

ADAPTAÇÃO DA MODELAGEM DE INFRAESTRUTURA VERDE E AZUL NO STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM) PARA OS CRITÉRIOS DE PROJETO DE BELO HORIZONTE - MG

Deyvid W. B. ROSA¹; Andressa P. RAMOS²; Maria Paula S. M. DELEFRATE³;

Talita F. G. SILVA⁴; Priscilla M. MOURA⁵; Nilo O. NASCIMENTO⁶

RESUMO – Este trabalho avalia o funcionamento no SWMM de técnicas de Infraestrutura Verde e Azul dimensionadas conforme as recomendações da Instrução Técnica da Prefeitura de Belo Horizonte. Foram analisados o microrreservatório e a trincheira de infiltração aplicados ao lote médio típico do vale do Córrego do Jatobá, com 420 m² e 83,3% de impermeabilização. Os hidrogramas de entrada foram calculados pelo Hidrograma Unitário do Método Racional Modificado, conforme exigido pela Instrução Técnica, e os parâmetros do SWMM foram ajustados para aproximar os resultados do modelo de referência. Os dispositivos foram simulados tanto pelo método de Puls quanto pelo SWMM, e seus dimensionamentos foram otimizados para atender simultaneamente às vazões de restrição para TR de 2 e 100 anos e ao critério de esvaziamento em até 24 horas. Os resultados indicam que os projetos-tipo da Instrução Técnica não atendem plenamente aos critérios do Plano Diretor nas condições simuladas, sendo necessários ajustes no posicionamento do dreno e na área dos dispositivos. O trabalho contribui para o aprimoramento das diretrizes locais de drenagem sustentável e para a integração do SWMM à prática projetual em Belo Horizonte.

Palavras-Chave – soluções baseadas na natureza; controle na fonte; modelagem hidrológica.

ABSTRACT– This study evaluates the performance in SWMM of Green and Blue Infrastructure techniques designed according to the technical guidelines of the Municipality of Belo Horizonte. A micro-reservoir and an infiltration trench were analyzed, applied to a typical urban lot in the Jatobá Creek watershed, with 420 m² and 83.3% impervious cover. Inflow hydrographs were calculated using the Modified Rational Method Unit Hydrograph, as required by the Technical Guideline, and SWMM parameters were calibrated to approximate the reference model outputs. Both devices were simulated using the Puls method and SWMM, and their designs were optimized to meet discharge restrictions for 2- and 100-year return periods and a maximum 24-hour emptying time criterion. Results indicate that the standard designs prescribed in the Technical Guideline do not fully meet the Master Plan criteria under the simulated conditions, requiring adjustments to drain positioning and device area. This work contributes to the improvement of local sustainable drainage guidelines and to the integration of SWMM into design practice in Belo Horizonte.

Key-words – nature-based solutions; source control; hydrological modeling.

INTRODUÇÃO

A integração de Soluções Baseadas na Natureza à gestão de águas pluviais urbanas tem ganhado destaque como alternativa aos sistemas convencionais, especialmente frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela urbanização acelerada. Infraestrutura Verde e Azul (IVA),

¹ Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais: dwbrosoa@ufmg.br ¹, ramos.andressa1201@gmail.com ², mpdelefrate.ufmg@gmail.com ³, talita.silva@ehr.ufmg.br ⁴, priscilla.moura@ehr.ufmg.br ⁵; niloon@ehr.ufmg.br ⁶

Soluções Baseadas na Natureza (SBN), Projeto Urbano Sensível à Água (*Water Sensitive Urban Design* - WSUD) e Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development* - LID) são termos frequentemente utilizados para descrever abordagens sustentáveis para a gestão de águas pluviais urbanas (Fletcher et al., 2014). Nelas, a integração de técnicas de drenagem descentralizadas – como jardins de chuva, telhados verdes, pavimentos permeáveis, células de biorretenção e trincheiras de infiltração – com parques urbanos e espaços verdes abertos promove a mimetização do ciclo hidrológico natural no ambiente urbano, aumentando a interceptação, a infiltração, a evaporação e a evapotranspiração, reduzindo o escoamento superficial e melhorando a qualidade da água. Muitos estudos têm enfatizado a importância da IVA para a adaptação social e ecológica aos efeitos das mudanças climáticas no ambiente urbano (Seddon, 2022). Além dos benefícios hidrológicos, a IVA promove múltiplos benefícios ambientais, econômicos e sociais, como: redução da temperatura e do efeito da ilha de calor urbana, melhoria da qualidade do ar, redução das emissões e sequestro de carbono, criação de oportunidades de lazer e recreação, dentre outros (Center for Neighborhood Technology, 2010).

No Brasil, alguns municípios incorporaram a exigência de implantação de IVA em suas políticas urbanísticas e de manejo de águas pluviais ao longo das últimas duas décadas. Ainda assim, a implementação ampla da IVA continua limitada em razão de barreiras como falta de conhecimento e divulgação, ausência de padrões de projeto e manutenção, carência de incentivos e resistência à mudança das práticas convencionais de drenagem (Vasconcelos et al., 2022).

