

IMPACTO DE TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO NA HIDRÁULICA DE GALERIAS E NA VAZÃO DE PICO EM BACIA URBANA CONSOLIDADA

Igraine Motta de Oliveira¹; Mariane Kempka² & Caroline Kozak³

RESUMO – Este estudo avaliou o impacto da implantação de trincheiras de infiltração sobre a vazão de pico e as condições hidráulicas de uma rede de drenagem urbana localizada no bairro Vila Carli, em Guarapuava/PR, área caracterizada por recorrentes episódios de alagamento e elevada impermeabilização do solo. As simulações foram realizadas no software SWMM, considerando três cenários: ausência de trincheiras, ocupação de 6% e ocupação de 12% da área da sub-bacia com dispositivos infiltrantes. Os resultados indicaram que, embora não tenha ocorrido alteração significativa no tempo de pico, houve redução progressiva da vazão máxima, com diminuições aproximadas de 5% e 13%, respectivamente. A análise hidráulica demonstrou redução da sobrecarga em diferentes trechos da rede e diminuição da profundidade da lâmina d'água nos nós críticos, variando entre 20% e 80% no cenário com maior percentual de implantação. Apesar disso, alguns trechos permaneceram próximos da capacidade máxima, evidenciando limitações associadas à elevada impermeabilização e às características topográficas da bacia. Conclui-se que as trincheiras de infiltração representam alternativa tecnicamente viável para mitigação de alagamentos urbanos, especialmente quando integradas a outras Soluções baseadas na Natureza (SbN).

Palavras-Chave – Drenagem Urbana, Trincheiras de Infiltração. Soluções baseadas na Natureza, técnicas compensatórias

ABSTRACT– This study evaluated the impact of infiltration trenches on peak discharge and hydraulic performance of an urban drainage network located in Vila Carli neighborhood, Guarapuava/PR, Brazil, an area characterized by recurrent flooding and high soil imperviousness. Simulations were performed using the SWMM model considering three scenarios: absence of trenches, 6% occupation, and 12% occupation of the sub-basin area by infiltration devices. The results showed that, although peak flow timing was not significantly altered, peak discharge was reduced by approximately 5% and 13%, respectively. Hydraulic analysis indicated reductions in surcharge conditions along several conduits and decreases in maximum water depth at critical nodes ranging from 20% to 80% in the scenario with greater trench occupation. Nevertheless, some sections remained operating close to maximum capacity, highlighting limitations associated with high imperviousness and basin topography. The findings demonstrate that infiltration trenches are a technically viable alternative for urban flood mitigation, especially when integrated with other Nature-Based Solutions (NbS).

Key-words – Urban Drainage, Infiltration Trench, Nature-based Solutions, compensatory techniques

INTRODUÇÃO

A drenagem urbana tradicional é estruturada por redes de tubulações robustas, conhecidas como infraestruturas cinzas, que têm como objetivo captar e conduzir o escoamento superficial até o exutório mais próximo, como rios ou lagos. Por outro lado, a adoção de práticas que buscam conservar

1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Avenida Guarapuava, 800, Guarapuava, (42) 3035-8079, igraineoliveira@alunos.utfpr.edu.br

2) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Avenida Guarapuava, 800, Guarapuava, (42) 3035-8079, marianekempka@utfpr.edu.br

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Rua Professora Maria Roza Zanon de Almeida, Irati (42) 3421-3000, ckozak@unicentro.br

ou reproduzir os processos hidrológicos tais como a interceptação, a evapotranspiração e a infiltração das águas pluviais, colaboram na mitigação dos impactos da impermeabilização do solo.

A adoção de ferramentas que buscam copiar parte do ciclo hidrológico tem sido, frequentemente, denominada de Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Baptista, Barraud e Nascimento (2011) afirmam que a adoção das SbN pode servir como ferramentas para aprimorar a gestão dos recursos hídricos, promover maior conforto ambiental e melhora na qualidade da água, à medida que fortalecem a integração entre infraestrutura verde e planejamento urbano. Essa abordagem aumenta a sustentabilidade e resiliência das cidades.

Dentre as técnicas de SbN estão as trincheiras de infiltração (TI) que, de acordo com Souza e Goldenfum (1999), são elementos de drenagem do tipo controle na fonte e têm seu princípio de funcionamento no armazenamento temporário da água até que ela se infiltre no solo. Complementarmente, Melo *et al.* (2016) explicam que as TI's consistem em estruturas lineares escavadas e preenchidas com material granular, como brita ou seixos rolados, e têm como principal finalidade promover a infiltração controlada das águas pluviais no solo, contribuindo para a recarga dos aquíferos e a redução do escoamento superficial. A figura 1 mostra o esquema de uma trincheira de infiltração e seus componentes.

