

Análise do rompimento da barragem da UHE Barra do Braúna. Estudo de caso: Santo Antônio de Pádua – RJ

Analysis of the rupture of the Barra do Brauna HPP dam. Case study: Santo Antonio de Padua – RJ

Análisis de la rotura de la represa de la UHE Barra do Braúna. Estudio de caso: Santo Antônio de Pádua – RJ

Sânnzia de Oliveira e Souza Figueira

Universidade Federal Fluminense

sanzziaf@gmail.com

Ricardo Silveira Sousa

Universidade Federal Fluminense

rsousa@id.uff.br

Tibério Borges Vale

Universidade Federal Fluminense

tiberio_vale@id.uff.br

Jader Lugon Junior

Instituto Federal Fluminense

jlugonjr@gmail.com

Fábio Freitas Ferreira

Universidade Federal Fluminense

fabiofreitasferreira@id.uff.br

Wagner Rambaldi Telles

Universidade Federal Fluminense

wtelles@id.uff.br

Resumo

O número de acidentes decorrentes do rompimento de barragens é cada vez maior, principalmente quando estas se localizam nas proximidades das regiões urbanizadas. Nos últimos anos, especialmente no Brasil, muitos deles geraram tanto impactos ambientais e socioeconômicos quanto de perdas humanas. Antes dessas construções, vários estudos são realizados como meio de minimizar ou mesmo não permitir que ocorram desastres futuros. Desse modo, em virtude de uma provável catástrofe envolvendo as barragens, foi feita uma simulação hipotética da ruptura da barragem da Usina Hidrelétrica Barra do Braúna, situada no rio Pomba, tendo a cidade de Santo Antônio de Pádua-RJ como estudo de caso. Vários cenários foram simulados, onde se escolheu mostrar o pior caso entre as possíveis brechas. A fim de se obter esse objetivo, foi utilizado o software IBER, que torna possível identificar os pontos de maior criticidade do fluxo.

Palavras-chave: Rompimento de Barragem. Usina Hidrelétrica Barra do Braúna. Software IBER.

Abstract

The number of accidents resulting from the rupture of dams is increasing, especially when these are located in the vicinity of urbanized regions. In recent years, especially in Brazil, many of them have generated environmental and socioeconomic impacts as well as human losses. Before these constructions, several studies are carried out as a means of minimizing or even not allowing future disasters to occur. Thus, due to a probable catastrophe involving the dams, a hypothetical simulation of the rupture of the dam at the Barra do Brauna Hydroelectric Power Plant, located on the Pomba River, was carried out, with the city of Santo Antonio de Padua-RJ as a case study. Several scenarios were simulated, where it was chosen to show the worst case among the possible gaps. In order to achieve this objective, the IBER software was used, which makes it possible to identify the most critical points of the flow.

Keywords: Dam Break. Barra do Braúna Hydroelectric Plant. IBER Software.

Resumen

El número de accidentes derivados de la ruptura de presas es cada vez mayor, especialmente cuando estas se ubican en las cercanías de regiones urbanizadas. En los últimos años, especialmente en Brasil, muchos de ellos han generado impactos ambientales y socioeconómicos, así como pérdidas humanas. Ante estas construcciones se realizan varios estudios como forma de minimizar o incluso no permitir que ocurran futuros desastres. Así, debido a una probable catástrofe envolviendo las represas, fue realizada una simulación hipotética de ruptura de la represa en la Usina Hidroeléctrica de Barra do Braúna, ubicada en el río Pomba, con la ciudad de Santo Antônio de Pádua-RJ como Un caso de estudio. Se simularon varios escenarios, donde se optó por mostrar el peor caso entre los posibles gaps. Para lograr este objetivo se utilizó el software IBER, que permite identificar los puntos más críticos del flujo.

Palabras clave: Rotura de Presa. Usina Hidroeléctrica Barra do Braúna. Software IBER.

Introdução

A água é considerada um dos recursos naturais indispensáveis na manutenção da vida de todo o planeta, seja relacionada à vida humana ou ao meio ambiente. Quando vista em termos quantitativos, sua escassez prejudica no modo como é utilizada pelos seres vivos, bem como nos sistemas comportamentais e fisiológicos desenvolvidos a fim de se adequar às diversas condições ambientais trazidas pela gama da distribuição temporal e especial dos recursos hídricos (MENDONÇA, 2013).

Os estudos que envolvem as bacias hidrográficas se fazem necessários para que haja a vida, visto que são nesses locais geográficos naturais que há a verificação de todos os componentes que fazem parte do desenvolvimento da sociedade, além de estabelecer o uso dos recursos hídricos (SILVA, 2019).

Um dos maiores problemas enfrentados pelo mundo se baseia no planejamento e na execução desses recursos hídricos a fim de que a água não se torne escassa e chegue a toda população, sem exceção. Diante dessa situação, inúmeras barragens foram construídas,

apresentando diversas vantagens em seu uso, sendo a principal delas, o fornecimento de energia elétrica para toda a população.

Em contrapartida, devido à variedade de tamanhos, bem como seus usos, nem todas as barragens são mantidas em perfeitas condições, não atendendo a normas de segurança, o que pode resultar no rompimento da estrutura.

Diante disso, os estudos envolvendo a ruptura de barragens vêm aumentando, despertando o interesse de órgãos ambientais como forma de tornar eficaz as técnicas seguras de manutenção e de operação das mesmas (TSCHIEDEL, 2022).

Por meio dos avanços tecnológicos, modelos matemáticos e físicos passaram a ser utilizados como modo de responder aos efeitos de ruptura da barragem. Assim, o uso de um modelo matemático simplifica no momento em que corre a simulação, o que, consequentemente, favorece no estudo das barragens.

A utilização desses modelos faz com que haja o crescimento do modo de verificação de uma possível ameaça, que tem a possibilidade de acarretar num grave acidente no futuro. Além do mais, tais simulações possibilitam analisar a onda de cheia no decorrer do vale, levando em consideração as características do escoamento, que na maioria das vezes, afeta o fluxo do rio em sua normalidade (SILVA, 2020).

De modo especial, a presente pesquisa tem como objeto de estudo a análise do rompimento hipotético da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Barra do Braúna, localizada no estado de Minas Gerais, através do software IBER, tendo como estudo de caso a cidade de Santo Antônio de Pádua, situada no estado do Rio de Janeiro.

Além disso, esse trabalho teve como intuito verificar o resultado da propagação da onda de cheia, a fim de obter meios para a avaliação de um trecho do rio Pomba, situado a jusante da referida represa, em função do uso e ocupação do solo a partir das características da região e, com isso, fornecer bases/meios de modo a contribuir e auxiliar para elaborar o Plano de Ação Emergencial (PAE), além de verificar os riscos ocasionados à população pelo rompimento.

Para a estrutura do trabalho, são apresentados os resultados e discussões baseados na construção do modelo digital da região de interesse, da variação das malhas espaciais e da calibração e validação do modelo para os cenários de rompimentos hipotéticos, assim como a análise dos resultados numéricos e suas respectivas conclusões.

Materiais e métodos

Nessa seção é feita uma breve explanação sobre a UHE Barra do Braúna, bem como o software IBER e a aquisição dos dados experimentais utilizados na pesquisa.