Em Belo Horizonte, o Plano Diretor vigente (Lei Municipal nº 11.181 de 08/08/2019) determina a instalação de dispositivos de controle, armazenamento e infiltração de águas pluviais em todos os novos projetos aprovados no município, de modo a “garantir que o lançamento de águas pluviais de um terreno edificado na rede de drenagem seja equivalente à sua vazão em condições naturais” (Art. 161, § 9º) (Belo Horizonte, 2019). O regulamento do Plano Diretor (Decreto nº 17.273 de 2020, alterado pelo Decreto nº 18.146 de 2022) determinou que os projetos e ações de drenagem urbana e manejo de águas pluviais deverão “incluir medidas não estruturais e privilegiar a adoção de infraestruturas verdes e soluções baseadas na natureza” (Art. 71). Em seguida a essa exigência, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) atualizou a “Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem” que, em seu terceiro capítulo, apresenta as recomendações para o dimensionamento e projetos-tipo para técnicas como microrreservatório, vala de retenção, bacia de retenção, jardim de chuva, trincheira de infiltração e poço de infiltração (Belo Horizonte, 2022). A Instrução Técnica orienta ainda que a chuva de projeto seja calculada a partir da equação de Intensidade Duração e Frequência (IDF) proposta por Pinheiro e Naghettini (1998), e que as vazões utilizadas no dimensionamento sejam calculadas por meio do hidrograma unitário do método racional modificado (HUMRM). A partir das vazões calculadas para as condições de pré e pós-ocupação, são definidas as vazões de restrição para TR de 2 anos, correspondente à vazão máxima do hidrograma de pré-urbanização, e para TR de 100 anos, correspondente a 50% da vazão máxima de pós-urbanização. Por fim, a partir da definição preliminar das características geométricas dos dispositivos, o atendimento aos requisitos deve ser verificado pelo método de Puls (Belo Horizonte, 2022). Embora o método de Puls seja adequado para o dimensionamento unitário dos dispositivos, ele não permite a modelagem integrada em escala de bacia hidrográfica. Para essa finalidade, ferramentas de simulação hidrológica como o SWMM podem ser utilizadas (Rosa et al., 2020).

O SWMM e seu módulo de LID oferecem suporte à modelagem de diversas técnicas SBN, contemplando: microrreservatório, trincheira de infiltração, célula de biorretenção, jardim de chuva, telhado verde, pavimento permeável, desconexão dos telhados e valas vegetadas. Os parâmetros internos dos dispositivos LID, como espessura e características das camadas de solo, armazenamento e drenagem, são inseridos no modelo por meio do “*LID Control Editor*”, e os parâmetros de aplicação em cada sub-bacia, como área, número de unidades e percentual da área impermeável tratada, são inseridos por meio do “*LID Usage Editor*”. Como os dispositivos LID são inseridos como propriedades internas da sub-bacia, o fluxo do extravasamento do LID pode ser direcionado diretamente para o exutório ou para a área permeável da sub-bacia, e o fluxo do dreno de fundo pode ser direcionado para o mesmo exutório da sub-bacia ou para outro nó do modelo. O SWMM não permite a modelagem de dispositivos LID em série dentro de uma mesma sub-bacia. Para isso, é necessária a criação de outra sub-bacia totalmente ocupada pelo segundo LID e que recebe o fluxo do primeiro (Rossman; Huber, 2016). Essa limitação, somada às especificidades dos critérios de projeto adotados pela PBH, evidencia a necessidade de adequar os parâmetros do SWMM às condicionantes locais antes de sua aplicação em escala de bacia.

Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho é avaliar o funcionamento no SWMM das técnicas de IVA dimensionadas de acordo com as recomendações da Prefeitura de Belo Horizonte. Os objetivos específicos são: ajustar os parâmetros do modelo às características locais para se aproximar dos valores recomendados pela PBH; comparar a eficiência das técnicas na redução das vazões por meio do SWMM e do método de Puls, recomendado pela PBH; propor adequações na Instrução Técnica para que os projetos-tipo alcancem os objetivos exigidos pelo Plano Diretor. O ajuste dos parâmetros no modelo SWMM permitirá a modelagem das técnicas na escala da bacia hidrográfica, possibilitando a análise do impacto da implementação do preconizado na legislação na redução das inundações.

MÉTODOS

Os métodos aplicados para o desenvolvimento deste trabalho são sintetizados na Figura 1 e descritos nos subitens a seguir.

