

Aplicação de SIG Livre na Delimitação de Manchas de Inundação em Estudos Simplificados de Ruptura de Barragens

Natália Nor¹, Giovana Brito Daltoé², Sabrina de Castro Zorzo³, Cassiano Korndoerfer Tornin⁴,
Diego Gonzalez Urquhart⁵ & Eder Daniel Teixeira⁶.

Resumo:

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do software livre QGIS® na delimitação de manchas de inundação provenientes de estudos simplificados de ruptura hipotética de barragens. A metodologia adotada baseia-se no método Simplified Dam-break Flood Modeling (LNEC/ANA), amplamente utilizado em estudos preliminares de classificação do Dano Potencial Associado (DPA) no Brasil. O procedimento consistiu na interpolação da superfície hidráulica por meio de TIN, seguida da subtração do Modelo Digital de Elevação (MDE) para obtenção da lâmina de inundação e posterior delimitação da mancha inundada. Para validação da abordagem, foram comparados os resultados de área e volume inundado obtidos no QGIS® e no ArcGIS® para duas barragens. Os resultados apresentaram diferenças inferiores a 6%, evidenciando boa concordância entre as metodologias e indicando que o QGIS® constitui uma alternativa viável e de baixo custo para aplicações preliminares de modelagem simplificada de ruptura de barragens. Além disso, a metodologia mostrou-se aplicável tanto a MDEs livres quanto a bases altimétricas de maior resolução.

Abstract: This study aims to evaluate the applicability of the open-source QGIS software in the delineation of flood inundation areas resulting from simplified hypothetical dam-break studies. The adopted methodology is based on the Simplified Dam-break Flood Modeling (LNEC/ANA) method, widely used in preliminary studies for Potential Associated Damage (PAD) classification in Brazil. The procedure consisted of interpolating the hydraulic surface using a TIN, followed by subtracting the Digital Elevation Model (DEM) to obtain flood depth and subsequent delineation of the inundation area. To validate the approach, the flooded area and volume results obtained in QGIS® and ArcGIS® were compared for two dams. The results showed differences lower than 6%, indicating good agreement between the methodologies and demonstrating that QGIS® is a viable and low-cost alternative for preliminary simplified dam-break modeling applications. Furthermore, the methodology proved applicable to both open-access DEMs and higher-resolution elevation datasets.

Palavras-Chave: Ruptura de barragens; Mancha de inundação; Método LNEC/ANA; QGIS®; ArcGIS®.

Keywords: Dam Break; Flood inundation mapping; LNEC method; QGIS; ArcGIS.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o desafio associado à segurança de barragens é ampliado pela lacuna existente entre o número de estruturas cadastradas e a quantidade efetivamente existente no território

1) Graduanda em Engenharia Hídrica (IPH/UFRGS) e natalianorr@gmail.com

2) Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS) e gibdaltoe@gmail.com

3) Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS) e sabrina.zorzo@ufrgs.br

4) Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS) e cassianoktomin@outlook

5) Graduando em Engenharia Civil (UFRGS) e diegourquhart30@gmail.com

6) Professor Doutor DOH/IPH/UFRGS e eder.teixeira@ufrgs.br

nacional. De acordo com o Relatório de Segurança de Barragens (RSB) publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), há cerca de 28 mil barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) (ANA, 2025), sendo que mais da metade dessas estruturas ainda não foi verificada quanto ao enquadramento na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) (BRASIL, 2010).

Contudo, estima-se que o número real de barragens seja significativamente superior ao quantitativo atualmente passível de monitoramento. Conforme discutido no Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos de 2025, há estimativas que indicam que apenas o estado do Espírito Santo possua cerca de 40.000 barragens, enquanto o estado do Ceará apresenta aproximadamente 100.000 barramentos. Esse cenário evidencia a necessidade de ferramentas que permitam análises rápidas e confiáveis, especialmente em etapas preliminares de avaliação.

Nesse contexto, a análise de rompimento de barragens constitui uma etapa fundamental na avaliação de riscos, permitindo a estimativa de áreas inundadas, níveis d'água, velocidades e impactos potenciais sobre a população a jusante. Conforme destacado por Collischonn e Tucci (1997), a determinação dessas variáveis é essencial para o planejamento de medidas preventivas, definição de planos de evacuação e mitigação de danos.

De modo geral, essa análise é realizada por meio de modelos hidrodinâmicos baseados nas equações de Saint-Venant (MELO, 2013), os quais, embora robustos, apresentam elevada complexidade e dependem de grande quantidade de dados de entrada, estando sujeitos a incertezas associadas à definição de parâmetros hidráulicos e à representação do terreno. Nesse contexto, métodos simplificados surgem como alternativas viáveis para aplicações preliminares, especialmente quando associados a ferramentas de geoprocessamento para delimitação das áreas inundadas (KIPPER, 2023).

