

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

FORMAÇÃO DE BRECHAS E DAM BREAK: RETROANÁLISE DA RUPTURA DA LAGOA DO NADO EM BELO HORIZONTE/MG

Daniel de Abreu Henriques¹; Lúcio Flávio de Souza Villar²

Abstract: Dams are essential infrastructures for water resources management but can pose significant risks. In urban environments, these risks are heightened, particularly regarding flood attenuation functions. This study presents a back-analysis of the failure of the Lagoa do Nado dam, located in Belo Horizonte, Brazil, which collapsed in November 2024 due to an intense rainfall event that led to overtopping, in which it was unable to attenuate the inflows. The objective of this study was to estimate breach parameters using regression equations from the literature and compare them with actual event data, in addition to performing a Dam Break simulation. The results revealed limitations in the regression equations, as only one produced estimates consistent with the observed data. On the other hand, the numerical simulation accurately reproduced the flood extent and highlighted the impacts and damages observed during the event.

Resumo: As barragens são infraestruturas essenciais na gestão de recursos hídricos, mas podem apresentar riscos significativos. Em meio urbano, os riscos se intensificam, especialmente em relação à função de amortecimento de cheias. O presente trabalho realiza uma retroanálise do rompimento da barragem da Lagoa do Nado, em Belo Horizonte/MG, ocorrido em novembro de 2024 em decorrência de um evento intenso de precipitação e de um galgamento, sendo incapaz de realizar o amortecimento das vazões. O estudo teve como objetivo estimar os parâmetros de brecha, com base em equações de regressão da literatura, comparando-os com os valores reais, além de realizar a simulação do Dam Break. Os resultados evidenciaram uma limitação dessas equações, em que apenas uma teve estimativas compatíveis com os dados reais, enquanto a simulação numérica apresentou a mancha de inundação com precisão, além de evidenciar os impactos e os danos observados no evento.

Palavras-Chave – Parâmetros de Brecha, Dam Break, Lagoa do Nado.

INTRODUÇÃO

As barragens possuem potenciais riscos socioeconômicos e ambientais, mas são estruturas essenciais na gestão eficaz dos recursos hídricos (ANA, 2024). A segurança de barragens é um ponto crítico para os órgãos públicos e os empreendedores desde a construção até a operação, em que qualquer tipo de barragem pode experenciar falhas devido a um ou mais tipos de evento, sendo que o galgamento é o mecanismo mais comum (ELETROBRÁS, 2003; HEC, 2014; ANA, 2024).

Em 13 de novembro de 2024, a barragem que se situava no Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado, em Belo Horizonte/MG, rompeu devido a um evento intenso de precipitação, que ocasionou no galgamento da estrutura. Desde 2019, já era de conhecimento da Prefeitura a necessidade de intervenções à barragem, de forma a adequar as condições de segurança e o vertedouro, que estava

1) Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, danielabreuh@gmail.com
2) Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, lvillar@etg.ufmg.br

subdimensionado. A barragem tinha aproximadamente oito décadas de existência, com função paisagística e de amortecimento de cheias (PBH, 2024; ENEMAX, 2022a).

Este presente trabalho tem o objetivo de verificar os parâmetros de brecha da barragem da Lagoa do Nado, comparando-os com os valores reais do evento de ruptura. Ademais, objetiva-se realizar a modelagem do Dam Break, simulando a inundação causada no evento.