UHE Barra do Braúna

A Usina Hidrelétrica Barra do Braúna (UHE) situa-se no rio Pomba e o eixo de sua barragem localiza-se entre as cidades mineiras de Laranjal e Recreio, além de estar próxima de cidades fluminenses, como Santo Antônio de Pádua, Itaocara, Aperibé e Cambuci. As águas de seu reservatório também ocupam as cidades de Leopoldina e Cataguases, no estado de Minas Gerais. A máxima vazão de projeto dessa barragem é de 3.296 m³/s, o que significa que vazões excedentes representam o seu quesito de emergência.

A cidade escolhida como base para o estudo dos efeitos do rompimento hipotético da barragem da UHE Barra do Braúna, Santo Antônio de Pádua, deve-se ao fato da mesma ser a primeira cidade que se encontra a jusante da barragem e que possui o rio Pomba passando dentro de seus limites, dividindo-a ao meio. Um rompimento da barragem atingiria a área mais urbanizada da cidade, causando enormes danos a toda a população.

Santo Antônio de Pádua possui cinco pontes localizadas em sua área urbana, as quais ligam uma margem à outra do rio Pomba. Três delas são destinadas à passagem de veículos e duas pontes de pedestres. Além disso, há outras duas outras pontes situadas no trecho do rio Pomba entre a represa e a referida cidade, mais especificamente, nos distritos de Cisneiros e Itapiroçu, respectivamente, os quais pertencem ao município de Palma, estado de Minas Gerais. Tais regiões são identificadas por Zonas de Impactos Direto (ZIDs), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Relação das pontes situadas entre a represa e a cidade de Santo Antônio de Pádua.

Descrição da Ponte	Cidade	ZID
Cisneiros	Palma-MG	3
Itapiroçu	Palma-MG	4
Paraoquena-Campelo	Santo Antônio de Pádua-RJ	11
Badih Chicralla	Santo Antônio de Pádua-RJ	17
Alberíades Gabry	Santo Antônio de Pádua-RJ	17
Abel da Silva Malafaia	Santo Antônio de Pádua-RJ	17
Raul de Moraes Veiga	Santo Antônio de Pádua-RJ	17
Paulino Padilha	Santo Antônio de Pádua-RJ	17

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Por outro lado, na Figura 1 são representadas as pontes da zona urbana da cidade de Santo Antônio de Pádua.



Figura 1: Pontes localizadas na zona urbana de Santo Antônio de Pádua.

Fonte: Adaptado de ENGECORPS (2012).

Software IBER

O IBER é um modelo que simula o fluxo turbulento, de superfície livre, em escoamento não permanente. Dentre alguns de seus campos de aplicação estão: ruptura de barragens; avaliação das zonas de inundação; cálculo hidráulico das redes de canais e de canalização; fluxo de marés em estuários; transporte de sedimentos; qualidade da água; dentre outros (SARTORI, 2018).

O modelo IBER compõe-se em diferentes módulos ligados uns aos outros, como por exemplo, o módulo hidrodinâmico, que determina características do escoamento, tais como a velocidade e a profundidade da água; módulo de turbulência; e módulo de transporte de sedimentos (CHARGEL, 2018).

Dados hidrometeorológicos

O Brasil é um país que apresenta uma grande extensão territorial, todavia, os períodos de ocorrências das chuvas e estações de seca são bem definidos. Por isso, a enorme necessidade de se acompanhar todas as formas de chuva, realizando a gestão eficiente dos reservatórios, a fim de que os mesmos garantam que haja recursos hídricos, mesmo em épocas mais secas. Nesse sentido, Sousa et al. (2012) definem o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) como a Política Nacional de Recursos Hídricos, inscrito na Lei nº 9433/1997, que coleta, trata, armazena e recupera todos os recursos hídricos.

No Brasil, existem dois bancos de dados ambientais de suma importância: o Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) e o Portal Hidroweb, mantido pela Agência

Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Todos eles são de livre acesso e gratuito (ROSSETTI, 2008).

Segundo Rossetti (2008), o site da ANA tem por incumbência a criação de condições técnicas para atuar de modo preventivo no direito do uso dos recursos hídricos, bem como na fiscalização e na cobrança dos mesmos, a fim de buscar soluções para dois dos grandes problemas do país, que são a poluição dos rios e as secas extensas, em determinadas áreas do território nacional.

Conforme Sousa et al. (2012), é de responsabilidade da ANA os dados hidrológicos, onde os mesmos são disponibilizados e publicados através do aplicativo Hidroweb e do portal SNIRH.

Por meio do aplicativo do Hidroweb, as estações de interesse são selecionadas, sendo que cada uma delas apresenta um período diferente de funcionamento. É possível, por exemplo, fazer download dos os dados das estações de interesse nos formatos do Access (.mbd), texto (.txt) e planilha eletrônica (.csv).

Ao selecionar uma estação de interesse é possível verificar o código, a bacia, a sub-bacia, o rio, o estado, o município, o responsável, a operadora e o tipo estação. Quando há dados telemétricos disponíveis, é possível definir o período inicial e o período final da ocorrência, não podendo exceder 90 dias. Em particular, na região situada entre a barragem da UHE Barra do Braúna e a cidade de Santo Antônio de Pádua, há quinze estações, as quais dispõem de dados convencionais e/ou telemétricas, conforme representado na Figura 2.

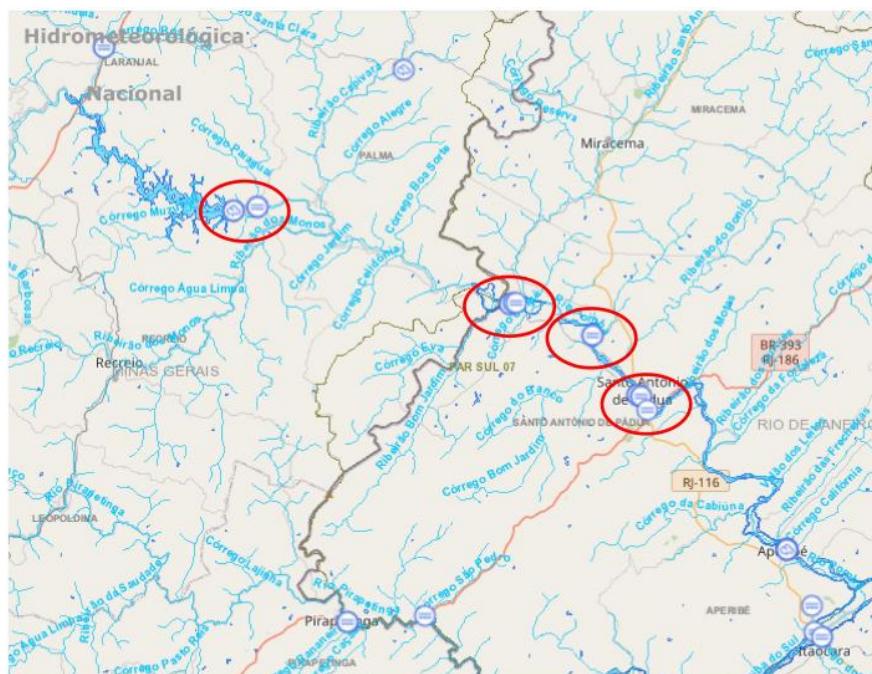


Figura 2: Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência (RHNR) na região situada entre a barragem da UHE Barra do Braúna e a cidade de Santo Antônio de Pádua.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

No presente trabalho, como forma de calibrar e validar o modelo desenvolvido no software IBER, foram utilizados dados de duas estações de monitoramento fluviométrico localizadas a jusante da UHE Barra do Braúna, sendo o período abordado entre o dia 24 de janeiro de 2020 a 28 de janeiro de 2020:

- Estação 58788600: localizada próximo à barragem e utilizada como condição de contorno (dado de entrada) no modelo;
- Estação 58774000: localizada próximo à zona urbanizada de Santo Antônio de Pádua, de operacionalização do INEA, e utilizada para comparação com os resultados numéricos obtidos por meio das simulações no software IBER.