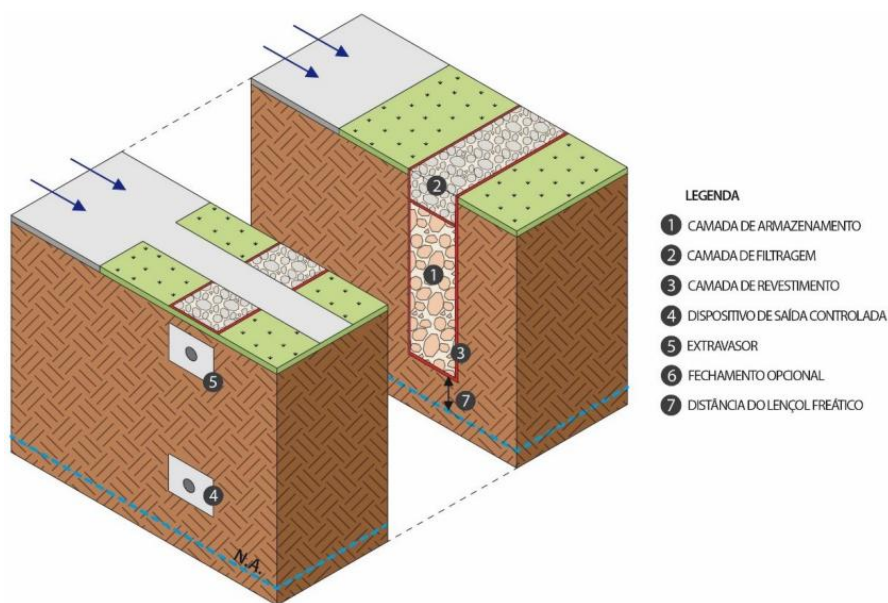


Figura 1 – Esquema de uma trincheira de infiltração e seus componentes.

Fonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2022.

As TI's podem ser instaladas ao longo do traçado linear das vias de circulação (ruas e avenidas), possivelmente abaixo das sarjetas, além de incorporar faixas lineares de estacionamentos, praças e parques (Souza e Goldenfum, 1999). Além da atenuação dos volumes de cheia, as TI também colaboram com a filtração da água pluvial, contribuindo com a melhoria da qualidade das águas.

O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto na vazão de pico e nas galerias de uma rede de drenagem a partir da instalação de trincheiras de infiltração adjacentes ao passeio público em um bairro caracterizado por densa urbanização e com recorrentes episódios de alagamento.

METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se no bairro Vila Carli, no município de Guarapuava no estado do Paraná (Figura 2), e está inserida, parcialmente, na mancha de inundação urbana identificada no Plano de Drenagem Municipal (Guarapuava, 2022). O recorte analisado compreende uma área de, aproximadamente, 22 hectares, dos quais 1,2 hectares (5% da área), está localizada na área de risco identificada.