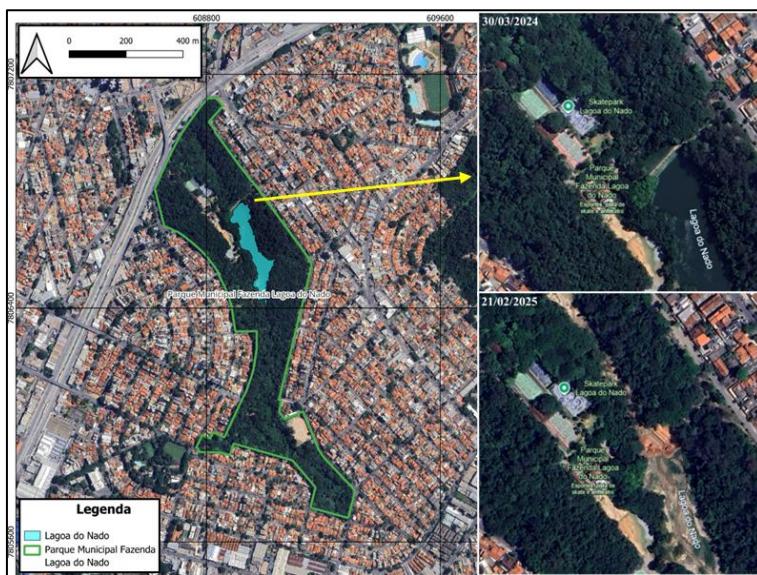
MÉTODOS E REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse estudo de caso, a estimativa da brecha da barragem será feita por meio da literatura pertinente. Para georreferenciamento, foi utilizado o software livre QGis, da Open Source Geospatial Foundation Project, em sua versão 3.40.2 Bratislava e a inundação gerada pela ruptura foi modelada no software livre HEC-RAS, na versão 6.4.1, feito pelo U.S Army Corps of Engineers.

Galgamento e ruptura da barragem da Lagoa do Nado

A barragem passou por um galgamento por volta das 16:00, em que, com a chegada da equipe técnica da Prefeitura ao parque, por volta das 17:00, foi constatada a ruptura e o esvaziamento total do reservatório (PBH, 2024). A Figura 1 apresenta imagens de satélite, antes e depois da ruptura.

Figura 1 – Imagem de satélite do local. Fonte: Adaptado de Google Earth (2025) e de PRODABEL (2025).



O vertedouro era operado pela instalação de *stop logs* – anteparos de madeira com 30 cm de altura – na soleira do canal, para controlar a elevação da lagoa. No dia 31/10/2024, todas as tábuas foram retiradas, visando a rebaixar o nível de água durante a época de chuvas. Entretanto, após a ruptura, foi verificado que havia três níveis de *stop logs* instalados, sem registro dessa operação ou conhecimento pela Prefeitura. Logo, o desastre foi atribuído à obstrução do vertedouro e à redução de sua capacidade no amortecimento das vazões (PBH, 2024). O local foi visitado em fevereiro de 2025, durante a realização das obras de um canal provisório de gabião no local da brecha. A Figura 2 apresenta a mancha de inundação estimada pelo Prefeitura, no relatório pós-ruptura, e a Figura 3 apresenta a vista a jusante do barramento, antes e depois da ruptura.

Figura 2 – Mancha de inundação estimada. Fonte: Adaptado de PBH (2024).



Figura 3 – Jusante da barragem antes e depois da ruptura. Fonte: Adaptado de BSG (2024) e Autor (2025).



Estimativa de parâmetros de brecha

Galgamento consiste na passagem de água por cima da crista da barragem, um local não projetado para verter esse fluxo. HEC (2014) sugere que o início dessa brecha se dá no pé do talude de jusante, em que, com a contínua erosão, a brecha se alarga e se direciona ao topo do barramento. Em um estudo de Dam Break, deve-se analisar a brecha de ruptura de uma barragem de terra. Na modelagem, parâmetros físicos são utilizados, segundo HEC (2014): largura média da brecha (B_{ave}) em metros; largura de fundo da brecha (W_b) em metros; largura do topo da brecha (B_t) em metros; altura da brecha (h_b) em metros; altura da água (h_w) em metros e inclinação (Z) dos taludes laterais ($H:V$), usualmente dada em ($Z:1$). Ademais, o tempo de formação de falha da brecha (t_f), em horas, também é utilizado. A Figura 3 ilustra os parâmetros supracitados.

Wahl (1998) sugere três abordagens para estudos de Dam Break: análise comparativa, equações de regressão e modelos físicos. Usualmente, a estimativa é realizada a partir de equações de regressão, desenvolvidas a partir de eventos reais de ruptura. A Tabela 1 apresenta modelos recomendados por HEC (2014) e Eletrobrás (2003), por serem amplamente usados na literatura e em estudos de segurança de barragens de terra, além de terem ampla variedade de dados históricos. Outros parâmetros utilizados são: volume do reservatório no momento da falha (V_w) em m^3 ; constante K_0 ; aceleração da gravidade (g), equivalente a $9,80665\text{ m/s}^2$; altura da barragem (h_d) em metros; altura de referência (h_r) igual a 15 metros; tempo de referência (T_r) equivalente a uma hora; volume erodido da barragem (V_{eroded}) em m^3 ; largura da crista da barragem (C) em metros; volume de água que passa pela brecha (V_{out}), em m^3 ; coeficiente C_b .