Resultados e discussões

Nessa seção são apresentados os resultados para calibração e validação do modelo proposto, bem como para os cenários do hipotético rompimento da barragem da UHE Barra do Braúna.

Calibração e validação do modelo

Para a simulação base foi adotada uma malha não estruturada com elementos triangulares de tamanho 200 m no reservatório e planície, enquanto na barragem, rio e área urbanizada, foram adotados, respectivamente, elementos de tamanhos iguais a 10 m, 100 m e 50 m. Já, para os coeficientes de rugosidade de Manning foram atribuídos os valores de 0,025 s/m^{1/3} (reservatório, barragem e rio), 0,050 s/m^{1/3} (planície) e 0,150 s/m^{1/3} (área urbanizada).

Os dados das estações de monitoramento da ANA/INEA foram utilizados a fim de caracterizar o evento de cheia do rio Pomba no período compreendido entre 24 e 28 de janeiro de 2020. Nas Figuras 03-05, é apresentada a comparação entre os resultados numéricos obtidos no software IBER e os dados experimentais provenientes da estação de monitoramento.

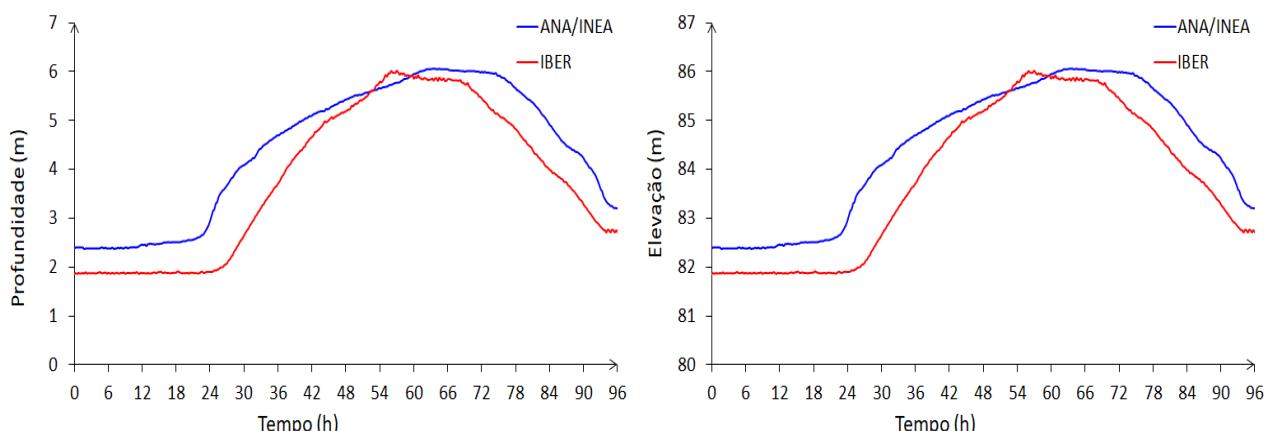


Figura 3: Perfis da profundidade e elevação da lâmina d'água na estação da ANA/INEA.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

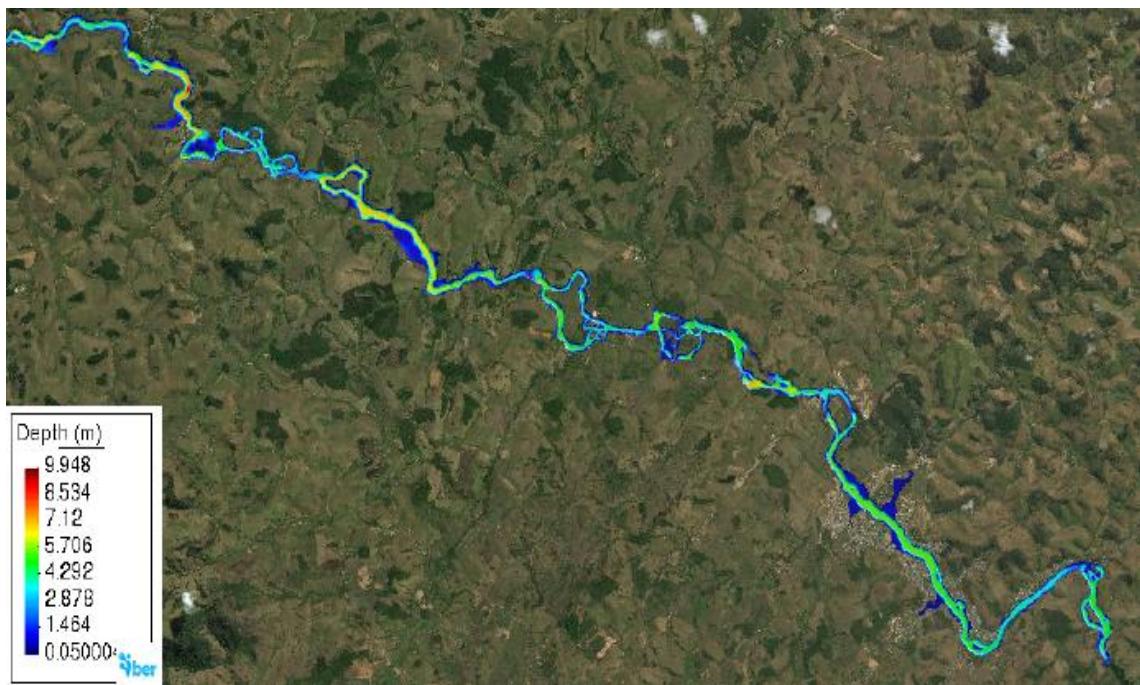


Figura 4: Perfis da profundidade máxima da lâmina d'água no rio Pomba na região analisada.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

