

MODELAGEM E DIAGNÓSTICO DO CÓRREGO MERGULHÃO

João Pedro Nascimento de Souza¹ ; Deyvid Wavel Barreto Rosa¹ & Talita Fernanda das Graças Silva¹

RESUMO – O crescimento urbano desordenado, dissociado de um planejamento resiliente, acarreta diversos impactos sociais e ambientais e demanda um gerenciamento eficiente de bacias hidrográficas urbanas. A falta de harmonia entre o ambiente construído e o meio natural é característica do processo de metropolização de Belo Horizonte, e é agravada pela atual crise climática, que intensifica a frequência e a magnitude de eventos hidrológicos extremos. Este trabalho analisa a bacia do Córrego Mergulhão, cuja foz está na lagoa da Pampulha. A área é atravessada pela Avenida Carlos Luz, eixo viário estratégico que conecta a região central do município ao Estádio Mineirão e que apresenta vulnerabilidade a inundações, como a registrada em 17 de março de 2025. O objetivo deste estudo é diagnosticar a capacidade de escoamento do sistema de macrodrenagem local frente a diferentes cenários hidrológicos, utilizando o software SWMM (*Storm Water Management Model*), para modelar as condições hidráulicas e hidrológicas do canal. Foram realizadas simulações sob eventos de precipitação real e teórica, adotando um Tempo de Retorno (TR) de 25 anos, conforme as diretrizes de projeto da Prefeitura de Belo Horizonte. A análise foca na comparação entre o cenário de canal livre e o de obstrução, visando subsidiar estratégias de gestão.

Palavras-Chave – Modelagem Hidrológica, SWMM, Bacia da Pampulha

ABSTRACT– Unplanned urban growth, when disconnected from resilient planning, generates a range of social and environmental impacts and calls for effective management of urban watersheds. The lack of integration between the built and natural environments is a characteristic of the metropolization process of Belo Horizonte, and is further exacerbated by the ongoing climate crisis, which increases the frequency and intensity of extreme hydrometeorological events. This work analyzes the Mergulhão Stream watershed, whose outlet is in Lake Pampulha. The area is crossed by Carlos Luz Avenue, a strategic road axis that connects the central region of Belo Horizonte to Mineirão Stadium and presents vulnerability to flooding, such as that recorded on March 17, 2025. The objective of this study is to diagnose the flow capacity of the local macrodrainage system under different hydrological scenarios, using the SWMM (*Storm Water Management Model*) software to model the hydraulic and hydrological conditions of the channel. Simulations were carried out under real and theoretical precipitation events, adopting a Return Period (RP) of 25 years, in accordance with the design guidelines of the Municipality of Belo Horizonte. The analysis focuses on the comparison between the free-channel scenario and the obstruction scenario, aiming to support management strategies.

Key-words – Hydrological modeling, SWMM, Pampulha Watershed

1) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Avenida Antônio Carlos, 6627, Escola de Engenharia, Bloco I, sala 4610, Campus Pampulha – Pampulha – 31270-901 – Belo Horizonte (MG), Brasil – Fone: (31) 3409-1870 – E-mail: ; joaopns9803@ufmg.br; dwbrosa@ufmg.br; talita.silva@chr.ufmg.br; .

INTRODUÇÃO

Bacias urbanas são desafiadoras e demandam gestão eficiente para evitar degradação à sociedade, uma vez que a urbanização apresenta relação conflituosa com o meio ambiente. O município de Belo Horizonte (Minas Gerais) apresenta um histórico significativo de ocorrência de inundações. De acordo com Lucas et al. (2015), a regional Pampulha apresentou a maior média de registros de impactos hidrometeorológicos do município entre 2009 e 2012, concentrando 27,4% dos registros de inundações.

O presente trabalho, de caráter exploratório e fundamentado em revisão bibliográfica, tem como objetivo analisar o comportamento hidrológico e hidráulico do córrego Mergulhão, contemplando a descrição da construção e execução no software EPA SWMM 5.2.4, da modelagem dos processos de escoamento superficial e de propagação de onda de cheia. O estudo concentra-se nos trechos mais críticos ao longo do canal e busca discutir os principais fatores causadores de inundações na bacia.

