de RB (b)



Observa-se que a instalação dos RB nos lotes selecionados resulta em uma redução na vazão de pico, especialmente durante o pico da chuva (entre 30 e 40 minutos). Após esse período, nota-se que as curvas marcadas com RB apresentam valores de vazão mais elevados em comparação com os resultados sem a solução implementada, mesmo após o fim do evento de chuva. Isso se deve ao fato que, a partir desse ponto, a água armazenada começa a drenar para as galerias de águas pluviais, que já não estão tão saturadas. Considerando o tempo de retorno de 10 anos, a instalação dos reservatórios diminuiu o pico de vazão nas canalizações mais a jusante, em 57% na galeria G2, 66,3% na galeria G4, 62,2% na galeria G7 e 55% na galeria G9, **Figura 9a** à **Figura 9d**.

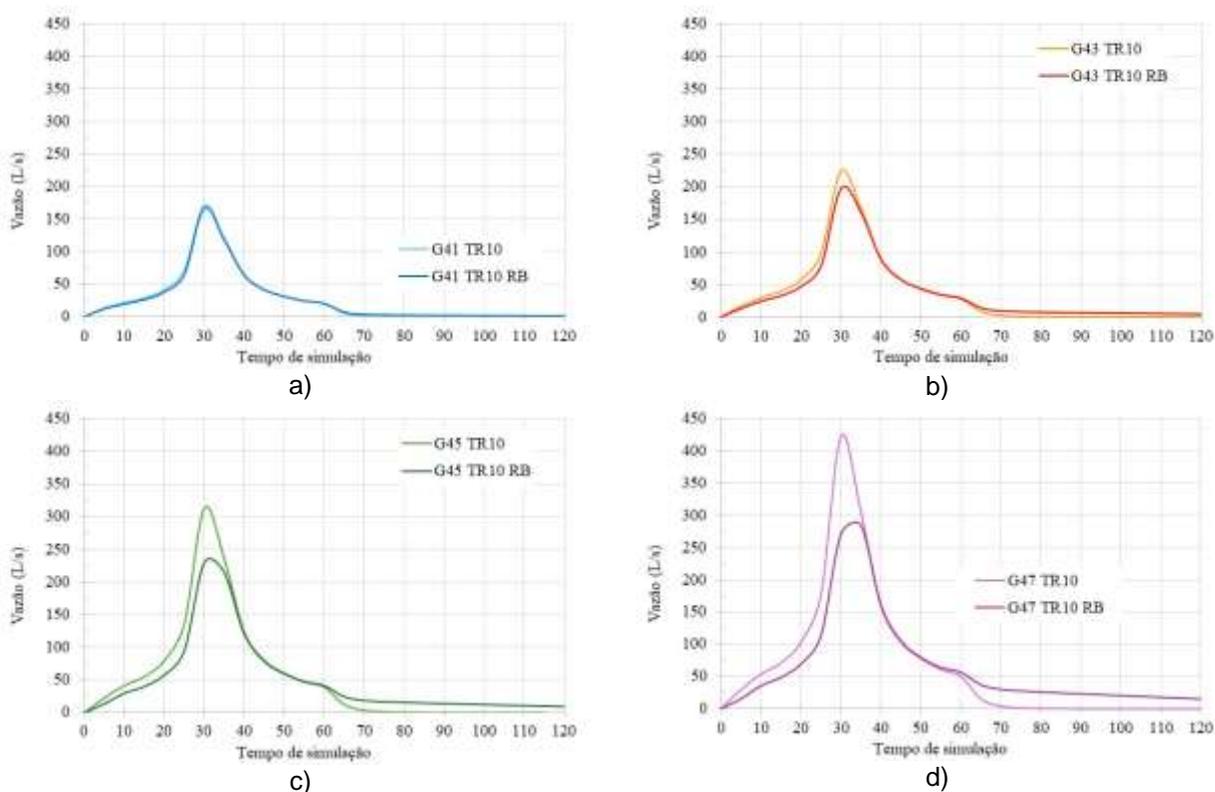
Figura 9. Comparação entre as vazões de pico nas galerias: a) G2, b) G4, c) G7 e d) G9





No que concerne as galerias da rua 4, a solução foi capaz de diminuir a vazão de pico 43% na galeria G47, **Figura 10d**, em torno de 25% na galeria G45, **Figura 10c**, 22% na galeria G43, **Figura 10b** e 2% na galeria G41, **Figura 10a**. Os resultados mostram que, especialmente em relação à galeria G41, a redução na vazão de pico não foi tão evidente, uma vez que apenas dois lotes a montante foram simulados com RB.