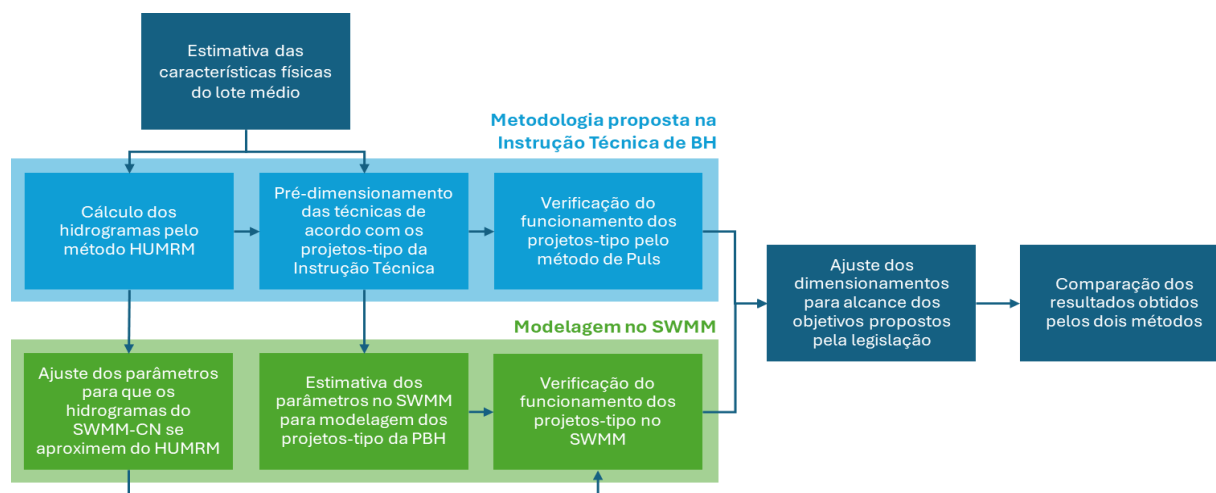


Figura 1 – Fluxograma dos métodos

Inicialmente, estimaram-se as características do lote médio típico de uma região de Belo Horizonte, o vale do Córrego do Jatobá: 420 m² de área, 12 metros de largura, com 83,3% da área

impermeabilizada e declividade média de 4,37% (Rosa et al, 2025). Além disso, a condutividade hidráulica adotada foi a do solo predominante da região, que é classificado como Grupo Hidrológico C com textura franco-areno-argilosa e condutividade hidráulica estimada de 2,3 mm/h.

Em seguida, as vazões utilizadas no dimensionamento foram calculadas por meio do HUMRM, conforme indicado por Belo Horizonte (2022). O coeficiente de escoamento superficial adotado para a área impermeável do lote foi de 0,95 e, para a área permeável, de 0,25. Para o cálculo da vazão de restrição na condição de pré-ocupação, considerou-se o coeficiente de escoamento superficial de 0,25. As intensidades de precipitação das precipitações com tempo de retorno de 2 e 100 anos, para cada intervalo de 12 minutos, foram estimadas a partir da equação IDF de Pinheiro e Naghettini (1998) e apresentadas por Belo Horizonte (2022). Os hidrogramas de entrada nos dispositivos SBN que tratam apenas a área impermeável (349,9 m²) são apresentados na Tabela 1. As vazões de restrição que os dispositivos devem ser capazes de atender são: de 1,40 L/s para TR de 2 anos, correspondente à vazão máxima do hidrograma de pré-urbanização; e 5,17 L/s para TR de 100 anos, correspondente a 50% da vazão máxima de pós-urbanização.

Tabela 1 – Hidrograma de entrada nos dispositivos SBN advindo da área impermeável

Duração (min)	Intensidade (mm/h)		Vazão (L/s)			
			Pré-Ocupação		Pós-Ocupação	
			TR 2 anos	TR 100 anos	TR 2 anos	TR 100 anos
12	35.97	69.88	0.87	1.7	3.32	6.46
24	40.76	79.2	0.99	1.93	3.77	7.32
36	57.55	111.81	1.4	2.72	5.32	10.33
48	35.97	69.88	0.87	1.7	3.32	6.46
60	28.77	55.9	0.7	1.36	2.66	5.17
72	14.39	27.95	0.35	0.68	1.33	2.58
84	7.19	13.98	0.17	0.34	0.66	1.29
96	7.19	13.98	0.17	0.34	0.66	1.29
108	7.19	13.98	0.17	0.34	0.66	1.29
120	4.8	9.32	0.12	0.23	0.44	0.86

No SWMM, o modelo de infiltração utilizado foi o método do *Curve Number*, baseado no método do NRCS – *National Resources Conservation Service*. Os parâmetros iniciais da sub-bacia que representa o lote foram estimados a partir de suas características físicas (Rosa et al., 2025) e das recomendações do manual do SWMM (Rossman; Simon, 2022): o coeficiente de rugosidade das áreas permeável e impermeável foi fixado em 0,15 e 0,013, respectivamente; a profundidade do armazenamento em depressões nas áreas permeável e impermeável em 5,1 e 1,3, respectivamente; o CN da área permeável foi fixado em 71, de acordo com as características do solo e da cobertura do solo. Como a simulação dos lotes com os parâmetros estimados inicialmente indicou grande diferença nos hidrogramas de saída do SWMM em relação ao HUMRM, os parâmetros de entrada das sub-bacias foram ajustados para que as vazões de pico e os volumes de escoamento se aproximassem, ao máximo, dos obtidos com o HUMRM, considerados como referência.

Os dispositivos microrreservatório (MR) e trincheira de infiltração (TI), foram pré-dimensionados para o lote médio de acordo com as indicações do Capítulo 3 da Instrução Técnica para áreas com condutividade hidráulica de 10⁻⁷ m/s (Belo Horizonte, 2022). Os parâmetros são sintetizados na Tabela 2.

Em seguida, descrevem-se as estratégias adotadas para a representação de cada dispositivo no SWMM.