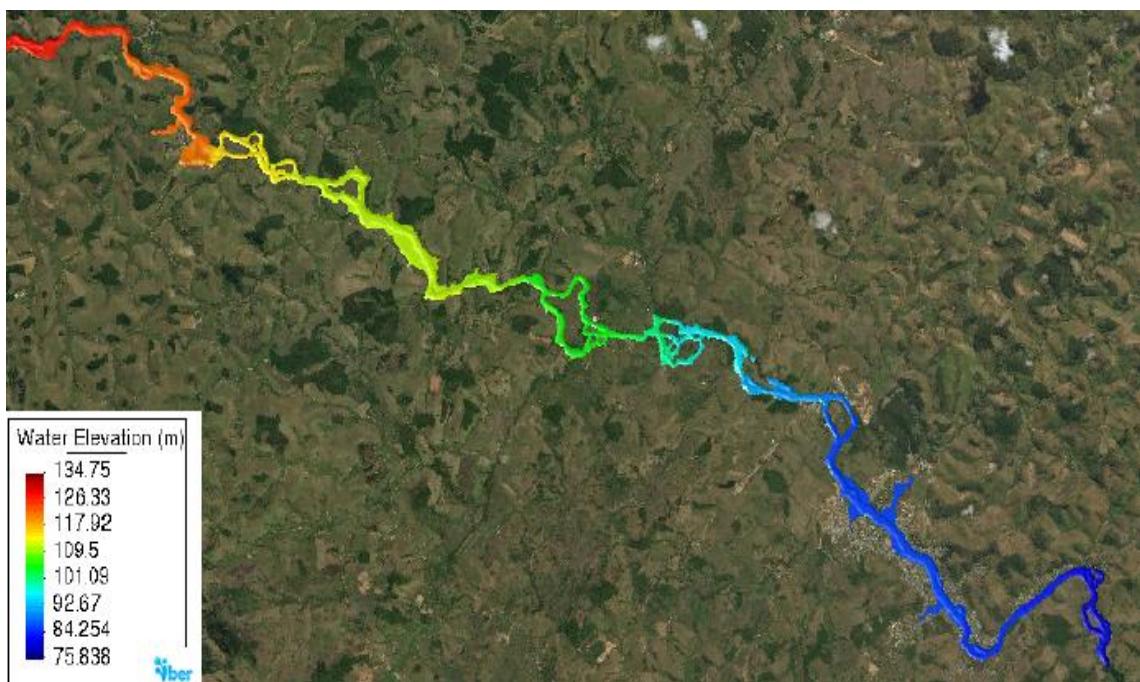


Figura 5: Perfis da elevação máxima da lâmina d'água no rio Pomba na região analisada.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

De acordo com as Figuras 03-05, verifica-se que o modelo desenvolvido no software IBER conseguiu simular o pico da onda de cheia de forma satisfatória quando comparado com os dados experimentais obtidos no site da ANA/INEA, uma vez que representou o pior momento da onda de

cheia na cidade de Santo Antônio de Pádua. Todavia, desconsiderou os níveis d'água antes e após o referido pico.

Afere-se, ainda, que a maior profundidade da lâmina d'água atingida tanto no software, quanto nos dados obtidos na estação da ANA/INEA, localizada próxima à zona urbanizada de Santo Antônio de Pádua, esteve próxima a 6 m, a qual ficou estabelecida entre um dado instante de tempo de 55 h a 65 h, aproximadamente, com elevação em torno de 86 m.

Simulação de cenários hipotéticos de rompimento de barragem

Baseado na configuração descrita anteriormente, quatro cenários para o rompimento hipotético da barragem da UHE Barra do Braúna foram simulados, para os quais foram tomados como referência os dados disponíveis no trabalho de Daru et al. (2013).

Para a simulação desses cenários descritos na Tabela 2, foi considerado um tempo total de simulação igual a 24 horas.

Tabela 2: Dados utilizados para as simulações do rompimento hipotético da barragem de Barra do Braúna obtidos no trabalho de Daru et al. (2013).

Cenário	Largura Média da Brecha	Tempo de Ruptura da Barragem	Elevação da Lâmina d'Água no Reservatório
	(m)	(h:min)	(m)
A	91,5	1:00	154,5
B	84,0	0:56	152,0
C	266,0	2:21	154,5
D	200,0	2:07	152,0

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Já o rompimento total variou conforme o tempo de ruptura, contados a partir do instante inicial da simulação, o qual também foi considerado como o início da formação da brecha. Na Figura 6, são mostrados os perfis da lâmina d'água para os quatro cenários simulados.

Além dos perfis das elevações da lâmina d'água nos locais onde as seis pontes de passagem de veículos ao longo do trecho analisado estão inseridas, levando em consideração os quatro cenários simulados, também foi realizada uma análise dos mapas de máximos para as profundidades e elevações da lâmina d'água, representada nas Figuras 07-14.