METODOLOGIA

Área de estudo

A área de estudo é a bacia do córrego Mergulhão (Figura 1), que integra a bacia da lagoa da Pampulha no município de Belo Horizonte. O córrego Mergulhão é um dos oito afluentes que desaguam na lagoa da Pampulha (LIMA; ASSIS; IBRAHIM, 2016). Com extensão total do canal de 3,6 km e área de drenagem de 3,37 km², o canal do córrego Mergulhão apresenta trechos naturais e canalizados. Aproximadamente 1,5 km do leito principal atravessa o Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), passando pela Estação Ecológica, trecho em que apresenta boas condições de preservação graças à vegetação ciliar e à existência de solos permeáveis (CASTRO, 2003). A bacia hidrográfica do córrego Mergulhão está inserida em área urbana, no entanto, possui significativa área de cobertura vegetal, principalmente nas áreas pertencentes ao Parque Tecnológico de Belo Horizonte BH-TEC e à Estação Ecológica da UFMG. A bacia possui aproximadamente 59% de área composta por vegetação arbórea, 28% de área impermeabilizada, 7% de gramíneas e apenas 6% de solo exposto. Quanto à morfologia, o talvegue principal possui 3,6 km de comprimento, o coeficiente de compacidade é de 1,53 o coeficiente de forma (kf) é 0,26 e a declividade média é de 11,06. Todos esses parâmetros indicam que a bacia possui forma mais alongada, fator positivo para drenagem pois tende a aumentar o tempo de concentração amortecendo as cheias na bacia.