Tabela 2 – Pré-dimensionamento dos dispositivos LID de acordo com Belo Horizonte (2022)

Parâmetros	MR	TI
Profundidade da camada de armazenamento (m)	-	1.55
Área do dispositivo (m ²)	9.97	46.2
Comprimento do dispositivo (m)	-	76.94
Diâmetro do dispositivo de saída controlada (mm)	26	4.6
Altura do dispositivo de saída controlada (m)	-	1.02
Diâmetro do extravasor (mm)	-	160
Coefficiente de descarga do dispositivo de saída controlada	0.61	0.9
Taxa de armazenamento (L/m ²)	30	-
Percentual do volume na Câmara 1	80%	-

O microrreservatório proposto para controle do escoamento pela Instrução Técnica da PBH possui duas câmaras (Figura 2). A primeira câmara possui cerca de 80% do volume total e deve amortecer a vazão para TR de 2 anos até a equivalente à condição de pré-urbanização e a segunda câmara, com cerca de 20% do volume, deve reduzir 50% da vazão de pico para TR de 100 anos na condição de pós-urbanização.

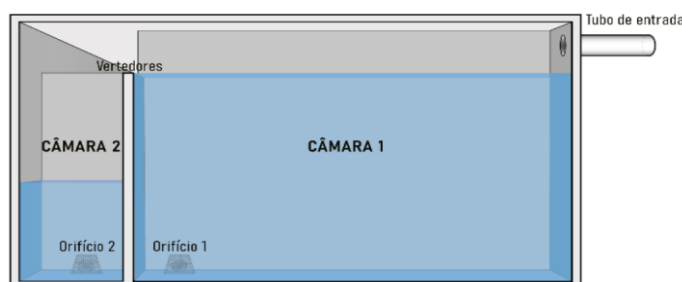


Figura 2 – Croqui do modelo do microrreservatório proposto pela Instrução Técnica (Belo Horizonte, 2022)

A simulação do microrreservatório no SWMM pode ser realizado por meio do *LID Control* do tipo *Rain Barrel*. No entanto, esse dispositivo possui apenas um único volume de armazenamento e um dreno de fundo. Como o SWMM não permite o funcionamento de LID em série dentro de uma mesma sub-bacia, é necessário conceber uma estratégia para representação das duas câmaras que funcionam em série no SWMM. Dias et al. (2025) simularam microrreservatórios de duas câmaras representando as primeiras câmaras como LID do tipo *Rain Barrel* e inserindo as vazões de saída como *inflow* em um nó *Storage unit* que representa a segunda câmara. Esse procedimento, contudo, é bastante trabalhoso para modelagem de vários dispositivos LID em múltiplas sub-bacias, demandando operações manuais de extração das vazões de saída e inserção como série temporal na entrada de cada *Storage unit*. Sendo assim, propôs-se uma representação alternativa (Figura 3), em que a segunda câmara é representada como uma sub-bacia totalmente ocupada pelo LID e é o exutório da primeira sub-bacia, que representa a área impermeável tratada e da câmara 1.

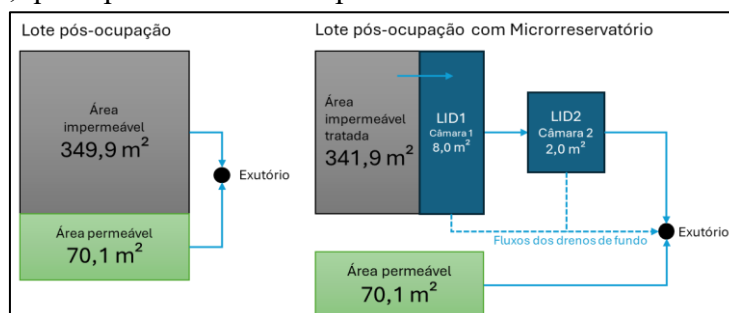


Figura 3 – Modelo de representação do microrreservatório de duas câmaras em série

Os parâmetros do dreno de fundo, coeficiente de fluxo (C) e expoente (η), foram estimados a partir da equação de descarga (Eq. 1) apresentada no Manual de Referência do SWMM – Volume III (Rossman; Huber, 2016).

$$q = C(h)^\eta \quad (1)$$

Fixando-se $\eta = 0,5$, calculou-se C com base na vazão de restrição de 2 anos dividida pela área da Câmara 1, resultando em $C = 20,0$, e na vazão de restrição de 100 anos dividida pela área das duas câmaras, resultando em um $C = 59,0$ para a câmara 2.

Para a simulação da trincheira de infiltração como *LID Control* do tipo *Infiltration Trench*, além dos parâmetros indicados na Tabela 2, foi necessário definir características das camadas da superfície, armazenamento e dreno. Na superfície da trincheira não é permitido armazenamento (Belo Horizonte, 2022), de modo que a profundidade dessa camada foi fixada em zero. Ainda na superfície, a rugosidade foi definida em 0,035 (*rubble or riprap*, de acordo com Rossman e Simon, 2022) e a declividade em 4,37%. Na camada de armazenamento, o índice de vazios foi definido em 30% (Belo Horizonte, 2022) e o fator de colmatação calculado a partir de equação apresentada no Manual de Referência do SWMM (Volume III) em 276,7 (Rossman; Huber, 2016). Por fim, na camada do dreno, como a altura do dreno foi inicialmente fixada em 1,02 m e a altura máxima de armazenamento em 1,55 m conforme Tabela 3, a carga máxima do dreno seria 530 mm. Desse modo, calculou-se o coeficiente de fluxo do dreno em 4,7 a partir da Eq. 1.