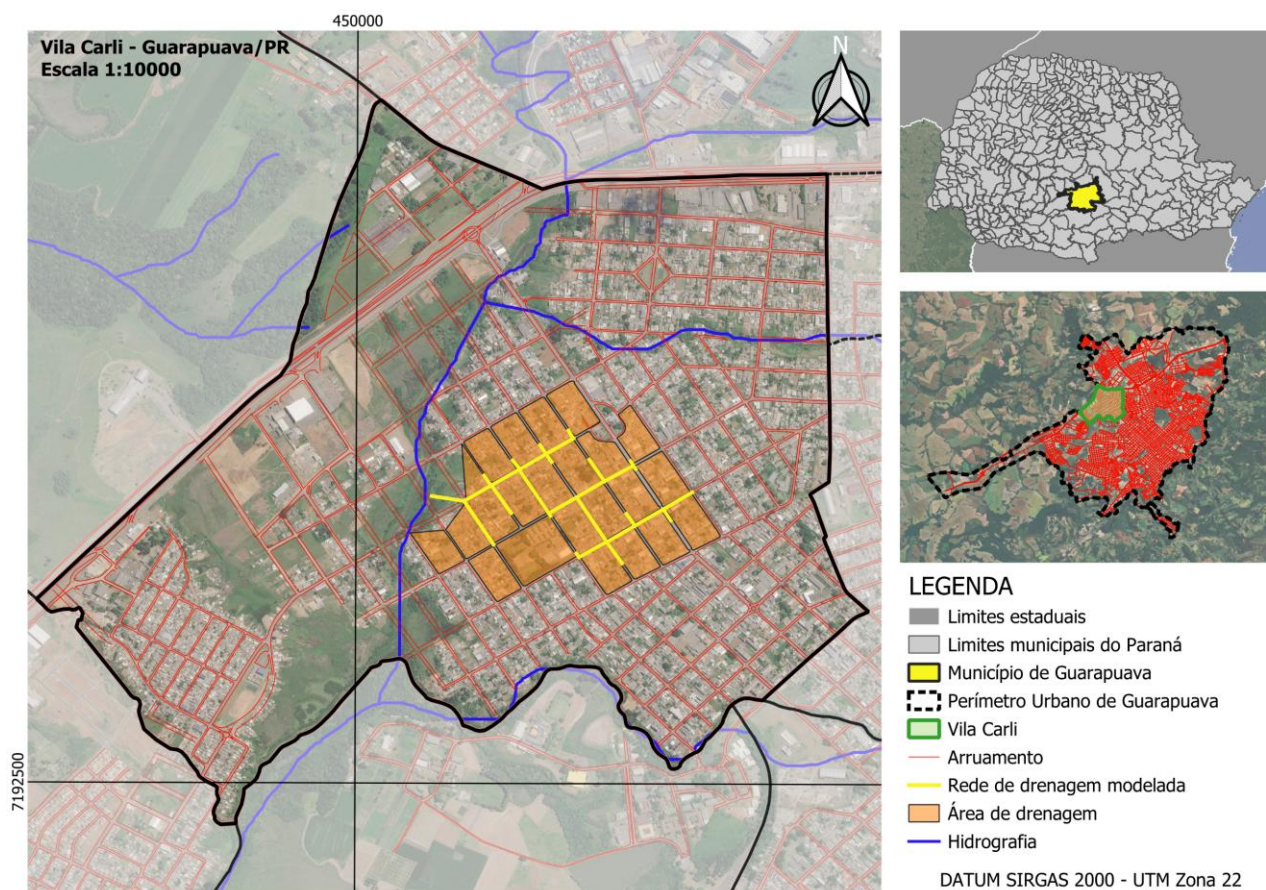


Figura 2 – Localização da Vila Carli (Guarapuava/PR), contemplando a área de influência da rede de drenagem modelada.

A área total, composta por 21 quadras, foi segmentada em 60 sub-bacias, obtidas a partir do fracionamento de cada quadra em quatro partes. O ponto de desague das sub-bacias considerou a declividade do terreno, que varia entre 1% e 12%, bem como a localização das bocas de lobo instaladas junto às sarjetas. Cada sub-bacia abrangeu a área correspondente aos lotes, ao passeio e à metade da via pública (rua). A análise foi conduzida por meio do software SWMM, considerando cenários nos quais as trincheiras ocupam 6% e 12% da área total da sub-bacia. Nessas condições, o escoamento superficial gerado por 6% e 12% da área impermeável foi direcionado às trincheiras

No que concerne a impermeabilização das sub-bacias considerou-se como áreas integralmente impermeáveis as ruas e calçadas, aos lotes foi atribuído uma impermeabilidade de 87,5%, de acordo com o Código de Obras do Município de Guarapuava (2024). A partir dessas definições, procedeu-se ao cálculo de uma média ponderada das áreas, considerando as diferentes taxas de

impermeabilização associadas a cada tipo de superfície (lotes, calçadas e pavimento asfáltico), resultando em uma taxa média de impermeabilização ponderada de 90%.

A precipitação efetiva foi estimada pelo método do *Soil Conservation Service* (SCS), utilizando a IDF expressa no Plano de Drenagem Municipal (Guarapuava, 2022), para o tempo de retorno de 7 anos (48,6 mm), e para desagregação dos dados utilizou-se o método dos blocos alternados com intervalos de 5 minutos.

O solo da área de estudo foi classificado como Grupo Hidrológico B e o valor do *Curve Number* (CN) foi determinado conforme a proporção das superfícies analisadas, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Área das sub-bacias e os respectivos valores de CN adotados

Área das sub-bacias (ha)	CN
< 0,17	77
0,17 > a < 0,40	74
> 0,40	71

Às áreas impermeáveis atribuiu-se um coeficiente de Manning de 0,011 e para as áreas permeáveis 0,15. As profundidades de armazenamento nas depressões nas áreas permeáveis e impermeáveis foram 2,54 mm e 1,27 mm, respectivamente.

As galerias de drenagem são de concreto com diâmetro variando entre 400 mm e 1.000 mm, sendo adotado o coeficiente de rugosidade de Manning (n) igual a 0,013. Embora tenham sido inseridos como elementos nodais, as bocas de lobo não foram configuradas em sua função plena, uma vez que não houve a associação de curvas de engolimento.