Figura 3 – Parâmetros da brecha. Fonte: HEC (2014).

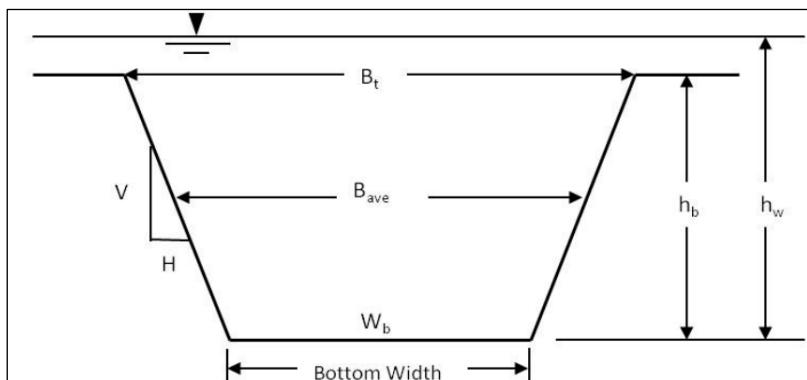


Tabela 1 – Equações de regressão.

Modelo	Equações	Observações
Froehlich (1995)	$B_{ave} = 0,1803 \times K_0 \times V_w^{0,32} \times h_b^{0,19}$ $t_f = 0,00254 \times V_w^{0,53} \times h_b^{-0,90}$	Inclinação dos taludes laterais de 1,4H:1V e K_0 de 1,4 para falhas por galgamento.
Froehlich (2008)	$B_{ave} = 0,27 \times K_0 \times V_w^{0,32} \times h_b^{0,04}$ $t_f = 63,2 \times \sqrt{\frac{V_w}{g * h_b^2}}$	Inclinação de 1,0H:1,0V e K_0 de 1,3 para galgamento.
Froehlich (2016)	$B_{ave} = 0,23 \times K_0 \times V_w^{\frac{1}{3}}$ $t_f = 60 \times \sqrt{\frac{V_w}{g * h_b^2}}$	Inclinação de 1,0H:1,0V e K_0 de 1,5 para galgamento.
Xu e Zhang (2009)	$\frac{B_{ave}}{h_b} = 0,787 \times \left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0,133} \times \left(\frac{V_w}{h_w}\right)^{0,652} \times e^{B_3}$ $\frac{B_t}{h_b} = 1,062 \times \left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0,092} \times \left(\frac{V_w}{h_w}\right)^{0,508} \times e^{B_2}$ $Z = \frac{B_t - B_{ave}}{h_b}$ $\frac{T_f}{T_r} = 1,0,304 \times \left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0,707} \times \left(\frac{V_w}{h_w}\right)^{1,228} \times e^{B_5}$	B_3 é a soma dos coeficientes b_3 , b_4 e b_5 , que correspondem a -0,226, 0,149 e -0,14, respectivamente. B_2 é a soma dos coeficientes b_3 , b_4 e b_5 , que são -0,089, 0,299 e -0,062 -, respectivamente. B_5 é a soma dos coeficientes b_3 , b_4 e b_5 , que correspondem a -0,189, -0,579 e -0,564, respectivamente. Esses coeficientes correspondem a barragens de terra homogênea, galgamento e média erodibilidade.
MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)	$V_{eroded} = 0,0261 \times (V_{out} \times h_w)^{0,769}$ $t_f = 0,0179 \times V_{eroded}^{0,364}$ $W_b = \frac{V_{eroded} - h_b^2 \times (C \times Z_b + \frac{h_b \times Z_b \times Z_3}{3})}{h_b \times (C + \frac{h_b \times Z_3}{2})}$	$Z_3 = Z_1 + Z_2$ Inclinação lateral (Z_b), equivalente a 0,5.
Von Thun e Gillette (1990)	$B_{ave} = 2,5 \times h_w + C_b$ $t_f = \frac{B_{ave}}{4 \times h_w + 61}$	Taludes laterais de 1,0H:1,0V, em casos gerais, e entre 0,5H:1,0V e 0,33H:1,0V para solos coesivos. C_b de 6,1 para reservatórios menores que $1,23 \times 10^6 \text{ m}^3$ e considerando materiais facilmente erodíveis.