Finalmente, os dispositivos pré-dimensionados de acordo com os projetos-tipo foram simulados por ambos os métodos, de Puls e no SWMM, e suas dimensões foram ajustadas para que atendessem exatamente aos critérios definidos pela legislação e a Instrução Técnica, sejam as vazões de restrição para TR de 2 e 100 anos, ou o tempo de esvaziamento máximo de 24 horas para os dispositivos de infiltração (Belo Horizonte, 2022). Desse modo, cada dispositivo alcançou o seu dimensionamento ótimo – a mínima área necessária para atender às vazões de restrição e a mínima altura do dreno de fundo necessária para que o tempo de esvaziamento não ultrapassasse as 24 horas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta os hidrogramas de entrada nas condições de pré e pós-ocupação calculados pelo HUMRM e simulados no SWMM com ajuste dos parâmetros do lote para aproximação das vazões de pico e dos volumes escoados. Observa-se que foi possível ajustar quase perfeitamente os hidrogramas de pós-ocupação. Já na condição de pré-ocupação, foi possível ajustar as vazões de pico e os volumes, mas o formato permaneceu diferente, com tempos de ascensão mais longos para a simulação no SWMM.

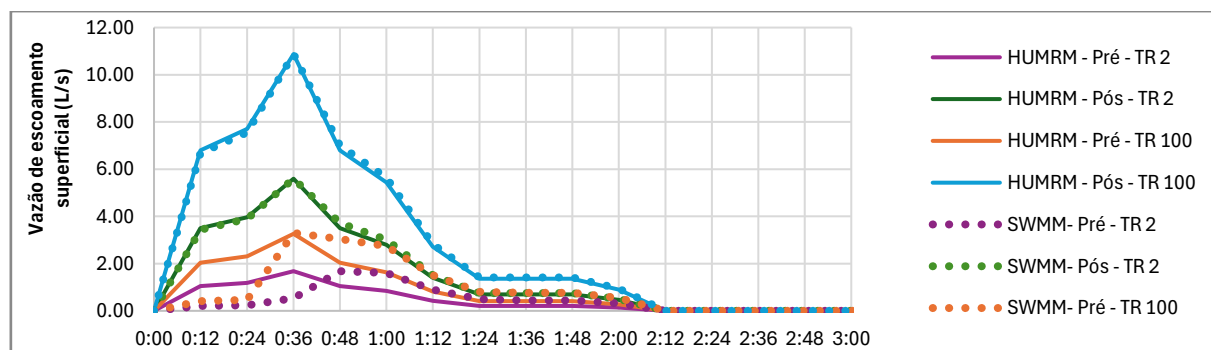


Figura 4 – Hidrogramas obtidos pelo HUMRM e pelo SWMM

Os hidrogramas apresentados na Figura 5 correspondem ao dimensionamento do microrreservatório conforme a Instrução Técnica. Observa-se que, em ambos os métodos há a violação da vazão de restrição para TR de 2 e 100 anos, com o modelo de Puls apresentando vazões ainda superiores.

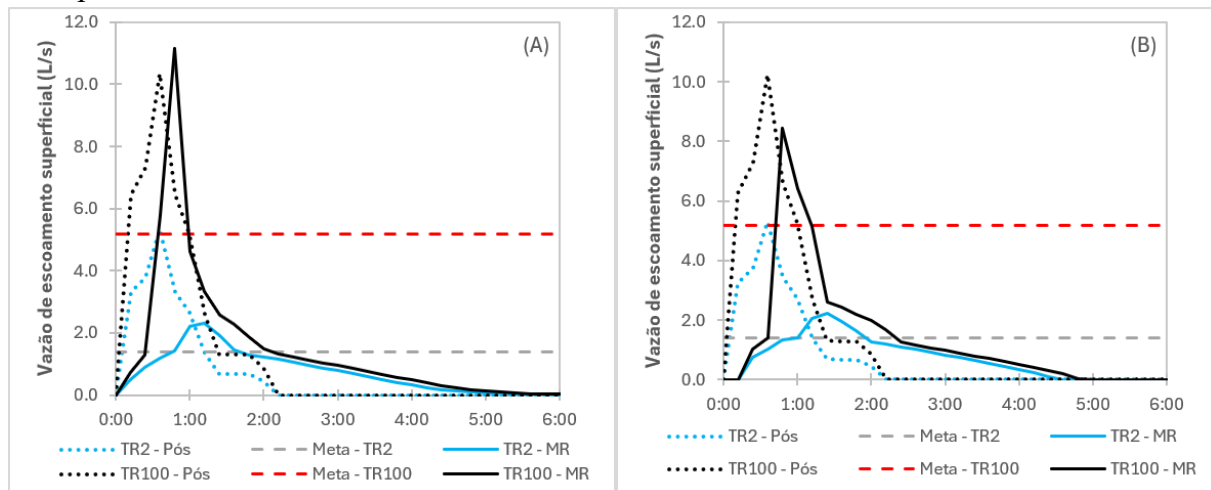


Figura 5 – Hidrogramas obtidos pelo método de Puls (A) e pelo SWMM (B) para o pré-dimensionamento do MR de acordo com a Instrução Técnica

Os hidrogramas da Figura 6 apresentam os resultados após a otimização do dimensionamento, na qual foram ajustados parâmetros com o objetivo de atender simultaneamente às vazões máximas de descarga. Em ambos os métodos houve o aumento do volume total do MR em 75% (com a proporção do volume total na câmara 1 alterada de 80% para 59%) e os coeficientes de descarga para o modelo do SWMM da câmara 1 e 2 foram ajustados para 15,6 e 33,8, respectivamente.