Incorporação de trincheiras de infiltração

Foram simuladas trincheiras de infiltração adicionadas à faixa gramada, adjacentes às calçadas, apresentando largura de 0,80 m e profundidade de armazenamento de 1 m. No quadro 2 estão apresentados os parâmetros e respectivos valores adotados.

Quadro 2 – Valores utilizados no modelo para caracterizar as trincheiras de infiltração

Parâmetro	Valor	Descrição/Fonte
Profundidade de armazenamento (mm)	1000	Calculada
Coeficiente de Manning (n)	0,1	Manual do SWMM
Declividade (%)	1 a 12	Declividade do terreno
Índice de vazios	0,4	Camadas de cascalho (Manual do SWMM)
Taxa de infiltração (mm/h)	2,54	Manual do SWMM

Cenários de Análise

A partir da chuva efetiva resultante, 42,9 mm, foram simulados três cenários diferentes, considerando a presença e ausência das trincheiras e as diferentes variações de impermeabilização, conforme:

- Cenário 1 - sistema de drenagem sem as trincheiras de infiltração. A taxa de impermeabilização das sub-bacias foi de 90%;

- Cenário 2 – inserção de trincheiras de infiltração ocupando 6% da área total da sub-bacia e considerando o tratamento do escoamento proveniente de 6% da área impermeável. Essa configuração resulta em 78% de impermeabilização da área total da sub-bacia;
- Cenário 3 - inserção de trincheiras de infiltração ocupando 12% da área total da sub-bacia e considerando o tratamento do escoamento proveniente de 12% da área impermeável. Essa configuração resulta em, aproximadamente, 65% de impermeabilização da sub-bacia.

Para os três cenários considerou-se o roteamento de subárea permeável de 25%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 apresenta-se o hidrograma no exutório da bacia sob as três condições de simulação. No Cenário 1, correspondente à ausência de trincheiras de infiltração, observa-se um pico de vazão de 3,4 m³/s aos 35 minutos após o início da precipitação. A introdução das trincheiras não promoveu alteração significativa no tempo de pico, deslocando em 2 minutos para frente, porém resultou em redução da magnitude da vazão de pico. No Cenário 2, o pico atingiu 3,2 m³/s, enquanto no Cenário 3 foi registrado 2,9 m³/s, indicando uma diminuição relativa de cerca de 5% e 13%, respectivamente, em comparação ao cenário sem trincheiras.

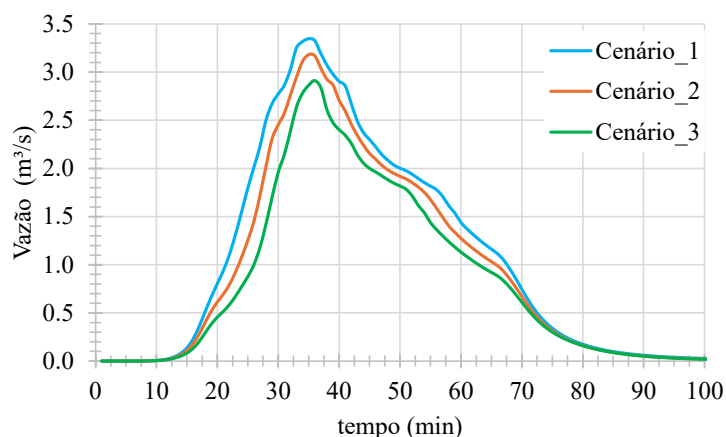


Figura 3 – Hidrograma no exutório da bacia considerando os três cenários de simulação

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam a relação entre a capacidade ocupada da seção transversal das galerias (h/D) sob diferentes condições de simulação para os cenários 1, 2 e 3, respectivamente. A inserção de trincheiras ocupando 6% da área da bacia promoveu uma redução sutil na carga das galerias e na profundidade observada nos nós. Neste cenário, em comparação ao Cenário 1 (Figura 4) deixaram de operar em carga os condutos C49, C90, C13, C14 e C15, visualizado na Figura 4. No cenário 3 (Figura 6), a inserção de trincheiras correspondentes a 12% da área da bacia, diminuíram em 14 unidades a sobrecarga em comparação ao Cenário 1 (Figura 4).