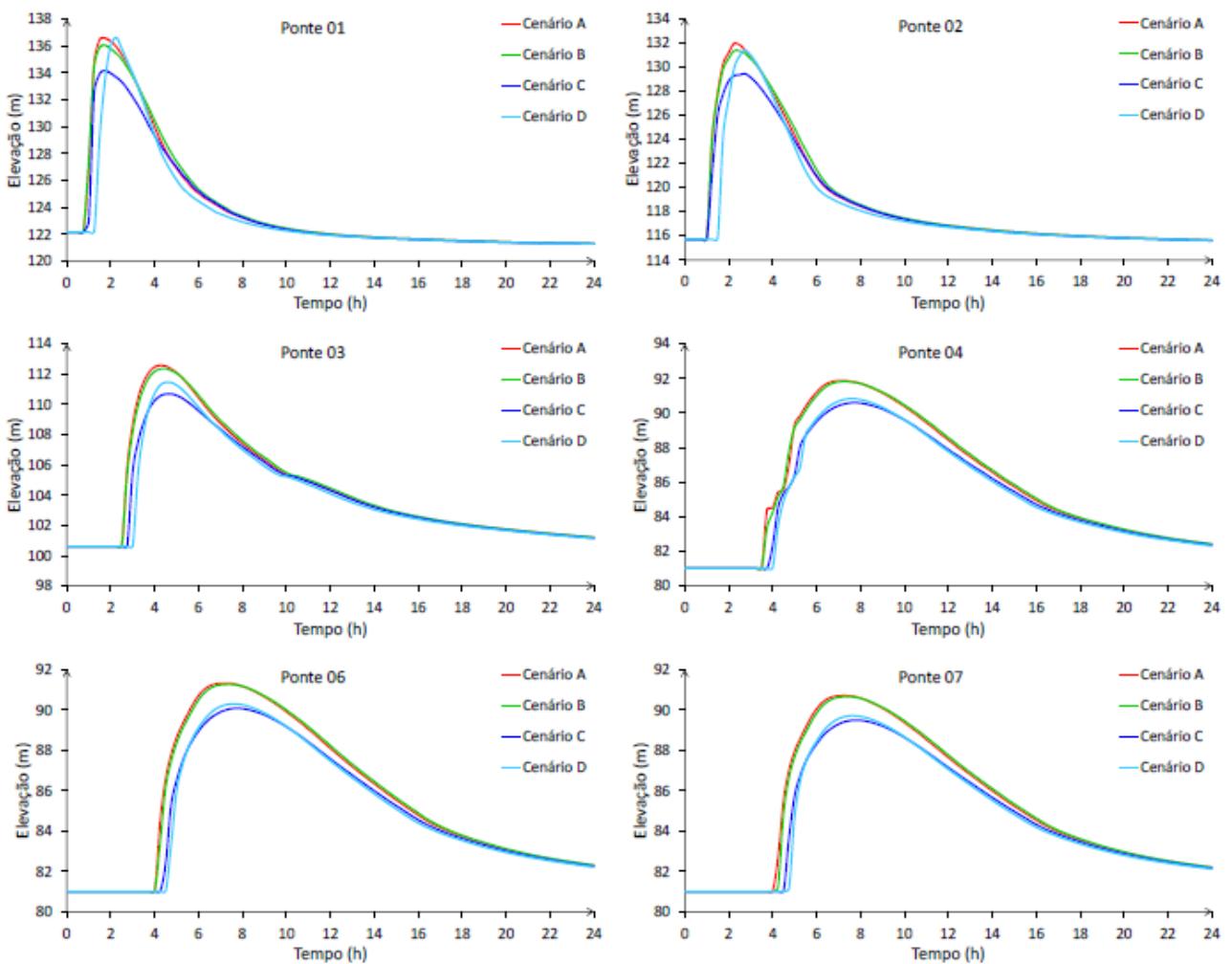


Figura 6: Perfis das elevações da lâmina d'água nos quatro cenários com base nos diferentes rompimentos simulados ao longo de um período de 24 horas.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

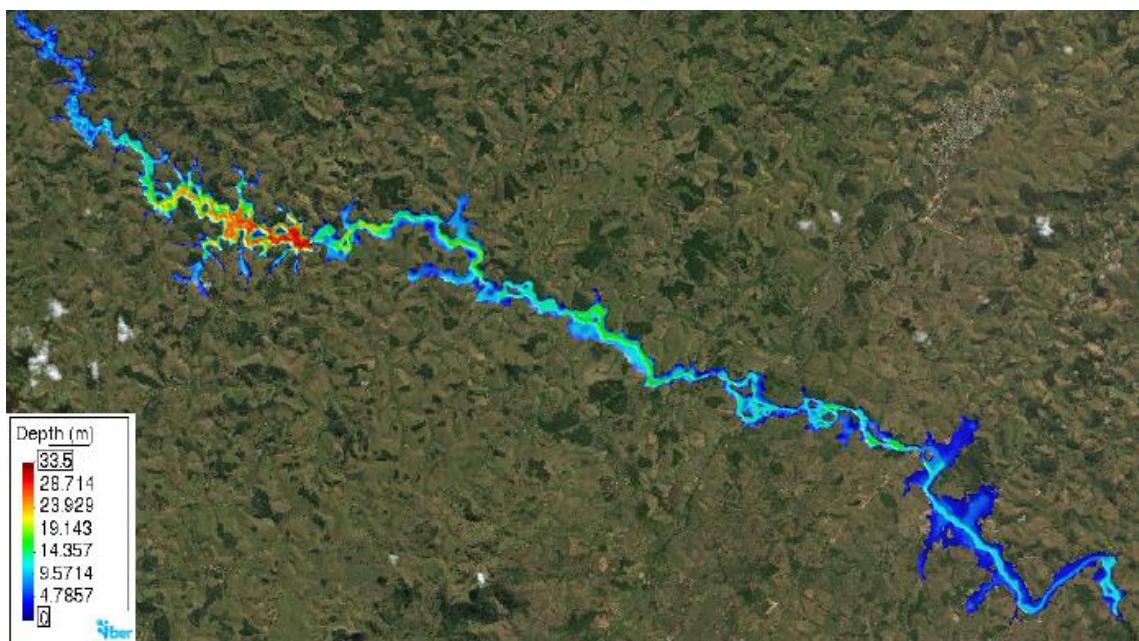


Figura 7: Mapa de máximo para a profundidade da lâmina d'água referente ao Cenário A.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

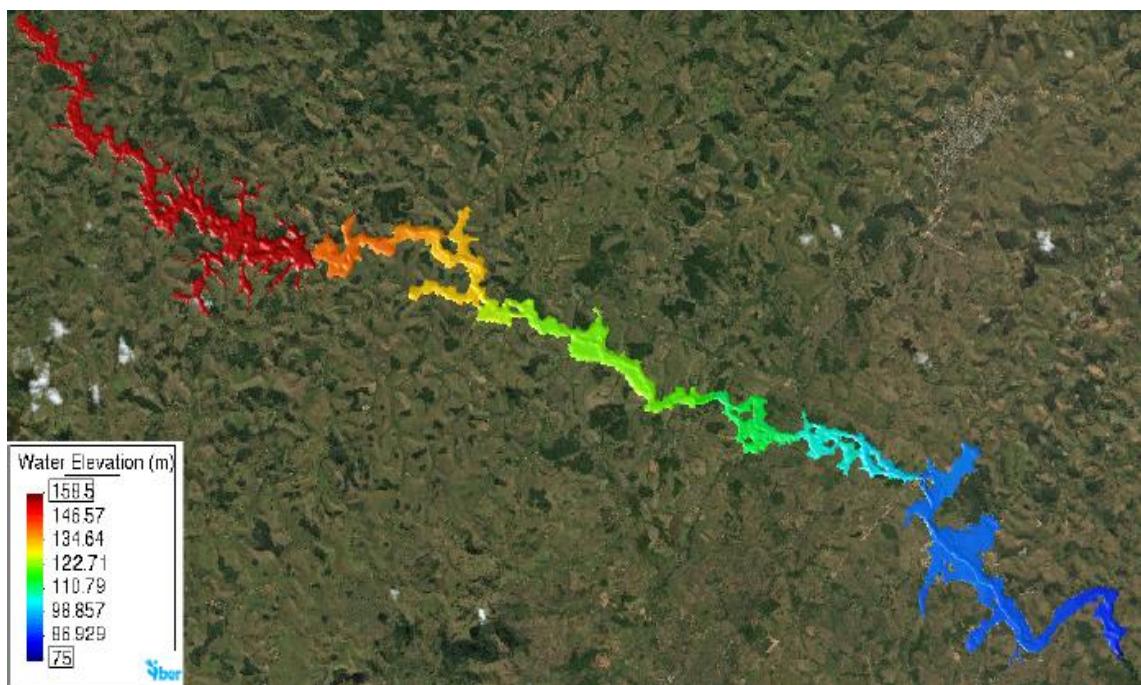


Figura 8: Mapa de máximo para a elevação da lâmina d'água referente ao Cenário A.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