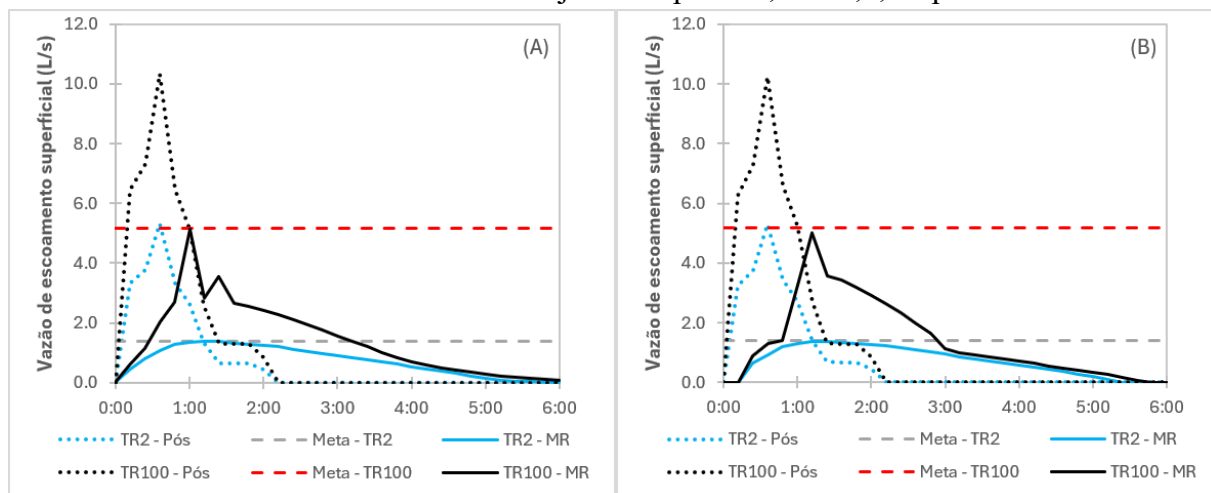


Figura 6 – Hidrogramas obtidos pelo método de Puls (A) e pelo SWMM (B) para o dimensionamento ótimo do MR

Os hidrogramas apresentados na Figura 7 correspondem ao pré-dimensionamento da trincheira de infiltração conforme a Instrução Técnica. Observam-se, para o método de Puls, vazões de pico inferiores aos limites estabelecidos, com uma descarga bem baixa para TR de 2 anos. Já nos resultados do SWMM, verifica-se que apenas a vazão para TR de 2 anos atende ao critério, enquanto para TR de 100 anos ocorre violação do limite de descarga. Adicionalmente, conforme indicado na Tabela 3, o dispositivo não atende ao critério de tempo de esvaziamento inferior a 24 horas. Esse comportamento pode ser atribuído, principalmente, à posição elevada do dreno. Como consequência,

o sistema apresenta elevado amortecimento das vazões, porém com tempos de armazenamento excessivamente prolongados.

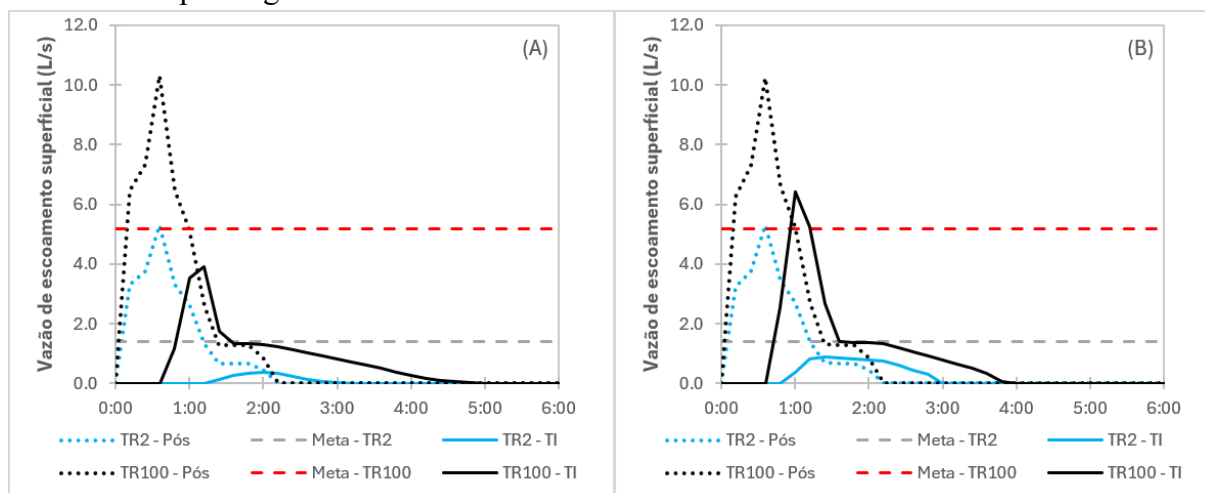


Figura 7 – Hidrogramas obtidos pelo método de Puls (A) e pelo SWMM (B) para o pré-dimensionamento da TI de acordo com a Instrução Técnica