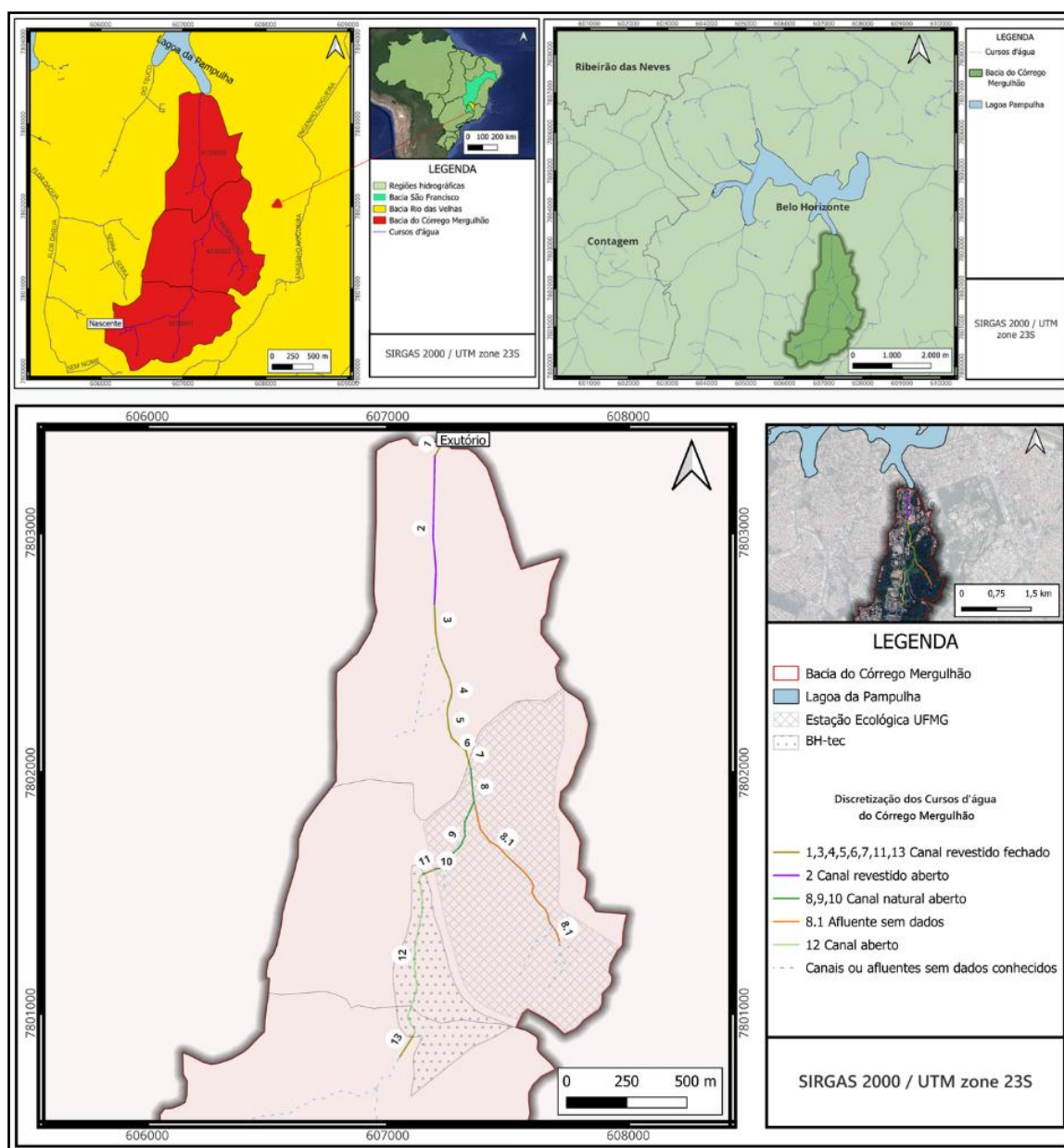


Figura 1 - Localização da bacia do córrego Mergulhão e discretização dos canais.

Coleta e obtenção de dados

Para realização do presente estudo foram levantados dados em campo para avaliar as condições do canal do Córrego Mergulhão. Realizou-se uma visita no dia 18/10/2025 às várias seções do canal, levantando-se dados altimétricos, coordenadas geográficas de pontos estratégicos e registro de fotos (Figura 2). Durante a inspeção ao longo do córrego, mais precisamente na área que atravessa o BH-TEC, foram identificadas seções com muitas irregularidades e com o revestimento em gabião deformado pelo desprendimento de pedras que o compõem. Além disso, foram identificadas seções com dimensões de largura e profundidade distintas, e foi possível observar um grande acúmulo de

resíduos no canal, que resultou na obstrução de parte da seção do trecho que atravessa a Avenida Carlos Luz (Figura 1, trecho 11). Tal fato gerou preocupação sobre como essa obstrução poderia afetar o comportamento hidráulico do escoamento pelo córrego e serviu de motivação para estudar as condições de trabalho do canal em cenários com e sem obstrução.



Figura 2 – Fotos dos trechos visitados em 18/10/2025.

Na visita de campo foram coletados dados das geometrias irregulares utilizando-se uma técnica simplificada com mangueira de nível e régua graduada. Então, traçou-se os pontos de mesma altitude e determinou-se as diferenças de altura. Posteriormente, com as coordenadas geográficas obtidas localmente e o Modelo Digital de Terreno (PRODABEL, 2013) foi possível estabelecer a cota e elaborar o perfil transversal de cada seção (Figura 3). Em azul estão indicadas as seções geradas a partir do MDT, e de laranja as seções levantadas em campo. Ficou nítido como ambas as representações se aproximam comprovando a fidelidade do modelo gerado pelo MDT.

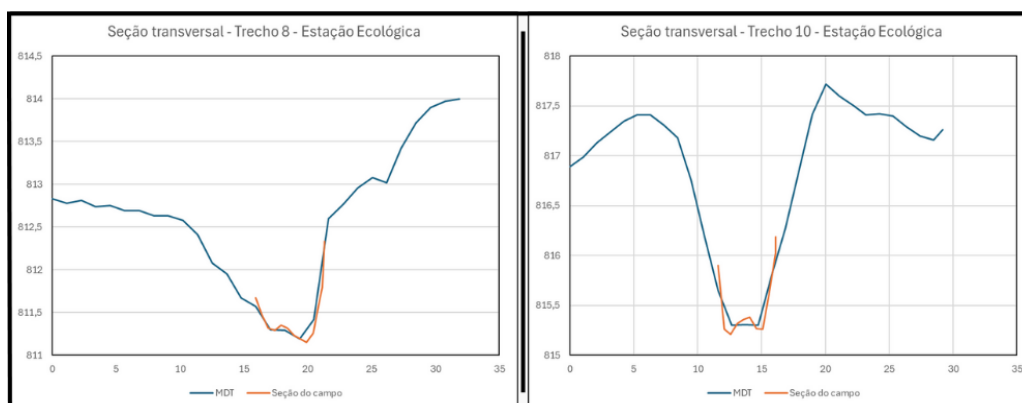


Figura 3 – Seções transversais obtidas em campo.