Modelo	Equações	Observações
Fread e Harbaugh (1973)	$B_{ave} = 2,15764 \times K_0 \times (V_w \times h_b)^{0,25}$ $t_f = 0,00714 \times V_w^{0,47} \times h_b^{-0,90}$	K ₀ de 1,0 para galgamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a literatura e os métodos supracitados, foram adotadas algumas premissas para o estudo das brechas e do Dam Break. Foi criado um Modelo Digital de Terreno (MDT), usado como base para o trabalho, de acordo com as curvas de nível de PBH (2015) e a batimetria de ENEMAX (2022a). A partir disso e da visita ao local, adotou-se uma altura geométrica média de seis metros para a estrutura, medida do pé do talude de jusante até a crista.

O volume de água no momento da falha é de 74.495 m³, que corresponde ao armazenamento na crista, com cota 770,96 m, enquanto o volume normal do reservatório foi adotado como 53.128 m³, que corresponde à cota 769,94 m dos *stop logs* (ENEMAX, 2022a; PBH, 2024). Foi considerado, no início do dia do evento, o reservatório no nível dos anteparos. Além disso, o material da barragem foi considerado como facilmente erodível, devido à baixa compactação e resistência à penetração, segundo as sondagens a percussão realizadas (ENEMAX, 2022b).

O trânsito de cheias foi feito utilizando o Método de Puls Modificado (COLLISCHONN & TASSI, 2010), aplicando o tempo de concentração da sub-bacia da barragem pelo Método da Velocidade (NRCS, 1986), obtendo, pelo método do *Soil Conservation Service* (SCS), o hidrograma de cheia (NAGHETTINI, 1997; COLLISCHONN & TASSI, 2010). Para o método de MacDonald e Langridge-Monopolis (1984), foi estimado, para V_{out}, a soma do volume do reservatório no momento da falha e o volume escoado após a instalação do galgamento, dado pelo hidrograma, resultando em 112.709,54 m³. Para h_w, foi estimado uma lâmina d'água de 30 cm, resultando em h_w de 6,30 m, a partir da análise visual das fotografias do relatório pós-ruptura, em que o galgamento e a brecha tiveram início na seção central da barragem e se estenderam até a ombreira direita (PBH, 2024).

Estimativa da brecha na barragem da Lagoa do Nado

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos por cada modelo estudado, em que alguns parâmetros puderam ser obtidos por correlações entre largura, inclinação e altura. Além disso, os parâmetros reais foram estimados a partir do que foi visto na visita ao local, de PBH (2024), dos veículos de notícias e por meio de estimativas no QGis, sendo apresentados na Tabela 3.

Tabela 2 – Estimativas da brecha da barragem. Fonte: Autor (2025).

Parâmetro da brecha	Froehlich (1995)	Froehlich (2008)	Froehlich (2016)	MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)	Von Thun e Gillette (1990)	Xu e Zhang (2009)	Fread e Harbaugh (1973)
B _{ave} (m)	12,854	13,662	14,516	8,754	21,850	11,605	51,268
B _t (m)	21,254	19,662	20,516	11,754	27,850	17,819	-
W _b (m)	4,454	7,662	8,516	5,754	15,850	5,392	-
t _f (h)	0,194	0,255	0,242	0,206	0,253	0,432	0,237
V _{eroded} (m ³)	-	-	-	824,691	-	-	-
Z H: 1,0 V	1,400	1,000	1,000	0,500	1,000	1,036	-

Tabela 3 – Valores aproximados da brecha real. Fonte: Autor (2025).