Os hidrogramas da Figura 8 apresentam os resultados após a otimização do dimensionamento, na qual foram ajustados parâmetros com o objetivo de atender simultaneamente às vazões máximas de descarga e ao critério de esvaziamento em até 24 horas. Para o método de Puls, houve redução do comprimento da trincheira de 76,9 m para 70,0 m, o dreno foi reposicionado próximo ao fundo, a 0,09 m, elevando a carga hidráulica máxima para 1,46 m, e seu diâmetro foi recalculado em 19,2 mm. Como resultado, observa-se que as vazões de saída se aproximam dos valores de referência, indicando que o dispositivo manteve sua capacidade de amortecimento mesmo após a redução de suas dimensões. No caso do SWMM, o aumento da estrutura foi necessário para garantir o atendimento ao limite de vazão. Dessa forma ajustou-se o comprimento para 83,4 m, aumentando em 10,4% a área. O dreno foi posicionado no fundo e o coeficiente de descarga do dreno foi recalculado para 2,5 mm/h. Para ambos os modelos, o reposicionamento do dreno próximo ao fundo foi determinante para o atendimento do critério de esvaziamento em 24 horas, pois passou a permitir uma drenagem mais eficiente do volume armazenado, reduzindo a dependência exclusiva da infiltração no solo.

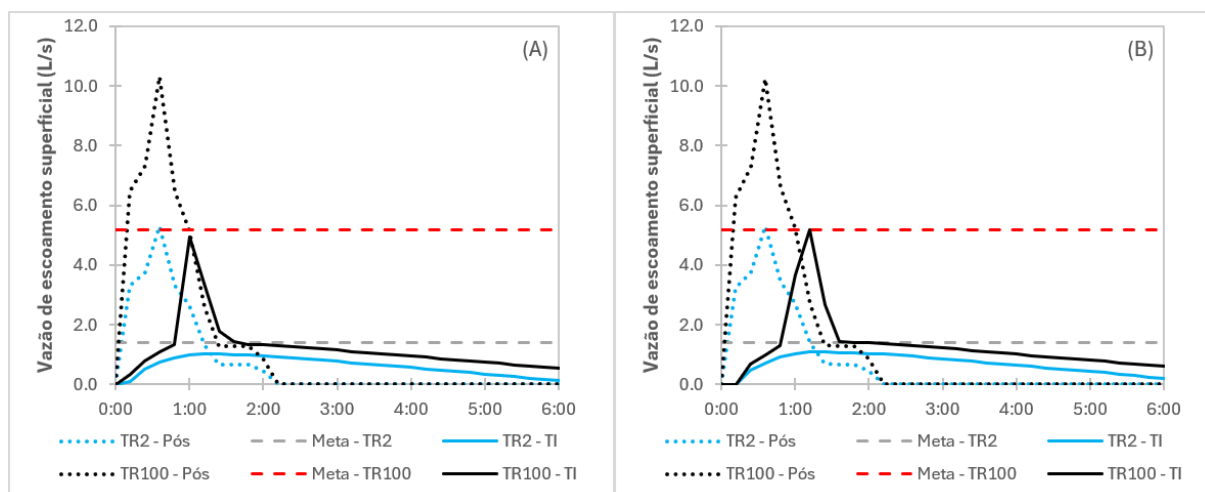


Figura 8 – Hidrogramas obtidos pelo método de Puls (A) e pelo SWMM (B) para o dimensionamento ótimo da TI

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados para TI e MR em ambos os métodos (Puls e SWMM), com o dimensionamento prévio e otimizado.

Tabela 3 – Comparação dos resultados dos dimensionamentos e métodos de verificação

Critérios	Microrreservatório				Trincheira de Infiltração			
	Prévio		Otimizado		Prévio		Otimizado	
	Puls	SWMM	Puls	SWMM	Puls	SWMM	Puls	SWMM
Área (m ²)	9.97	9.97	17.4	17.4	46.2	46.2	42	51
Percentual na Câmara 1	80%	80%	59%	59%	-	-	-	-
Diâmetro do dreno (mm)	26	-	26	-	24.8	-	19.2	-
Coefficiente do dreno (Câmara 1)	-	20	-	15.6	-	4.7	-	2.5
Coefficiente do dreno (Câmara 2)	-	59	-	33.8	-	-	-	-
Altura do dreno (m)	0	0	0	0	1.02	1.02	0.09	0
Tempo de esvaziamento (h) - TR 2	5.2	4.6	7.4	5.4	98.4	100.4	18.4	6.6
Tempo de esvaziamento (h) -TR 100	5.8	5	7.6	5.8	100	101.8	20.2	8.4
Vazão de pico (L/s) - TR 2	3.8	2.22	1.4	1.38	0.38	0.91	1.02	1.09
Vazão de pico (L/s) - TR 100	11.34	8.44	5.12	5.02	3.89	6.41	4.95	5.17
Altura máxima NA (m) - TR 2	1.01	1	0.95	0.98	1.06	1.24	0.86	0.94
Altura máxima NA (m) - TR 100	1.02	1	1.01	1	1.56	1.63	1.54	1.55