Dentre esses métodos, destaca-se o método simplificado denominado Simplified Dam-break Flood Modeling, aqui referido como método LNEC/ANA, desenvolvido por equipe do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/Portugal) entre 2013 e 2014, no âmbito do “Produto 6” do contrato nº 051/ANA/2012, firmado entre a ANA e o Banco Mundial. No SNISB, a ANA disponibiliza material técnico e cursos nos quais esse método é adotado para a delimitação da mancha de inundação no contexto da classificação preliminar do Dano Potencial Associado (DPA).

Tradicionalmente, a aplicação desse método está associada ao uso do software ArcGIS®, que possui custos elevados de licenciamento. Nesse contexto, surge a necessidade de avaliar alternativas gratuitas, como o Dambreak Model (OLIVEIRA et al., 2021), o QGIS®, entre outros. Neste estudo, optou-se pela utilização do QGIS®, com o objetivo de verificar sua capacidade de reproduzir resultados com qualidade equivalente ao software proprietário recomendado nos manuais da ANA.

MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo baseia-se na aplicação do método simplificado de modelagem de ruptura de barragens (Simplified Dam-break Flood Modeling), proposto pelo LNEC, com adaptação para ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) gratuito.

Áreas Estudadas e os Dados de Entrada

Foram selecionadas duas barragens para aplicação e validação do método: Alto Irani e Salto. As quais ficam localizadas, respectivamente, em Arvoredo/SC e São Francisco de Paula/RS. A

barragem do Alto Irani é do tipo soleira livre em concreto e possui altura de 43,3 m, comprimento de, aproximadamente ,250 m e conta com um reservatório de entorno de 14 hm³ e, por sua vez, a barragem do Salto é do tipo gravidade em concreto e possui altura de 10 m, comprimento de 600 m e reservatório com volume aproximado de 14 hm³ (Figura 1 a Figura 4).

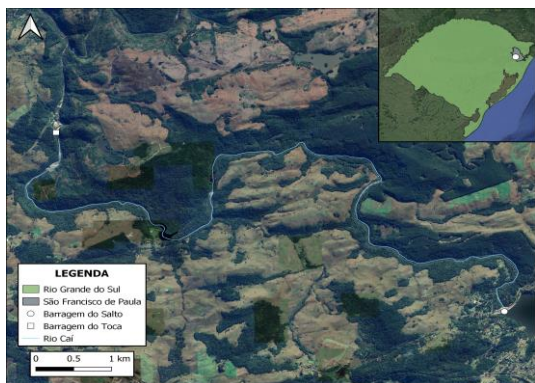


Figura 1 - Localização da barragem do Salto.



Figura 2 - Barragem do Salto.

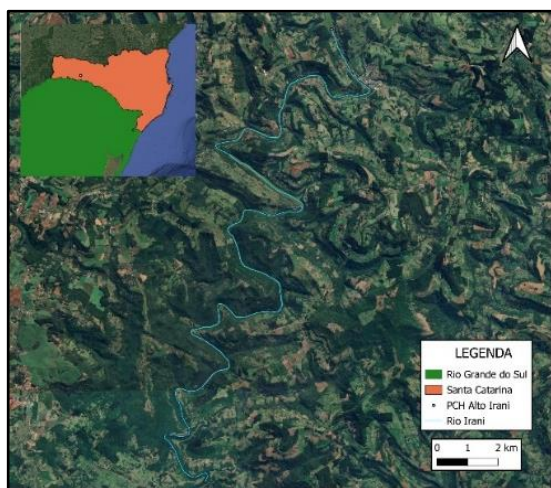


Figura 3 - Localização da barragem do Alto Irani.



Figura 4 - Barragem do Alto Irani.

Para ambas, foram utilizados os seguintes dados de entrada:

- i) MDE da área de estudo, neste estudo optou-se por utilizar o FABDEM, mas existem outras opções de MDE de livre acesso, como por exemplo o ANADEM (LAIPELT et al, 2024);
- ii) Eixo do rio em formato vetorial;
- iii) Seções transversais distribuídas ao longo do vale a jusante;
- iv) Parâmetros hidráulicos obtidos por meio de planilha eletrônica, conforme o método LNEC/ANA.

As seções transversais foram definidas de modo a representar adequadamente a geometria do vale, sendo posteriormente utilizadas como base para a modelagem hidráulica simplificada.

Determinação de Variáveis Hidráulicas

A partir das seções transversais, foram calculadas as vazões ao longo do trecho de estudo utilizando as equações propostas pelo método LNEC/ANA, que relacionam a vazão máxima com a distância a jusante da barragem.

Com base nessas vazões e na declividade do terreno, foram estimadas as cotas do nível d'água em cada seção transversal, permitindo a definição da superfície hidráulica da inundação.

Os resultados de vazão e nível d'água ao longo do eixo do rio são apresentados na forma de gráficos (Gráfico 1 e o Gráfico 2), possibilitando a análise do comportamento hidráulico ao longo do vale.

Gráfico 1 - Vazões Calculadas pelo Método LNEC.