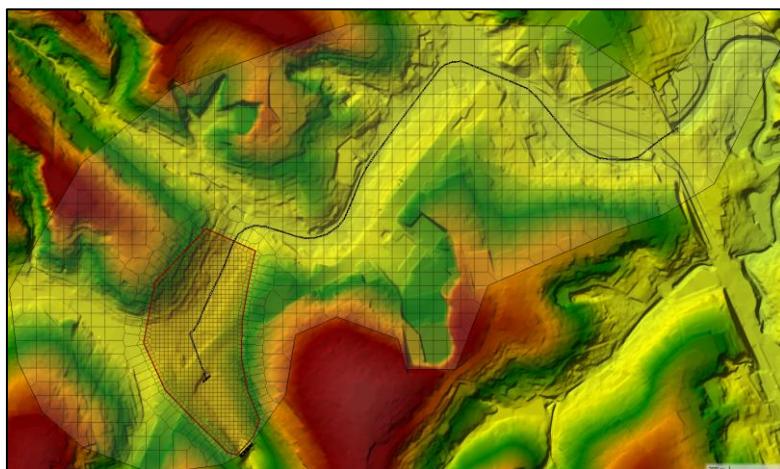
B _{ave} (m)	B _t (m)	W _b (m)	h _b (m)	Z _{Esquerda}	Z _{direita}	t _r (h)
20,00	25,00	16,00	6,00	1,0H:1,0V	0,5H:1,0V	0,35

A aplicação das equações de regressão se mostrou extremamente variável, em que, por exemplo, o tempo de formação da brecha variou entre 0,194 e 0,432 horas. O método de Fread e Harbaugh (1973) não é aplicável, já que a B_{ave} resultou em um valor maior que o próprio comprimento da crista da barragem, de 47,90 m, conforme ENEMAX (2022a). As equações de Froehlich (1995, 2008, 2016) apresentaram valores similares, o que é coerente, já que são feitas pelo mesmo autor com bases de dados semelhantes. Ademais, o método de MacDonald e Langridge-Monopolis (1984) pode ter subestimado os parâmetros geométricos e temporais da abertura da brecha, quando comparado aos outros modelos. Os valores reais se distanciam da maior parte dos métodos, com exceção de Von Thun e Gillette (1990), sendo o método mais preciso para a barragem em estudo, no qual ambos estão de acordo com os valores de referência de Eletrobrás (2003). Além disso, a inclinação dos taludes laterais não foi igual, em que, na ombreira direita, a inclinação foi mais acentuada.

Modelagem e simulação da ruptura da estrutura

Inicialmente, definiu-se a área de interesse para computação do HEC-RAS. Foi locado, a jusante da barragem, uma galeria existente de concreto, com dimensões 3 m x 3 m, na elevação 759,40 m, que escoava as vazões provenientes do reservatório de forma canalizada, iniciando no fundo do vale a jusante, e cruzando a Av. Pedro I de forma subterrânea (ENGESOLO, 2021). A partir do cadastro de cursos d'água de PRODABEL (2025), obteve-se que a galeria se encontra com outras estruturas similares em direção ao Ribeirão Isidoro, já em canal natural. Logo, foi definido os limites iniciais e finais da área de modelagem, *i.e.*, a crista da barragem e o Ribeirão Isidoro, respectivamente. A Figura 4 apresenta o modelo da região, explicitando a localização da galeria supracitada. A região mais próxima da barragem, contornada de vermelho, tem uma malha refinada de 15 m x 15 m, enquanto as outras regiões tem malha de 50 m x 50 m.

Figura 4 – Modelo no HEC-RAS. Fonte: Autor (2025).



Foi avaliado o uso do solo, visando a determinar valores de *Curve Number* (CN) do método do SCS para a infiltração, considerando o Grupo Hidrológico B dos solos da região e seguindo a