Figura 10. Comparação entre as vazões de pico nas galerias: a) G41, b) G43, c) G45 e d) G47 antes e depois da instalação dos microrreservatórios



Os reservatórios individuais exigem investimento no nível doméstico e dependem da

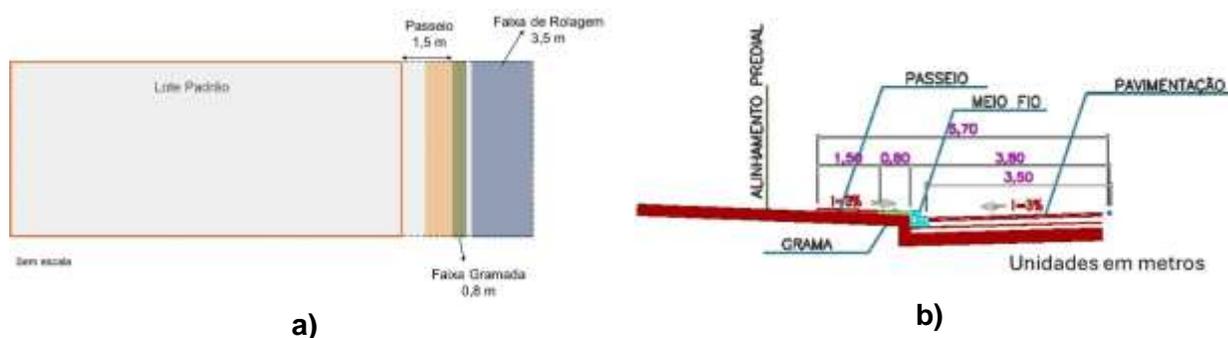
conscientização dos proprietários para garantir sua eficácia. Uma vez cheios, esses reservatórios não contribuem mais para a redução do escoamento superficial. Nesse contexto, além dos esforços para implementar soluções, é crucial que as populações urbanas participem ativamente na gestão das áreas permeáveis, na manutenção da limpeza dos lotes e na contribuição para o equilíbrio urbano, todos essenciais para a sustentabilidade das cidades

TRABALHOS FUTUROS

A continuidade da pesquisa envolve a análise de outras metodologias para compor as áreas de sub-bacias de ruas e lotes. Serão exploradas novas abordagens, como a incorporação de ruas e calçadas à área do lote, conforme demonstrado na **Figura 11a**, e a consideração de ruas e sarjetas como canais (*Conduits*) com seção transversal, conforme mostrado na **Figura 11b**. Resultados preliminares indicam que a consideração dessas áreas como sub-bacias reduz o tempo de pico, uma vez que não se considera um tempo de percurso.

Além disso, novas alternativas para redução do escoamento superficial e associações de LIDs serão propostas e avaliadas considerando as características específicas da região. Destaca-se, ainda, que a localidade está em processo de revisão do zoneamento e de implantação do plano de drenagem urbana da cidade. Nesse contexto, a pesquisa e seus resultados poderão auxiliar no processo de tomada de decisão.

Figura 11. Configurações de sub-bacias para simulações futuras



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas causados pelos últimos eventos chuvosos, registrando alagamentos inclusive em áreas em processo de urbanização, destacam a necessidade de medidas proativas para lidar com as águas pluviais.

Nesse contexto, os empreendimentos imobiliários estão buscando maneiras de mitigar os impactos das chuvas, tanto para garantir a segurança das propriedades quanto para preservar o bem-estar dos futuros moradores.

Nos últimos anos, as técnicas de drenagem LID foram testadas e comprovadamente eficazes em uma variedade de cenários, tanto nacional quanto internacional. Essas técnicas estão na vanguarda das abordagens de gestão de águas pluviais, pois minimizam os impactos

negativos das águas pluviais urbanas e buscam restaurar os processos hidrológicos naturais, ao mesmo tempo que melhoram a qualidade da água por meio da redução de poluentes. Estratégias para lidar com águas pluviais são necessárias em diferentes níveis de tomada de decisão (político, regional ou local), mas todas elas exigirão informações claras e uma compreensão aprofundada das possibilidades passíveis de serem adotadas, bem como das principais consequências de cada decisão.

Uma das estratégias em consideração foi a avaliação da implantação de RB em alguns lotes específicos. Essa abordagem visou direcionar os esforços para onde os transtornos causados pelas chuvas se mostram mais pronunciados. Ao concentrar os recursos nas áreas mais afetadas, pretende-se reduzir os riscos de alagamentos e danos nas propriedades, proporcionando um ambiente mais seguro e habitável.

Os resultados mostraram que a instalação dos RB de lote pode ser uma solução para a área, já que os picos de vazão foram reduzidos entre 30% e 40%, além de garantir o escoamento livre em todas as galerias. A desvantagem implica, diante de uma possível obrigatoriedade de implantação dos RB, no preço de venda dessas propriedades, no investimento e no comprometimento dos cidadãos com a manutenção dos reservatórios.

Quando os moradores se envolvem na manutenção dessas áreas, contribuem diretamente para minimizar os impactos negativos da urbanização. Além disso, a limpeza regular dos lotes e dos espaços públicos impede o acúmulo de detritos que poderiam obstruir os sistemas de drenagem, melhorando sua eficiência, reduzindo os riscos de inundação e controlando a proliferação de vetores de doenças, como o mosquito *Aedes aegypti*, por exemplo. A conscientização pública e o engajamento na preservação ambiental urbana também promovem uma cultura de responsabilidade compartilhada, onde cada cidadão entende seu papel na construção de uma cidade mais equilibrada e sustentável.