Além dos dados coletados em campo também foram levantadas informações junto à Prefeitura de Belo Horizonte, como MDT utilizado (PRODABEL, 2013), a classificação de uso e ocupação do solo da bacia (FCO, 2021), limites regionais e hidrográficos (PBH, 2026), além da obtenção de dados das seções dos canais (BELO HORIZONTE, 2002), com exceção dos trechos 9 e 10, em que os dados foram levantados manualmente dando origem às seções apresentadas na Figura 3.

Modelagem Hidráulica e Hidrológica

Para realizar a simulação foi utilizado o software SWMM 5.2.4, modelo determinístico e semi-distribuído que simula a transformação chuva-vazão e a propagação de ondas em canais. Neste estudo, optou-se pela simulação de eventos discretos de precipitação. Inicialmente foram calculados parâmetros hidrológicos de cada sub-bacia, conforme mostrado na Tabela 1, para posteriormente serem adicionados ao SWMM. Os valores do Curve Number (CN) das áreas permeáveis foram calculados considerando solo do grupo hidrológico B, com taxa de infiltração moderada quando completamente saturado, predominantemente de profundidade moderada a profunda, moderadamente drenados a bem drenados, e com textura que varia de moderadamente fina a moderadamente grossa. Logo foi estabelecido o valor do CN de 55 para cobertura arbórea, 61 para vegetação gramínea e 79 para solo exposto (ROSSMAN, SIMON, 2022).

Tabela 1 – Principais parâmetros hidrológicos do modelo da bacia do córrego Mergulhão no SWMM.

Parâmetros	Sub-bacia	Sub-bacia	Sub-bacia
Código da sub-bacia	4130601	4130602	4130603
Perímetro(m)	4748,087	5481,763	4617,068
Área(ha)	111,900	132,700	92,640
largura(m)	653,118	632,561	520,833
pcSlope	14,172	10,927	7,515
pcImperv	0,346	0,139	0,397
Nimperv	0,011	0,011	0,011
Nperv	0,335	0,380	0,300
Simperv(mm)	0,225	0,225	0,225
Sperv(mm)	0,699	0,736	0,653
Vegetação arbórea	0,518	0,798	0,399
Vegetação Gramínea	0,053	0,047	0,112
Solo exposto	0,083	0,016	0,092
Área impermeável	0,346	0,139	0,397
CN da área permeável	58,535	55,779	59,766

Para simulação hidráulica, o canal do córrego Mergulhão foi dividido nos 13 trechos representados na Figura 1, com altura, largura, rugosidade e comprimento característicos. Cabe destacar que há uma estrutura de retenção no início do trecho 9 que foi representada utilizando as curvas cota-descarga e cota-área (Figura 4) estimadas, respectivamente, a partir das características geométricas da estrutura de descarga (vertedor tulipa) e do modelo digital do terreno.

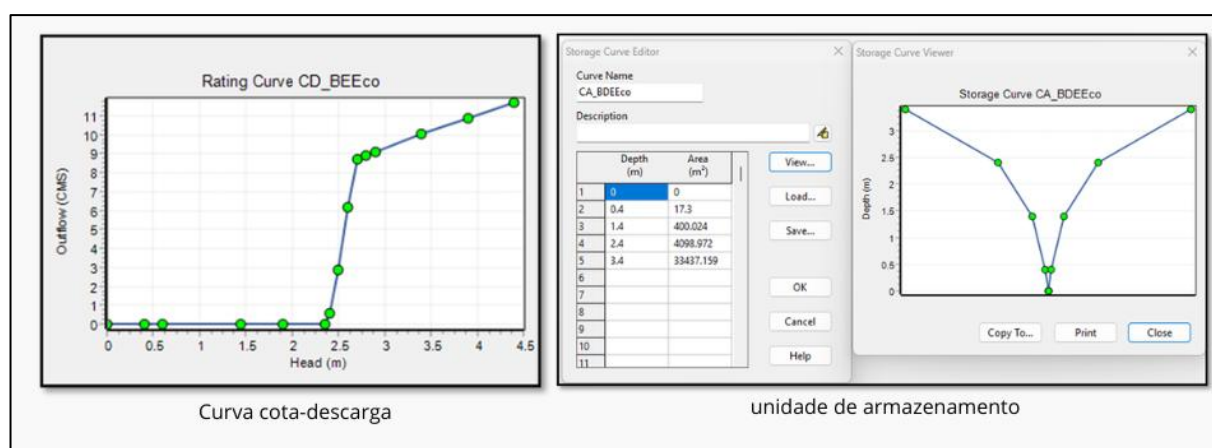


Figura 4 – Curva cota-descarga e curva de vazão em função da cota.