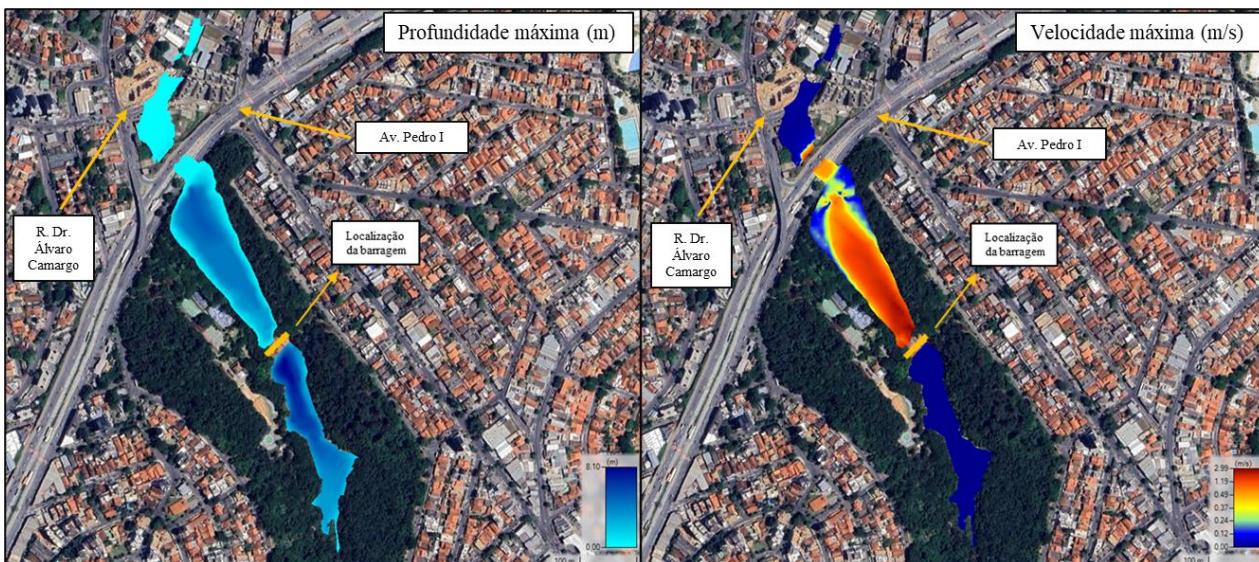
bibliografia pertinente ao tema para definição dos valores. Salienta-se que foi utilizada infiltração mínima de 3,81 mm/h em áreas de vegetação densa, superfícies gramadas e solos expostos (NRCS, 1986; NAGHETTINI, 1997; RAMOS et al., 1999). Ademais, foram estabelecidos os coeficientes de rugosidade de Manning, para a simulação do escoamento das vazões de inundação em superfícies, condutos e canais abertos, de acordo com a literatura sobre o tema (GALLEGOS et al., 2009; BAPTISTA & LARA, 2014; MELO & TORRES, 2024).

Tabela 4 – Coeficientes de Manning e de CN. Fonte: Autor (2025).

Superfície	Rugosidade de Manning (n)	Curve Number (CN)
Canal Natural e Gabiões	0,033	100
Vegetação Densa	0,100	55
Edifícios em geral	0,300	85
Vias, Concreto e Superfícies Impermeáveis	0,014	98
Superfícies Gramadas	0,045	61
Solo sem revestimento	0,023	79

A Figura 5 apresenta os resultados obtidos da simulação, em termos de profundidade e de velocidades máximas no modelo. A jusante do barramento, a maior profundidade de água ocorreu na entrada da galeria, chegando a 5,23 m de altura e afogando essa estrutura, com velocidades que alcançaram 1,07 m/s. O fluxo proveniente da ruptura alcançou a Av. Pedro I e a Rua Doutor Álvaro Camargo, alcançando 0,23 m e 0,04 m de lâmina d'água e velocidades de 1,13 m/s e 0,02 m/s, respectivamente. Para essa última via, salienta-se que a profundidade supracitada é correspondente apenas à inundação causada pelo rompimento, em que, provavelmente, o valor real é superior, devido ao transbordamento de galerias, como reportado por PBH (2024), e ao próprio escoamento superficial no local. No caminho da inundação, após a avenida, tem-se um grande declive no relevo, que gerou velocidades de até 2,07 m/s. Vale ressaltar que, na brecha, foram alcançados valores máximos de velocidade e de vazão de 3,055 m/s e 167,844 m³/s, respectivamente, resultando em um volume total de água transportado através da brecha de 1,079E+05 m³.