Devido à falta de monitoramento de dados de precipitação e vazão na área, não foi possível realizar a calibração e validação do modelo. A ausência de calibração implica que o modelo não seja capaz de reproduzir de forma totalmente confiável os valores e efeitos observados na área real. Apesar de não ter sido calibrado, o modelo foi alimentado com dados que se encontram dentro das faixas de recomendações encontradas na literatura. Entretanto, essa simulação possibilita uma estimativa apropriada do impacto da implementação dos RB ao comparar esses resultados preliminares com outros documentados na literatura.

REFERÊNCIAS

BEN-DAOUD, A.; BEN-DAOUD, M.; MOROŞANU, G. A.; M'RABET, S. The use of low impact development technologies in the attenuation of flood flows in an urban area: Settat city (Morocco) as a case. **Environmental Challenges**, v. 6, p. 100403, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2021.100403>

CHAN, J. K. H.; ZHANG, Y. Urban resilience in the smart city. **12th Conference of the international forum on urbanism: Beyond resilience**. Jakarta, 24-26 June, 2019.

EKMEKCIOĞLU, Ö.; YILMAZ, M.; ÖZGER, M.; TOSUNOĞLU, F. Investigation of the low

impact development strategies for highly urbanized area via auto-calibrated Storm Water Management Model (SWMM). **Water Science and Technology**, v. 84, n. 9, e2194-2213, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.432>

GONCALVES, M.; ZISCHG, J.; RAU, S.; SITZMANN, M.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. Modeling the effects of introducing low impact development in a tropical city: A case study from Joinville, Brazil. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 728, 208. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030728>

GUARAPUAVA, Prefeitura de. **Plano de Drenagem do município de Guarapuava**, 2023.

LOPES, W. G. R.; LIMA JÚNIOR, J. M.; MATOS, K. C. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e213997102, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7102>

MOUSTAKIS, Y.; PAPALEXIOU, S. M.; ONOF, C. J.; PASCHALIS, A. Seasonality, Intensity, and Duration of Rainfall Extremes Change in a Warmer Climate. **Earth's Future**, v. 9, n. 3, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1029/2020EF001824>

NOH, S.; CHUNG, E.-S.; SEO, Y. Performance of a Rain Barrel Sharing Network under Climate Change. **Water**, v. 7, n. 7, p. 3466–3485, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/w7073466>

PAIVA, R. COLLISCHONN, W., MIRANDA, P., PETRY, I., DORNELLES, F., GOLDENFUM, J. *et al.* **Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil**. Porto Alegre, 2024. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Available at: <https://www.ufrgs.br/iph/nota-tecnica-criterios-hidrologicos-para-adaptacao-a-mudanca-climatica-chuvas-e-cheias-extremas-na-regiao-sul-do-brasil>. Accessed on

PORTO, R. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2026. 540 p.

QUICHIMBO-MIGUITAMA F., MATAMOROS D., JIMÉNEZ L., QUICHIMBO-MIGUITAMA P. Influence of low-impact development in flood control: A case study of the febres cordero stormwater system of Guayaquil (Ecuador) **Sustainability**, v. 14, n. 12, p. 7109, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14127109>

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2025.

SILVA, C. A. DA; SANTOS, E. A. DOS; MAIER, S. M.; ROSA, F. S. DA. Urban resilience and sustainable development policies an analysis of smart cities in the state of São Paulo. **REGE Revista de Gestão**, v. 27, n. 1, p. 61-78, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/REGE-12-2018-0117>

SURESH, A.; PEKKAT, S.; SUBBIAH, S. Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. **Sustainable Cities and Society**, v. 95, e104601, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104601>

SAADATPOUR, M.; DELKHOSH, F.; AFSHAR, A.; SOLIS, S. S. Developing a simulation-optimization approach to allocate low impact development practices for managing hydrological alterations in urban watershed. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, e102334, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102334>

TUCCI, C. E. M., **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ed. Porto Alegre: ABRH, 2009.

ZHAI, R.; TAO, F.; LALL, U.; FU, B.; ELLIOTT, J.; JÄGERMEYR, J. Larger Drought and Flood Hazards and Adverse Impacts on Population and Economic Productivity Under 2.0 than 1.5°C Warming. **Earth's Future**, v. 8, n. 7, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019EF001398>

WANG, P.; LI, Y.; FAN, J.; KONG, F.; ZHANG, D.; HU, T. Future changes in urban drainage pressure caused by precipitation extremes in 285 cities across China based on CMIP6 models. **Sustainable Cities and Society**, v. 91, e104404, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104404>

YANG, W.; ZHANG, J.; KREBS, P. Low impact development practices mitigate urban flooding and non-point pollution under climate change. **Journal of Cleaner Production**, n. 347, p. 131320, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131320>

Recebido em: 29/10/2024

Aprovado em: 12/12/2024