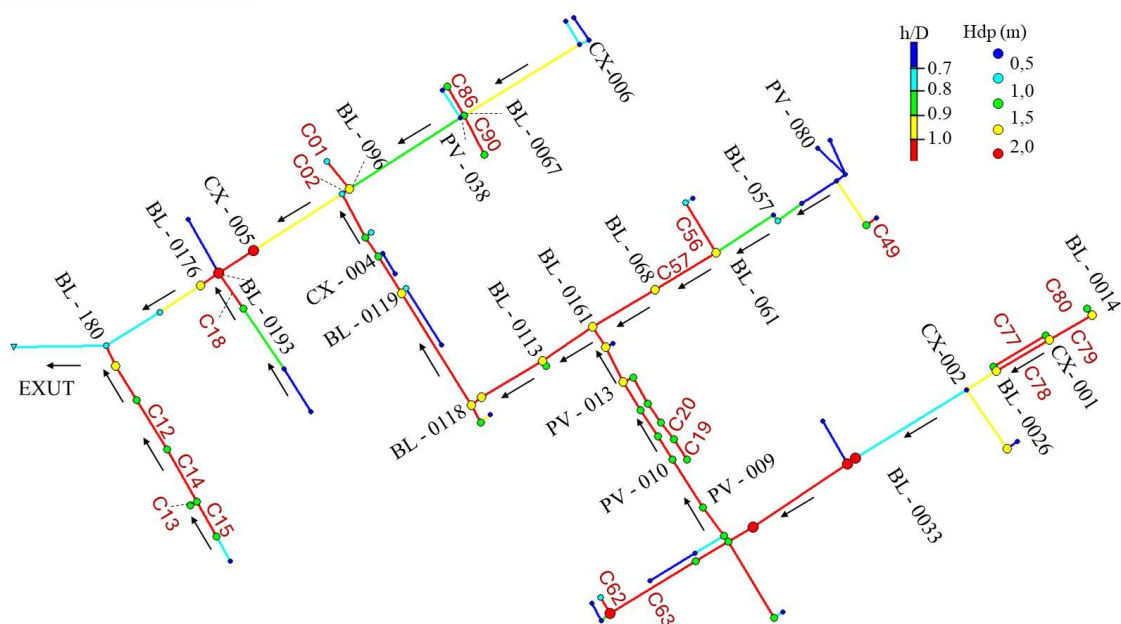


Figura 4 – Capacidade das galerias (h/D) e profundidade de água nos nós (hdp), considerando a ausência de trincheira de infiltração (cenário 1).

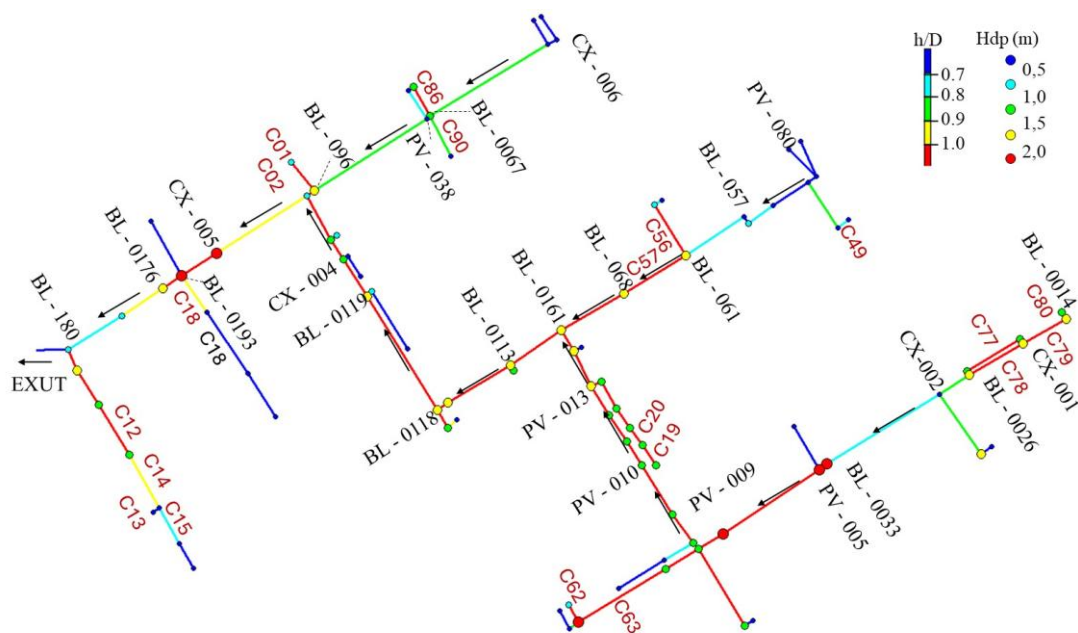


Figura 5 – Capacidade das galerias (h/D) e profundidade de água nos nós (hdp), considerando a instalação de trincheiras de infiltração ocupando 6% da área das sub-bacias (cenário 2).