Os resultados obtidos revelam discrepâncias entre os dimensionamentos prescritos pela Instrução Técnica da PBH e o desempenho verificado tanto pelo método de Puls quanto pelo SWMM. Para o microrreservatório, ambos os métodos identificaram violação das vazões de restrição no dimensionamento original, com o método de Puls apresentando vazões de pico ainda mais elevadas. Para a trincheira de infiltração, o dimensionamento original mostrou-se superestimado pelo método de Puls, mas insuficiente no SWMM para o evento de TR de 100 anos, além de apresentar tempos de esvaziamento muito superiores ao limite de 24 horas (chegando a mais de 100 horas). Essa divergência decorre, em parte, das diferentes hipóteses adotadas por cada método quanto à área de infiltração efetiva: enquanto o método de Puls considera metade das superfícies laterais da trincheira, o SWMM restringe a infiltração predominantemente à área de fundo, resultando em capacidades de escoamento distintas para as mesmas dimensões físicas. Em ambos os dispositivos, o reposicionamento do dreno próximo ao fundo foi determinante para o atendimento do critério de esvaziamento em 24 horas. Esse ajuste aumenta a carga hidráulica disponível sobre o dreno ao longo de quase todo o esvaziamento, acelerando a saída do volume armazenado e reduzindo a dependência exclusiva da infiltração no solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou que os projetos-tipo de microrreservatório e trincheira de infiltração propostos pela Instrução Técnica da PBH, quando simulados nas condições do lote médio do vale do Córrego do Jatobá, não atendem integralmente aos critérios de restrição de vazão e de tempo de esvaziamento estabelecidos pelo Plano Diretor de Belo Horizonte. Os ajustes necessários para o atendimento simultâneo a todos os critérios implicaram redimensionamentos expressivos, especialmente para o microrreservatório, e alterações no posicionamento do dreno de fundo em ambos os dispositivos.

A estratégia de representação do microrreservatório de duas câmaras no SWMM por meio de sub-bacias em série mostrou-se uma alternativa viável e de mais fácil implementação em modelos com múltiplos lotes e sub-bacias. Os parâmetros calibrados e os procedimentos descritos neste trabalho podem servir de referência para a modelagem de IVA em escala de bacia no município.

Recomenda-se que a Instrução Técnica da PBH seja revisada para incorporar taxas de armazenamento que permitam que o microrreservatório atenda às vazões de restrição e orientações explícitas sobre o posicionamento do dreno de fundo em relação ao critério de esvaziamento em 24 horas. A incorporação dessas recomendações fortaleceria a efetividade da política municipal de drenagem sustentável e ampliaria a capacidade de controle do escoamento superficial na escala do lote, contribuindo para a redução de inundações em escala de bacia.

REFERÊNCIAS

BELO HORIZONTE. (2019). “*Lei n. 11.181: Plano Diretor Municipal*”. Belo Horizonte: Diário Oficial do Município.

BELO HORIZONTE. (2022). “*Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem - Capítulo 3: Controle na Fonte e Lançamento no Sistema Público de Drenagem*”. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/instrucao-estudos-e-projetos-de-drenagem> Acesso: 25 set. 2023.

DIAS, M. L.; SILVA, T. F. G.; DRUMOND, P. P.; ROSA, D. W. B.; MOURA, P. M. (2025). “*Evaluating the performance of on-site stormwater detention based on the technical guidelines for developing stormwater projects in Belo Horizonte (MG, Brazil)*”. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 30, p. e44.

ROSA, D. W. B.; RAMOS, A. P.; DELEFRATE, M. P. S. M.; NASCIMENTO, N. O.; ARAÚJO, R. P. Z.; MENDONÇA, J. G.. “*Participação social na construção de cenários de implantação de Infraestrutura Verde e Azul: estudo de caso em Belo Horizonte*”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 26., 2025, Vitória, ES. *Anais*. ABRH, 2025. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/248/XXVI-SBRH0266-1-0-20250623-111345.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PINHEIRO, M. M. G.; NAGHETTINI, M. (1998) “*Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na região metropolitana de Belo Horizonte*”. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 31, n. 3, p. 73-88.

ROSA, D. W. B.; NASCIMENTO, N. O.; MOURA, P. M.; MACEDO, G. D. (2020). *Assessment of the hydrological response of an urban watershed to rainfall-runoff events in different land use scenarios – Belo Horizonte, MG, Brazil*. Water Science & Technology, London, v. 81, n. 4, p. 679–693.

ROSSMAN, L. A.; HUBER, W. C. (2016). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100P2NY.PDF?Dockey=P100P2NY.PDF>

ROSSMAN, L. A.; SIMON, M. A. (2022). *Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.2*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/swmm-users-manual-version-5.2.pdf>

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem às agências de fomento à pesquisa, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro, e à Prefeitura de Belo Horizonte pelo fornecimento de dados essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Esta pesquisa é parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Observatório Nacional de Segurança Hídrica e Gestão Adaptativa (INCT-ONSEAdapta).