Visando a representação da parte hidráulica do sistema foram usados dados geométricos e topológicos. Definiu-se o coeficiente de Manning (n) de 0,030 para trechos em leito natural e 0,015 para trechos canalizados ou com superfícies revestidas, condizendo com a recomendação técnica (ROSSMAN, SIMON, 2022).

Para modelagem foram empregados o evento chuvoso observado em 17 de março de 2025 de altura precipitada 27,29 mm, duração de 115 minutos e TR menor que 1 ano e a chuva de projeto, de período de retorno de 25 anos, com duração de 65 minutos e altura da chuva de 64,05 mm, conforme recomendado na Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem (PBH, 2022). Ainda de acordo com essa publicação, utilizou-se a equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) de Belo Horizonte, discretizou-se as precipitações em 5 minutos e, a partir da identificação do pico de maior vazão, obteve-se o tempo de concentração da bacia, estimado em 65 minutos.

Validação do Modelo

Devido à falta de dados fluviométricos ou de eventos hidrológicos monitorados e, com finalidade de verificar se a resposta hidrológica e hidráulica do modelo estava coerente com a realidade, realizou-se a validação da modelagem hidrológica-hidráulica através de imagem obtida do evento de inundação do dia 17 de março de 2025. Cabe destacar que esse método já foi empregado anteriormente em estudos de modelagem hidráulica quando não há medições diretas (Valério e Negrão, 2019). O procedimento consistiu em estimar a lâmina d'água utilizando proporção visual de um veículo CAO A Chery Tiggo 5x registrado em uma imagem obtida através do Portal G1 (GLOBOPLAY, 2025). Utilizando uma régua digital estabeleceu-se uma relação entre unidades arbitrárias na imagem e a dimensão real do veículo segundo o manual do fabricante e considerando o diâmetro da roda de aro 17 e 18. Aplicou-se uma regra de três, encontrando-se os valores prováveis

para medida. Na sequência, procedeu-se com o cálculo da média dos valores encontrados para cada aro, chegando-se ao valor de 31 cm de lâmina d'água.

Cenários de simulação

A partir da entrada dos dados foi realizada a simulação usando o software SWMM e encontrados os resultados para a chuva de tempo de retorno de 25 anos considerando o canal obstruído e sem obstrução, ou seja, variando a profundidade do canal e procedeu-se a mesma análise para o canal considerando a chuva observada em março de 2025.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram obtidas as porcentagens de chuva infiltrada e escoada, bem como as vazões para os eventos de chuva simulados (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados de escoamento infiltração, volume escoado e vazão de pico.

-	TR_25			Chuva Observada		
	4130601	4130602	4130603	4130601	4130602	4130603
Porcentagem de chuva que infiltrou	49	58	46	58	63	56
Porcentagem da chuva que escoou na superfície impermeável	25	25	25	24	24	24
Porcentagem da chuva que escoou na superfície permeável	8	3	7	1	0	1
Volume escoado (m³)	23570	23830	19270	8460	9550	6930
Vazão de pico (m³/s)	10,79	12,30	8,73	4,17	4,71	3,29

A Tabela 3 apresenta os trechos analisados e resultados encontrados para o evento de TR25 e para a chuva observada, considerando o canal livre e com obstrução, sendo que a segunda coluna apresenta os dados de altura da seção de cada trecho. O trecho T_Ponte equivale ao local onde passa uma ponte e os trechos T_11sup e T_13sup equivalem respectivamente à superfície pavimentada sobre os canais subterrâneos T_11 e T_13, ou seja, a presença de lâmina d'água nesses trechos indica elevação do nível da água além do suportado pela galeria atingindo a via, evidenciando a ocorrência de inundação.

Tabela 3 – Parâmetros hidráulicos para TR25, chuva observada sem obstrução e com obstrução do canal.