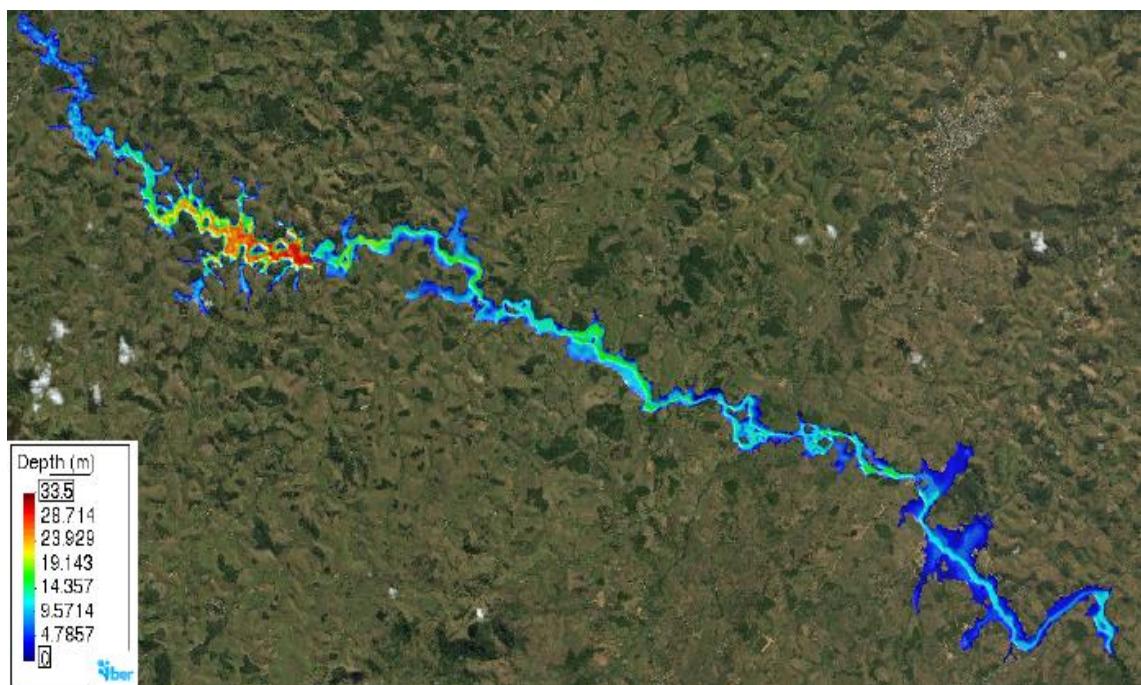


Figura 9: Mapa de máximo para a profundidade da lâmina d'água referente ao Cenário B.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

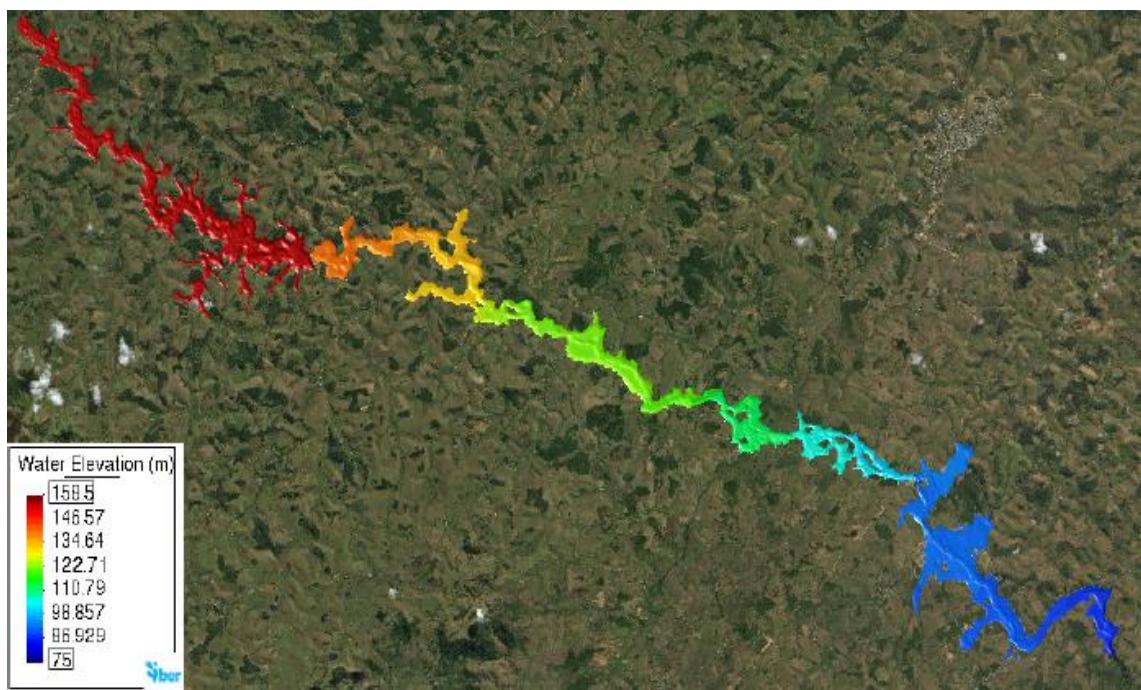


Figura 10: Mapa de máximo para a elevação da lâmina d'água referente ao Cenário B.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

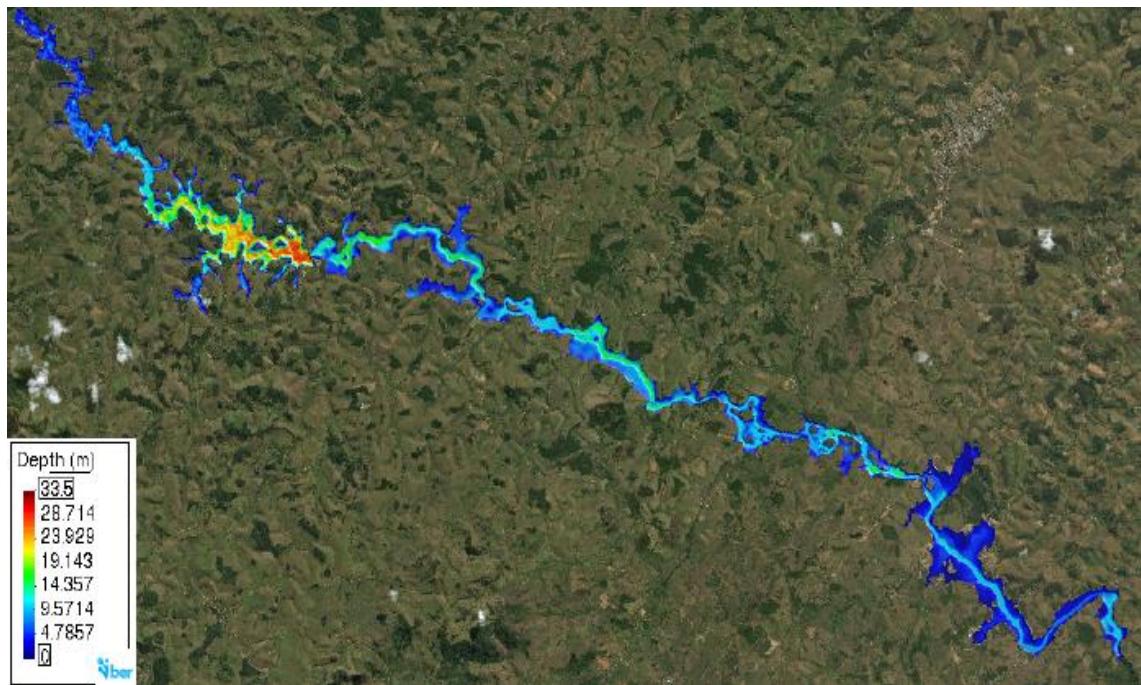


Figura 11: Mapa de máximo para a profundidade da lâmina d'água referente ao Cenário C.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