A Figura 7 apresenta os perfis das galerias entre o BL-0014 e BL-0161, local de maior estado crítico da rede analisada, permitindo a análise da profundidade da lâmina d'água no interior dos nós. Na Figura 7a, observa-se a linha d'água no cenário 1 (sem as trincheiras de infiltração). Quando o nível de água atinge o nível do terreno ocorre extravasamento de água para a superfície viária, o que pode ser verificado nos nós BL-0014, PV-005, BL-0090, PV-008, PV-009, PV-011 e BL-0161.

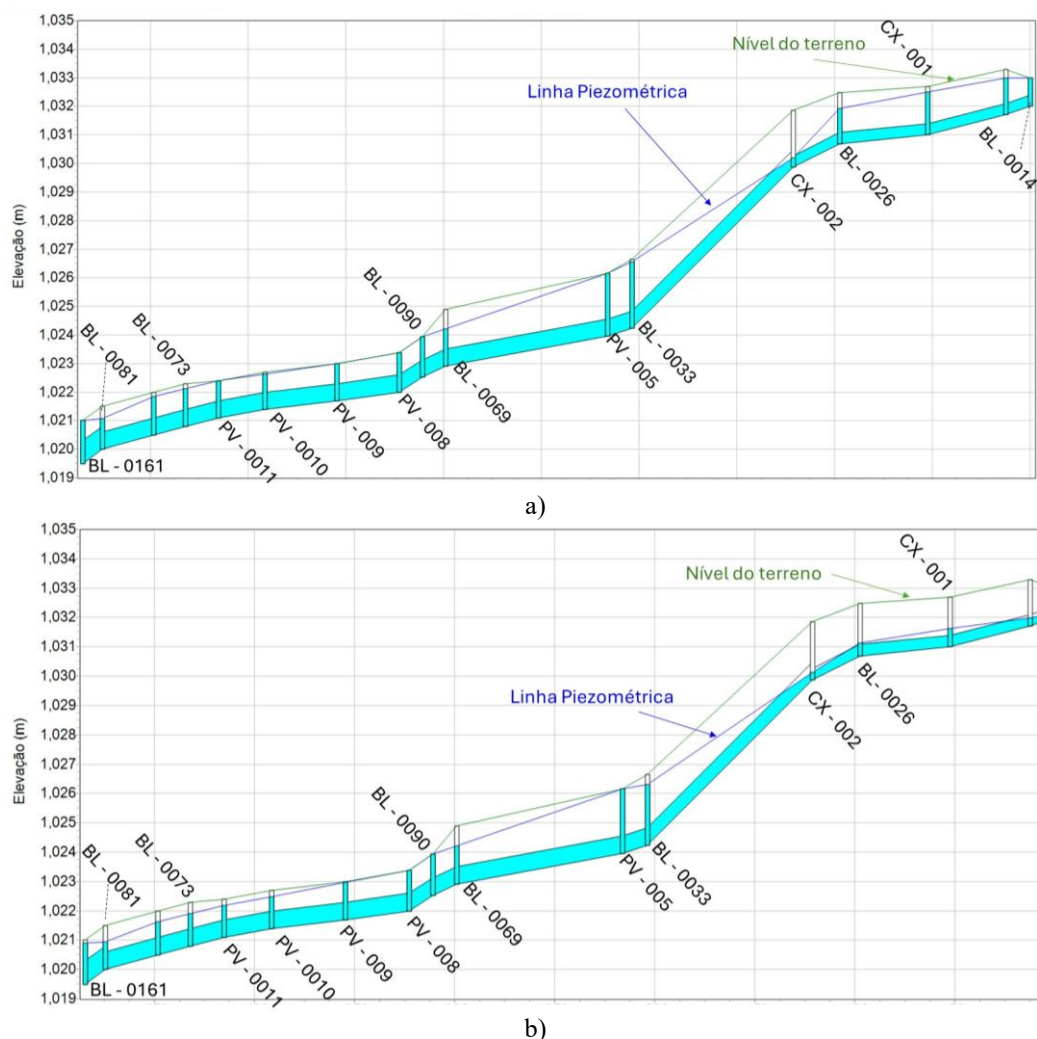


Figura 7 – Perfil longitudinal das galerias considerando nó BL - 0014 ao BL - 0161: a) cenário 1, ausência de trincheiras; b) cenário 3, considerando a instalação de trincheiras em 12% da área da sub-bacia e tratamento de 12% da área impermeável.