Trecho	Altura (m)	Chuva observada Canal livre	Chuva observada Canal obstruído	TR25_65min Canal livre
--------	------------	-----------------------------	---------------------------------	------------------------

		Vazão Máx. (m³/s)	Veloc. Máx. (m/s)	Prof. (m)	Vazão Máx. (m³/s)	Veloc. Máx. (m/s)	Prof. (m)	Vazão Máx. (m³/s)	Veloc. Máx. (m/s)	Prof. (m)
-	-									
T_13	1,70	4,17	0,35	0,51	4,17	2,78	0,50	09,74	3,25	1,00
T_12	1,50	8,62	0,60	0,59	8,57	2,26	0,84	14,94	3,94	0,84
T_11	2,00	8,56	0,29	0,43	3,29	5,6	1,00	14,94	6,23	0,60
T_10	0,98	8,56	0,15	0,42	8,24	2,62	0,41	14,94	3,62	0,54
T_09	0,98	8,54	0,14	0,38	8,19	2,59	0,37	14,94	2,89	0,49
T_08	1,34	8,46	0,05	0,43	8,05	1,59	0,41	14,93	2,02	0,56
T_06	1,80	6,93	0,31	0,49	6,03	2,52	0,45	9,60	2,94	0,64
T_05	2,00	6,93	0,45	0,46	6,03	3,63	0,41	9,60	4,08	0,59
T_04	2,00	6,93	0,45	0,43	6,02	3,97	0,38	9,60	4,62	0,59
T_03	2,95	9,25	0,21	0,31	7,95	3,30	0,28	16,94	3,93	0,49
T_02	3,80	9,25	0,13	0,26	7,96	2,63	0,24	16,94	3,37	0,40
T_Ponte	3,00	9,60	0,35	0,37	8,24	3,17	0,34	18,08	4,06	0,55
2.1	3,80	9,25	0,14	0,19	7,95	3,61	0,17	16,99	4,70	0,29
T_01	1,40	9,25	0,36	0,40	7,96	2,26	0,36	17,02	2,89	0,60
T_11sup	-	0,00	0,00	0,00	5,39	1,03	0,17	0,00	0,00	0,00
T_13sup	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43	0,08	0,14
T_07	1,80	6,93	-	-	6,03	-	-	9,6	-	-

Comparando as profundidades de escoamento com a altura dos trechos, fica evidente que a chuva de TR25 foi suportada, atendendo às recomendações da PBH, inclusive no trecho 11, referente ao local da inundação na chuva observada. O canal livre também seria capaz de transportar a chuva observada. Considerando que no trecho situado sob a Avenida Carlos Luz ocorreu o evento de inundação durante a chuva observada, foram selecionados os trechos mais críticos (trechos T_11, T_12, T_13, T_11sup e T_13sup) para análise mais completa, considerando o canal obstruído e desobstruído para elaboração das tabelas a seguir (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros hidráulicos para chuva observada.

Trecho	Altura (m)	Vazão máxima(m³/s)		Profundidade máxima(m)		Velocidade máxima(m³/s)		Tempo (minutos) ≥ capacidade máxima	
		Obstruído	Sem obstrução	Obstruído	Sem obstrução	Obstruído	Sem obstrução	Obstruído	Sem obstrução
T_11sup	-	5,38	0	0,29	0	1,03	0	0	0
T_13sup	-	0	0	0	0	0	0	0	0
T_13	1,7	4,15	4,15	0,84	0,87	2,76	2,65	0	0
T_12	1,5	8,31	8,31	1,25	0,85	2,22	3,25	0	0
T_11	2	2,91	8,38	0,3	0,85	4,86	4,92	50	0

A análise da Tabela 4 evidencia que a obstrução altera drasticamente as condições do canal, levando-o à sobrecarga. Observa-se um aumento da profundidade máxima do escoamento no canal

T₁₁, enquanto o trecho T₁₁ Superfície apresentou uma lâmina de 29 cm. Esse valor indica a ocorrência de um transbordamento que se aproxima consideravelmente dos 31 cm medidos na inundação real. Em contrapartida, nas condições normais (sem obstrução), não houve nível d'água no canal superficial, indicando que o sistema suporta bem a chuva de projeto quando desobstruído.

Tabela 5 – Parâmetros hidráulicos para chuva TR₂₅.