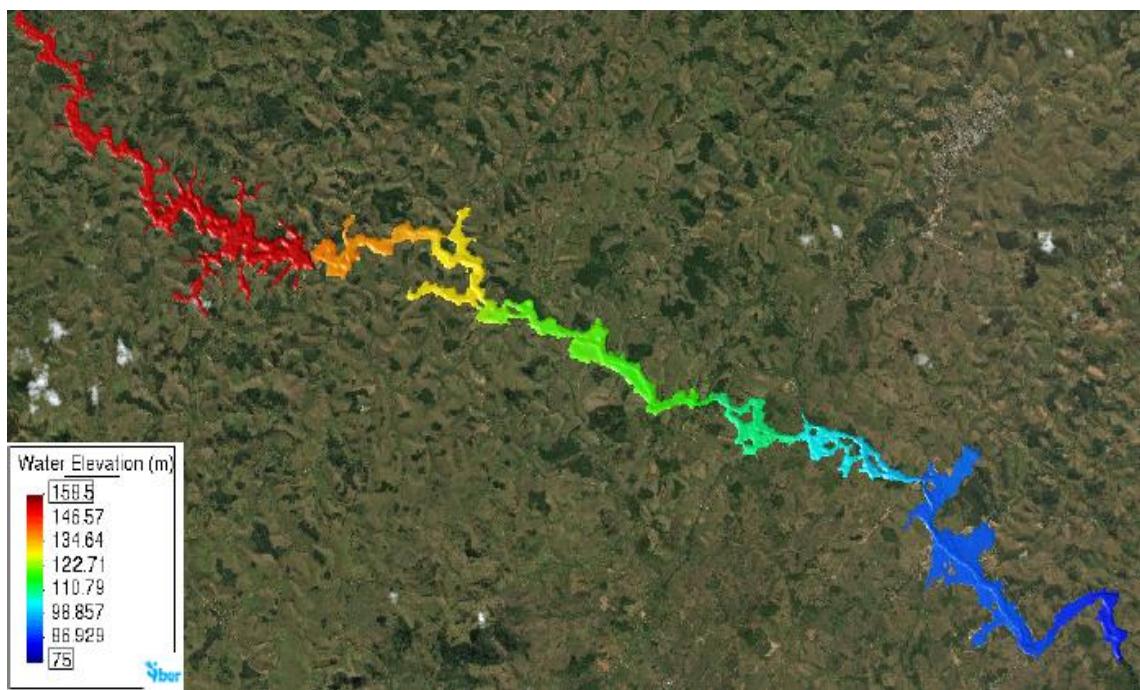


Figura 12: Mapa de máximo para a elevação da lâmina d'água referente ao Cenário C.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

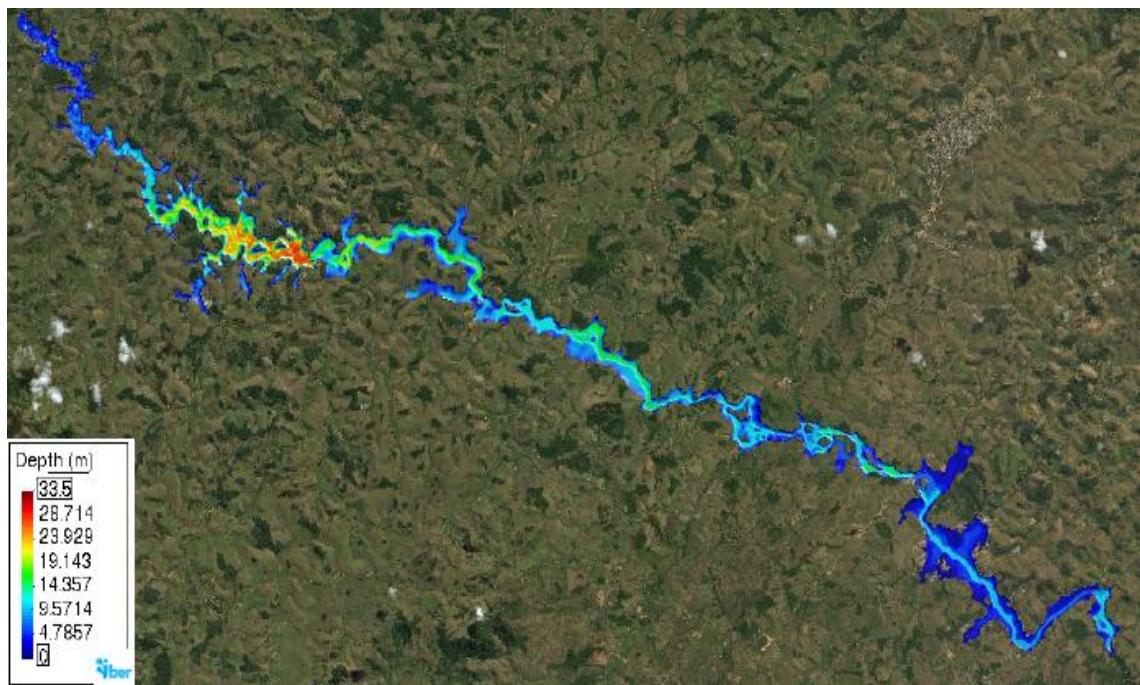


Figura 13: Mapa de máximo para a profundidade da lâmina d'água referente ao Cenário D.
Fonte: Organizado pelos autores (2023).

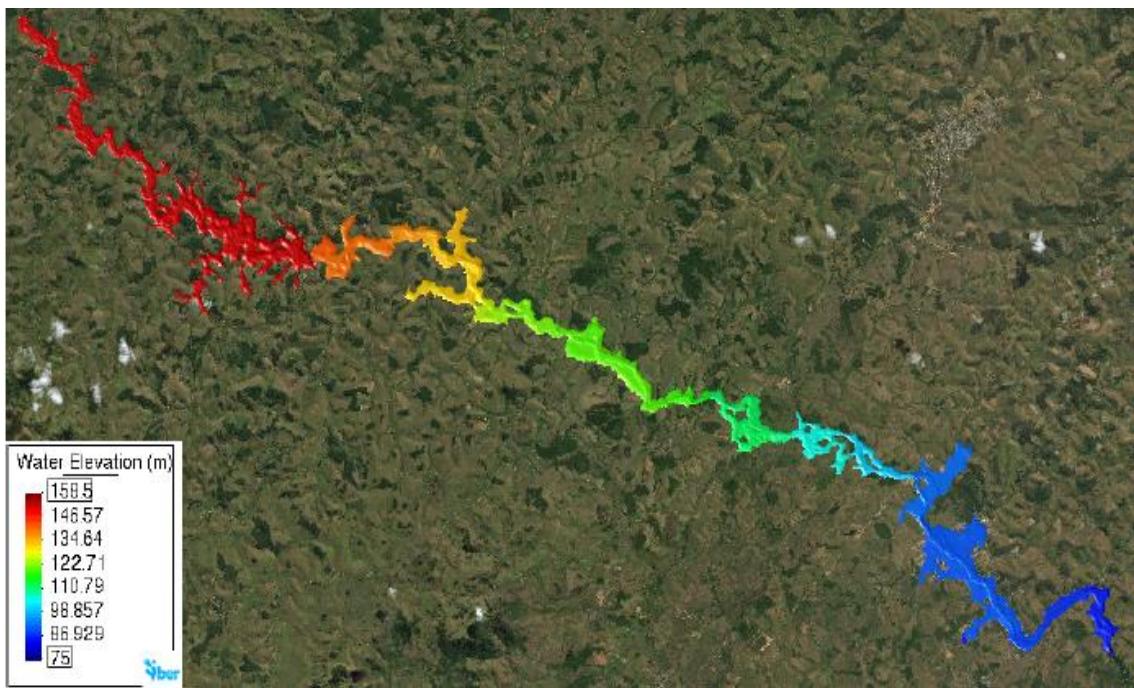


Figura 14: Mapa de máximo para a elevação da lâmina d'água referente ao Cenário D.