Contudo, o enfrentamento da vulnerabilidade urbana não depende exclusivamente da ampliação da capacidade das infraestruturas cinzas tradicionais, mas da incorporação de soluções descentralizadas capazes de restaurar parcialmente funções hidrológicas perdidas pela urbanização. Em bairros periféricos, como a Vila Carli, as limitações de infraestrutura verde e maior exposição social aos eventos extremos são magnificados, assim, a aplicação de SbN pode contribuir não apenas para o amortecimento hidráulico, mas também para aumentar a segurança, ampliar a resiliência urbana frente às mudanças climáticas.

Além disso, mesmo no cenário com maior percentual de trincheiras, alguns nós permaneceram operando próximos da condição de extravasamento, demonstrando que a simples implantação pontual desses dispositivos não é suficiente para eliminar completamente os problemas estruturais da drenagem urbana nesse local com urbanização já consolidada e poucas opções alternativas para mudanças. Aspectos como elevada impermeabilização, fortes declividades locais e limitações geométricas das galerias reduzem a eficiência hidráulica das intervenções, especialmente em trechos de jusante, que também recebem a vazão acumulada de toda a rede.

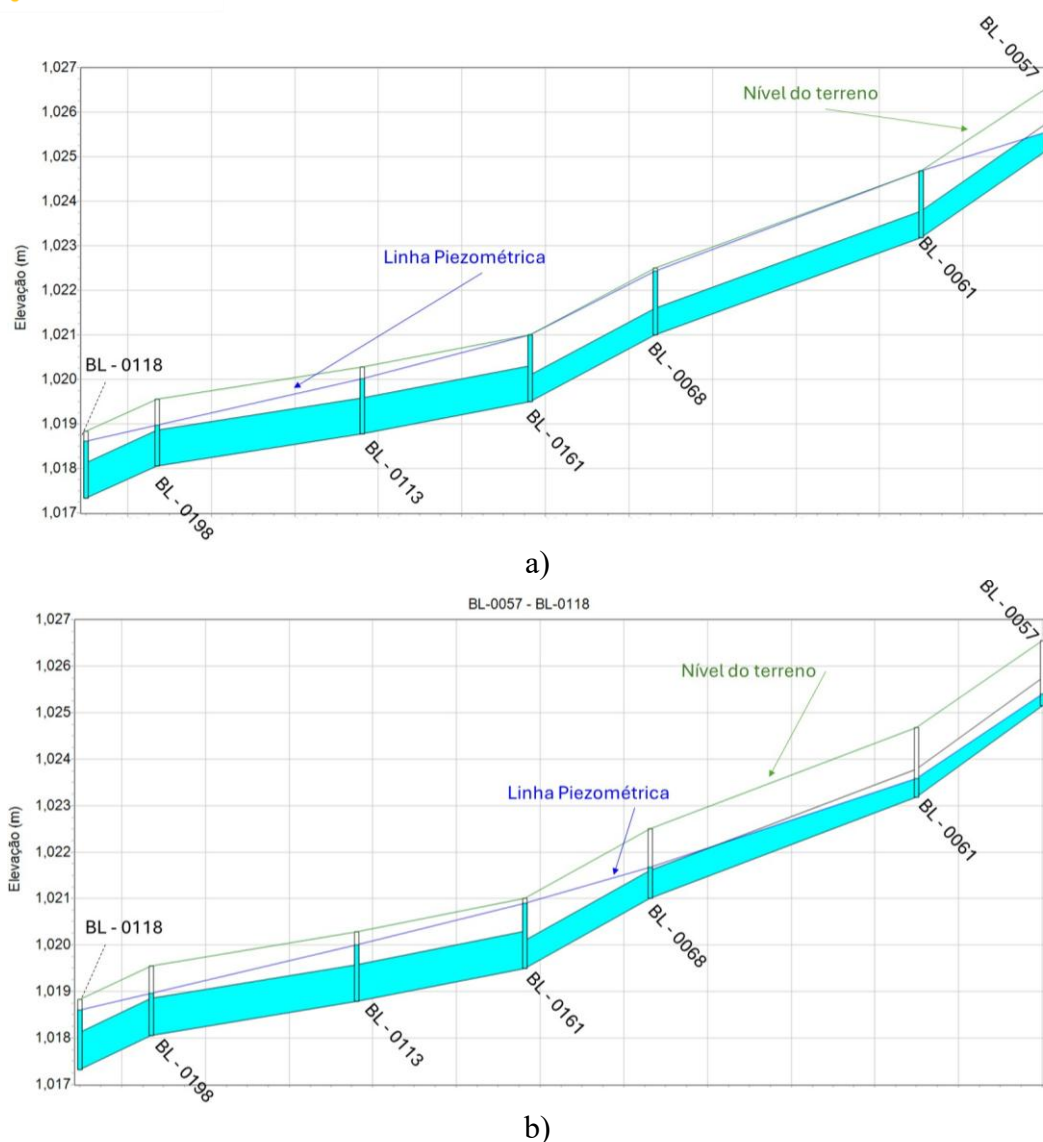


Figura 8 – Perfil longitudinal das galerias considerando nó BL - 0057 ao BL - 0118: a) cenário 1, ausência de trincheiras; b) cenário 3, considerando a instalação de trincheiras em 12% da área da sub-bacia e tratamento de 12% da área impermeável.