Trecho	Altura do canal (m)	Vazão máxima(m ³ /s)		Profundidade máxima(m)		Velocidade máxima(m ³ /s)		Tempo (minutos) ≥ capacidade máxima	
		Obstruído	Sem Obstrução	Obstruído	Sem Obstrução	Obstruído	Sem Obstrução	Obstruído	Sem Obstrução
T ₁₁ sup	-	11,72	0	0,39	0	1,24	0,00	0	0,00
T ₁₃ sup	-	1,68	1,41	0,67	0,62	0,09	0,08	0	0,00
T ₁₃	1,70	8,71	8,91	1,7	1,70	3,22	3,11	30	25,00
T ₁₂	1,50	14,51	14,94	1,5	1,26	3,22	3,94	35	0,00
T ₁₁	2,00	2,92	14,94	0,3	1,20	4,87	6,22	95	0,00

Já os dados da Tabela 5 mostram que, sem a obstrução, o trecho T₁₁ Superfície não apresentou escoamento, embora o T₁₃ Superfície já demonstrasse uma lâmina elevada. Ao considerar o cenário com obstrução, o canal T₁₁ falhou, gerando acúmulo de água na superfície, enquanto no T₁₃ Superfície a lâmina d'água tornou-se ainda maior. Esses resultados comprovam o impacto crítico da obstrução no desempenho do sistema e reforçam a importância da manutenção preventiva.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, fica evidente o quanto a obstrução do canal é capaz de comprometer o funcionamento hidráulico no curso d'água e acarretar problemas diversos ao entorno. Diante desse exposto, fica claro que a gestão das bacias deve acontecer de forma eficiente, pois uma gestão correta evitaria que o córrego tivesse obstruções tão significativas resultantes do acúmulo de resíduos diversos. O modelo também retrata como é mais difícil gerenciar bacias urbanas, pois estas estão sujeitas a lançamentos dos mais diversos e todo material lixiviado tende a ir para o leito, aumentando a chance de contaminantes diferentes e causando acúmulo de resíduos ao longo do canal.

Cabe salientar que a modelagem mostrou que alguns trechos entraram em sobrecarga quando considerada a obstrução por resíduos na simulação de chuva de TR₂₅, de modo que o canal não cumpre a recomendação da prefeitura. Porém, para a chuva observada, sem obstrução, ele trabalha bem. Logo, faltou gestão eficiente para evitar o acúmulo de resíduos e a deterioração dos canais, o

que prejudicou severamente o desempenho da infraestrutura e pode ser considerado fator fundamental na inundação ocorrida no evento de março de 2025. Além disso, recomenda-se o uso da bacia em questão como bacia-modelo para estudos, pois ela abrange regiões localizadas no campus Pampulha da UFMG e no polo tecnológico BH-TEC, áreas fechadas e bem preservadas, favoráveis à instalação de equipamentos de monitoramento hidrológico.

REFERÊNCIAS

- BELO HORIZONTE. *Atlas dos diagramas dos canais revestidos do sistema de macrodrenagem: Bacia do Ribeirão do Onça*. Belo Horizonte: PBH, 2002.
- CASTRO, J. A. *Análise da qualidade da água da bacia do córrego Mergulhão em Belo Horizonte - MG*. 2003. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- FCO – Fundação Christiano Ottoni. *Relatório sobre o mapeamento dos valores de CN e coeficiente de escoamento superficial nos cenários atual e futuro*. Belo Horizonte, 2021.
- GLOBOPLAY. *Enchente na Avenida Carlos Luz em Belo Horizonte*. Vídeo, 2025. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/13434906/?s=0s>. Acesso em: 21 nov. 2025.
- LIMA, G. A.; ASSIS, N. G.; IBRAHIM, E. R. B. *Diagnóstico dos córregos de influência direta da Lagoa da Pampulha com base nos requisitos do código florestal brasileiro por meio da utilização das ferramentas do SIG*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: IBEAS, 2016.
- LUCAS, T. P. B. et al. Impactos hidrometeorológicos em Belo Horizonte-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 16, p. 7-28, 2015.
- PBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. *Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana*. Belo Horizonte: SMOBI/DGAU, 2022.
- PBH. *BHMap*. Disponível em: <https://bhmap.pbh.gov.br/>. Acesso em: 16 maio 2026.
- PRODABEL. *Base de dados georreferenciados*. Belo Horizonte: PBH, 2013.
- ROSSMAN, Lewis A.; SIMON, Michelle 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>
- VALÉRIO, E. L. S.; NEGRÃO, A. C. *Mapeamento de pontos de inundação em áreas urbanas usando o Google Street View*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2019.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à UFMG, à CAPES, ao CNPq, e à Prefeitura de Belo Horizonte pelo apoio na realização desse estudo. A terceira autora agradece a bolsa FAPEMIG-CNPq (APQ-06545-24).