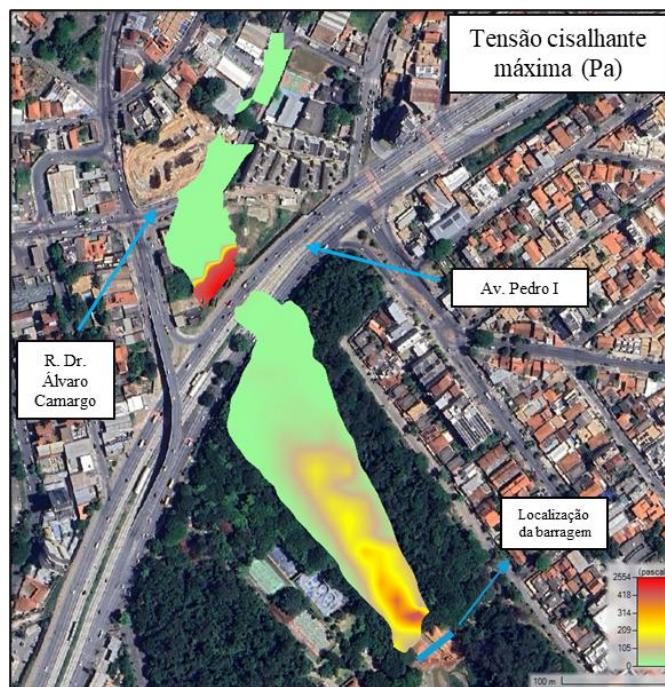
Figura 5 – Profundidades e velocidades máximas da inundação. Fonte: Autor (2025).



Percebe-se que a mancha estimada no relatório pós-ruptura (Figura 2) está contida dentro do parque, sendo essa região coerente com os resultados apresentados na Figura 5. Entretanto, o resultado numérico aponta que a inundação alcança áreas urbanas a jusante, mesmo que não tenham sido causados danos relevantes. Isso é corroborado por g1 (2024), que confirma que a Av. Pedro I foi atingida pelo fluxo, sendo então interditada e liberada por volta de 17:30.

A Figura 6 apresenta o perfil de tensões cisalhantes máximas do fluxo, em Pascal (Pa). A jusante da brecha, alcançou-se tensões da ordem de 480 Pa, em que, conforme Carvalho (2024), é acima das tensões admissíveis para materiais muito resistentes, como rip-rap, que pode chegar a 400 Pa. Na entrada da galeria, as tensões cisalhantes alcançaram 20 Pa, que não é suficiente para afetar a vegetação (de acordo com Carvalho (2024), sua tensão admissível é por volta de 150 Pa). Entretanto, no vale a jusante da barragem, alcançou-se tensões da ordem de 250 Pa, acima dos valores admissíveis da vegetação. Assim, é possível obter a correspondência com os danos causados pela onda de ruptura, conforme Figura 1, ao comparar a tensão cisalhante atuante, obtida em ambiente computacional, junto ao contorno sólido do terreno e os respectivos tipos de cobertura do solo, além da atenuação dessas tensões no caminho dessa onda. Nota-se, após a Av. Pedro I, na região do declive acentuado supracitado, que as tensões superaram 2000 Pa. Nesse contexto, conclui-se que, apesar de ser um local em que seja provável a ocorrência de altas tensões, os valores encontrados pela simulação podem ter sido superestimados.

Figura 6 – Tensões cisalhantes máximas da inundação. Fonte: Autor (2025).



CONCLUSÃO

Foi possível estimar, ao utilizar modelos de regressão pertinentes apresentados na literatura, os parâmetros geométricos e temporais da formação de brechas, além de comparar com o cenário real do evento de ruptura. Percebe-se que existe uma lacuna significativa na precisão desses métodos, visto que, de sete modelos avaliados, apenas um, de Von Thun e Gillette (1990), apresentou resultados coerentes com os dados do evento real. Logo, isso indica uma limitação desses modelos, que devem

ser utilizados com cautela na elaboração de Planos de Ação de Emergência, evidenciando a necessidade de aprimoramento nessas estimativas e de aplicação de abordagens complementares.

Realizou-se, também, a simulação do rompimento da barragem da Lagoa do Nado, produzindo mapas de velocidades, tensões cisalhantes e profundidades alcançadas pela onda de ruptura. Nota-se que existe uma evidente correspondência entre os resultados numéricos obtidos na modelagem e o cenário real, tanto em relação à mancha de inundação quanto aos danos causados por ela.

REFERÊNCIAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2024). *Relatório de Segurança de Barragens – 2023*. Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília.
- BAPTISTA, M.; LARA, M (2014). *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. Editora UFMG, 3^a. Ed., Belo Horizonte, 473 p.
- BSG – BARRAGENS E SEGURANÇA GEOTÉCNICA (2024). *LND-IR-2024-010: Relatório – Inspeção Rotineira, Barragem do Parque Lagoa do Nado, Outubro – 2024*. Belo Horizonte.
- CARVALHO, E (2024). *Sediment Transport – Design of non-erodible channels*. Hidráulica Fluvial, Seção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R (2010). *Introduzindo Hidrologia*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ELETROBRÁS (2003). *Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas*. Comitê Brasileiro de Barragens, International Comission on Large Dams, 279p.
- ENEMAX (2022a). *LDN-GEO-21-001_R00: Verificação da Estabilidade, Barragem Parque Lagoa do Nado*. Diretoria de Gestão de Águas Urbanas – DGAU/SMOBI, Fundação Cristiano Ottoni, Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte,
- ENEMAX (2022b). *LDN-HID-21-001_R01: Avaliação Hidrológica e Hidráulica, Barragem Parque Lagoa do Nado*. Diretoria de Gestão de Águas Urbanas – DGAU/SMOBI, Fundação Cristiano Ottoni, Prefeitura de Belo Horizonte.
- ENGESOLO (2021). *Otimização do sistema de macrodrenagem da bacia hidrográfica dos Cór. Nado e Ribeirão Isidoro – Intervenções para o tempo de retorno (TR) de 10 anos*. Anteprojeto estrutural. Superintendência de Desenvolvimento da Capital, Prefeitura de Belo Horizonte.
- FREAD, D.; HARBAUGH T (1973). *Transient hydraulic simulation of breached earth dams*. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulic Division, vol. 99, n. 1, pp. 139-154.
- FROEHLICH, D (1995). *Embankment Dam Breach Parameters Revisited*. First International Conference, Water Resources Engineering, Environmental and Water Resources Institute (EWRI).
- FROEHLICH, D (2008). *Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 134, n. 12, ASCE, pp. 1708–1721, ISSN 0733-9429.
- FROEHLICH, D (2016). *Empirical model of embankment dam breaching*. International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow.

GALLEGOS, H.; SCHUBERT, J.; SANDERS, B (2009). *Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California.* Advances in Water Resources, Vol. 32, n. 8, pp. 1323-1335.

GOOGLE EARTH (2025). *Google Earth.* Google. Disponível em: <https://earth.google.com/web>. Acesso em: 26 mar. 2025.

HEC – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (2014). *Using HEC-RAS for Dam Break Studies: Training Document 39.* U.S. Army Corps of Engineers, Davis.

MACDONALD, T.; LANGRIDGE-MONOPOLIS, J (1984). *Breaching characteristics of dam failures.* Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, n. 5, ASCE, pp. 567–586.

MELO, M.; TORRES, C (2024). *Calibração do coeficiente de rugosidade de Manning na modelagem unidimensional e bidimensional de inundações.* II FluHidros, Simpósio Nacional de Mecânica dos Fluidos e Hidráulica, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Curitiba.

NAGHETTINI, M (1997). *Notas de Aula de Hidrologia Aplicada: Primeira Parte.* Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, UFMG.

NRCS – NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds: Technical Release 55.* United States Department of Agriculture, Conservation Engineering Division, Washington, DC.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2015). *Acervo cartográfico e geográfico BHGEO.* Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo/acervo-cartografico>.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2024). **Relatório Técnico Preliminar: Barragem do Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado.** Comissão Especial, Portaria SMOBI 314/2024, 79p.

PRODABEL (2025). *Catálogo metadados BHGEO.* Belo Horizonte. Disponível em: <https://geonetwork.pbh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search;jsessionid=8FFB268563652BF6D2E160029F84E9DF.geonetwork1#/home>.

RAMOS, M. H. D.; VIANA, C. S.& BAPTISTA, M. B (1999). *Classificação dos solos de Belo Horizonte segundo grupos hidrológicos do US Soil Conservation Service.* XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte.

VON THUN, J.; GILLETTE, D (1990). *Guidance on breach parameters.* Unpublished internal document, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 17 p.

WAHL, T (1998). *Prediction of Embankment Dam Breach Parameters – A Literature Review and Needs Assessment.* DSO-98-004, Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior, 67p.

XU, Y.; ZHANG, L. M (2009). *Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams.* Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Volume 135, n. 12, ASCE, pp. 1957–1970.