Dessa forma, as trincheiras de infiltração devem ser compreendidas como parte de uma estratégia integrada de manejo de águas pluviais, associada a ampliação do uso de mais tipologias de SbN e planejamento urbano orientado à drenagem sustentável, como recomendado pela ANA (2025). Em contextos periféricos, essa integração torna-se ainda mais necessária, pois a vulnerabilidade não é apenas hidráulica, mas também socioambiental, envolvendo desigualdades históricas no acesso à infraestrutura urbana e maior exposição das populações aos impactos dos eventos extremos.

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam que a inserção de trincheiras de infiltração em áreas urbanas consolidadas pode contribuir para a mitigação de problemas relacionados ao escoamento superficial, sobretudo diminuindo o extravasamento de água para o sistema viário. Embora não tenha sido observada alteração significativa no tempo de pico da vazão, verificou-se uma redução progressiva

na sua magnitude, com diminuições de aproximadamente 5% e 13% nos cenários em que as trincheiras ocuparam 6% e 12% da área da sub-bacia, respectivamente.

A análise da capacidade das galerias e da profundidade da lâmina d'água nos nós demonstrou que a adoção de trincheiras promoveu reduções tanto na profundidade máxima de água nos nós como na profundidade de água nas galerias. Em particular, o cenário com 12% de ocupação permitiu que 13 trechos localizados mais a montante da rede de drenagem, deixassem de operar em sobrecarga. O retardo do escoamento, promovido pelas trincheiras, mesmo que pequeno, promove a ocorrência do escoamento livre nas galerias de cabeceira da rede. A redução da profundidade máxima da água nas galerias variou entre 20% a 80%, no cenário 3, sendo que a declividade se mostra, potencialmente, um parâmetro de sensibilidade para a eficiência de implantação desse tipo de técnica.

Portanto, mesmo que a redução da vazão de pico não tenha sido superior a 15%, a diminuição da profundidade máxima dos nós e a diminuição da profundidade de escoamento promovida pela técnica, demonstra que essa medida contribui para a redução da pressão hidráulica no sistema e para a mitigação do risco de alagamentos. Assim, conclui-se que a implementação de trincheiras de infiltração configura uma alternativa para o manejo sustentável das águas pluviais em áreas urbanas.

Adicionalmente, ressalta-se que melhores resultados podem ser alcançados mediante a integração de diferentes técnicas de Soluções baseadas na Natureza (SbN), cada uma aplicada de forma estratégica conforme as características específicas da bacia e do sistema de drenagem. Essa abordagem integrada potencializa os benefícios hidrológicos e hidráulicos, promovendo maior resiliência urbana frente a eventos extremos de precipitação.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). *Ato normativo nº 245, de 17 de março de 2025*. Aprova a Norma de Referência ANA nº 12/2025 para a estruturação da prestação dos serviços públicos de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2025/0245-2025_Ato_Normativo_17032025_20250318091212.pdf?11:54:55
- BAPTISTA, M.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. (2011). *“Técnicas compensatórias em drenagem urbana”*. Porto Alegre: ABRH.
- GUARAPUAVA, Município de. Lei Complementar nº 225, de 19 de dezembro de 2024. *Código de Obras do Município de Guarapuava*. Guarapuava, 2024. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/codigo-de-obras-guarapuava-pr>. Acesso em: 21 mar. 2025.
- GUARAPUAVA, Município de. *“Plano Municipal de Drenagem do Município de Guarapuava”*. 2022.
- MELO, T. dos A. T. et al. (2016). *“Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 53–72, 2016.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARAPUAVA. *Prefeitura realiza obras de drenagem para solucionar alagamentos na Vila Carli*. Guarapuava, 2024. Disponível em: <https://guarapuava.pr.gov.br/noticias/prefeitura-realiza-obras-de-drenagem-para-solucionar-alagamentos-na-vila-carli/>
- SOUZA, V. C. B; GOLDENFUM, J. A. (1999). *“Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: Um estudo experimental”* in Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Nov.