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Com o propósito de poder avaliar as diferenças entre os picos das ondas de cheias originados pelos variados cenários de rompimentos hipotéticos simulados, foram elaboradas as Tabelas 3-4.

Com base nos dados da Tabela 3, onde são apresentados os valores máximos da profundidade da lâmina d'água e, da Tabela 4, a qual contém os valores das respectivas elevações máximas, considerando os Cenários A-D, verifica-se que a maior profundidade ocorreu na ponte 02 do Cenário D, enquanto a menor profundidade deu-se na ponte 07 do Cenário C. Já, no que se refere à análise das elevações máxima e mínima obtidas, tem-se que as mesmas se deram na ponte 01 (Cenário D) e ponte 07 (Cenário C), respectivamente.

Tabela 3: Valores da profundidade máxima da lâmina d'água para os distintos cenários analisados.

Ponte	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
1	15,38 m	14,85 m	12,97 m	15,42 m
2	16,41 m	16,57 m	14,67 m	16,61 m
3	12,96 m	12,74 m	11,08 m	11,84 m
4	11,87 m	11,82 m	10,59 m	10,58 m
6	11,33 m	11,27 m	10,09 m	10,30 m
7	10,72 m	10,66 m	9,50 m	9,71 m

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Tabela 4: Valores da elevação máxima da lâmina d'água para os distintos cenários analisados.

Ponte	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
1	136,58 m	136,06 m	134,17 m	136,63 m
2	131,90 m	131,29 m	129,39 m	131,32 m
3	112,58 m	112,36 m	110,69 m	111,45 m
4	91,87 m	91,82 m	90,60 m	90,82 m
6	91,33 m	91,27 m	90,08 m	90,30 m
7	90,72 m	90,66 m	89,50 m	89,71 m

Fonte: Organizado pelos autores (2023).

Quanto à área mais urbanizada de Santo Antônio de Pádua, onde estão localizadas as duas últimas pontes (pontes 06 e 07), verifica-se que o pior cenário dentre todas simulações realizadas é caracterizado através do Cenário A, o qual gerou as maiores profundidades, e consequentes elevações, da lâmina d'água nas referidas pontes.

Conclusões

A análise do rompimento hipotético da barragem UHE Barra do Braúna mostrou a necessidade indispensável da fiscalização dos responsáveis técnicos no decorrer e, posteriormente, à sua construção, bem como por órgãos competentes, visto que a sua ocorrência gera problemas irreversíveis, na maior parte dos casos. Sendo assim, as seguintes conclusões foram obtidas:

- As simulações obtidas foram consideradas satisfatórias a fim de caracterizar o escoamento do rio no decorrer do seu percurso;
- O estudo do comportamento da lâmina d'água no tempo de ocorrência da onda de cheia provocada pelo rompimento hipotético da barragem gera vários impactos à zona urbana do município de Santo Antônio de Pádua, seja qual for o cenário simulado;
- Baseando-se no evento de inundação real simulado no software IBER (Figuras 03-05), constata-se que o modelo representou de modo satisfatório, o que indica uma boa robustez da metodologia aqui proposta para a região investigada;
- Conforme as simulações referentes ao perfil da elevação da lâmina d'água nas pontes analisadas (Figura 05), também chegou-se a conclusão em resposta à simulação de quatro cenários hipotéticos do rompimento da barragem, baseando-se nos dados extraídos do trabalho de Daru et al. (2013), onde foi possível constatar um aumento significativo nas elevações, independentemente do tipo de condição e ruptura investigada;

- No que diz respeito aos mapas de máximo das simulações (Figuras 06-13), relacionados à profundidade e à elevação da lâmina d'água, estas atingiram seu maior valor em 16,61 m e 136,63 m, respectivamente.

Perante as simulações realizadas no software IBER, é possível assegurar a viabilidade do modelo utilizado para o estudo, considerando-o de grande valia de cunho ambiental, em virtude de promover a simulação dos diferentes cenários e, com isso, fazer do seu uso uma ferramenta auxiliar no processo para a tomada de decisões, em se tratando de eventos de ordem catastrófica, como as ondas de cheias, ocasionadas pelo volume de água oriundo do rompimento de uma barragem.

Por fim, chegou-se à conclusão de que as consequências geradas com um provável rompimento hipotético da barragem da UHE Barra do Braúna podem atingir grande parte dos, aproximadamente, 43 mil habitantes, assim como várias edificações e áreas rurais da cidade de Santo Antônio de Pádua, estado do Rio de Janeiro, interferindo completamente na economia local. Logo, entende-se que tal evento, caso venha a ocorrer, representa significativo risco para a população e construções localizadas a jusante à barragem.

Agradecimentos

Esse estudo foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (E-47/2021-SEI260003/016517/2021-E-26/210.107/2022).

Referências

CHARGEL, L. T. Avaliação do uso de modelos hidrodinâmicos, suas limitações, efeitos de escala e da representação topográfica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2018. 296 f.

DARU, R. L.; SILVEIRA, R. M.; HAINOSZ, F. S.; BURAS, M. Propagação de ondas de ruptura e plano de ações emergenciais - UHE Barra do Braúna. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Bento Gonçalves (RS), 2013. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. p. 1-8.

MENDONÇA, N. S. Sustentabilidade e usos múltiplos da água da barragem Poção da Ribeira-SE. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2013. 225 f.

ROSSETTI, E. K. Gestão ambiental: ecoeficiência a caminho da sustentabilidade: o caso do Segmento Moveleiro da Serra Gaúcha. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2008. 120 f.

SARTORI, R. Z. Avaliação comparativa de modelos hidrodinâmicos para previsão de inundações: um estudo de caso do município de Getúlio Vargas-RS. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Fronteira do Sul, Erechim, Brasil, 2018. 148 f.

SILVA, B. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica para avaliação de inundações na zona urbana de Caruaru, PE.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2019. 109 f.

SILVA, S. M. C. **Planos de Bacia na Prática: Uma Análise do Planejamento dos Recursos Hídricos no Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. 66 f.

SOUSA, F. M. L.; NETO, V. S. C.; PACHECO, W. E.; BARBOSA, S. A. Sistema nacional de informações sobre recursos hídricos: Sistematização conceitual e modelagem funcional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Brasília (DF), 2012. Anais do **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2012. p. 1-20.

TSCHIEDEL, A. F. **Abordagem de grande escala para simulações de cheias geradas por rompimentos de barragens de armazenamento de água.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2022. 255 f.