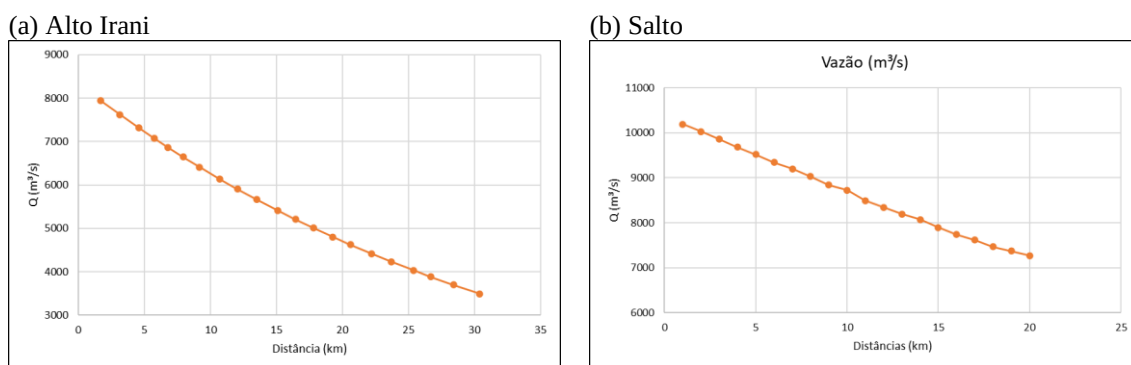
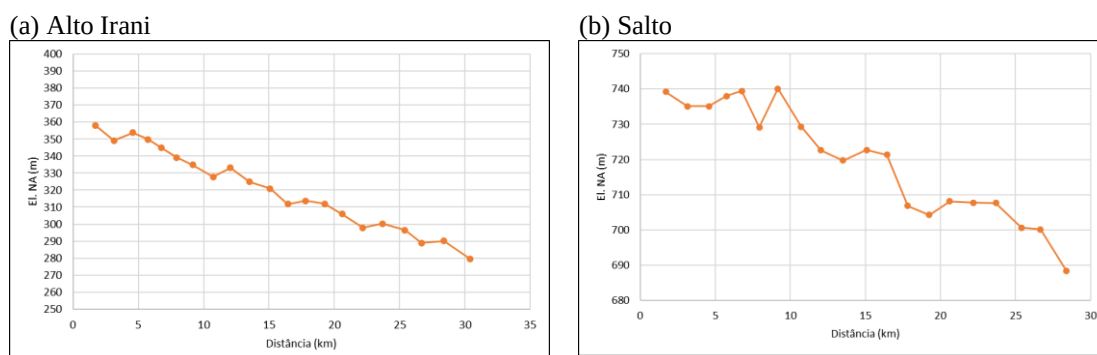


Gráfico 2 - Níveis d'água Calculados pelo Método LNEC.



Aplicação da Metodologia

I) Geração da Superfície de Inundação

A superfície hidráulica foi interpolada a partir das cotas obtidas nas seções transversais, utilizando o método de interpolação TIN (Triangulated Irregular Network). Esse procedimento gera uma superfície hidráulica da inundação ao longo do vale estudado.

A interpolação foi realizada tanto no QGIS® versão 3.44.9 quanto no ArcGIS® 10.5.1 permitindo a comparação entre os resultados obtidos em ambos os ambientes.

II) Cálculo da Lâmina de Inundação

A lâmina de inundação foi obtida utilizando a ferramenta calculadora *raster*, na qual foi transcrita a operação de subtração entre a superfície de inundação e a superfície do MDE da área da barragem (Eq. 1).

$$\text{lâmina de inundação} = \text{superfície de inundação@1} - \text{MDE@1} \quad (1)$$

A partir dos resultados encontrados foi utilizada novamente a calculadora *raster*, agora, com o intuito de representar apenas os valores positivos, a fim de obter apenas as áreas potencialmente afetadas pela mancha de inundação (Eq. 2).

$$\text{valores positivos} = (\text{lâmina de inundação@1} > 0) * 1 \quad (2)$$

III) Delimitação da Mancha de Inundação

A partir da lâmina de inundação, foi gerado um *raster* binário, no qual os pixels com valores positivos foram classificados como inundados.

Esse *raster* foi posteriormente convertido para formato vetorial, resultando na delimitação da mancha de inundação. Foram aplicados procedimentos adicionais de tratamento espacial, incluindo:

- i) remoção de polígonos residuais de pequena área, tendo seleção através da tabela de atributos;
- ii) dissolução de feições para obtenção de uma mancha contínua, através da ferramenta de dissolver *shapefiles*;
- iii) cálculo da área inundada, através da calculadora de campo na tabela de atributos da camada gerada pela dissolução.

Extração dos Dados Obtidos

O volume inundado, em hm^3 , foi estimado a partir da integração da lâmina de inundação sobre a área afetada, enquanto a área total, em hectares, foi obtida diretamente na calculadora de campo da geometria da mancha vetorial, conforme citado anteriormente. Esses cálculos foram realizados de forma independente nos softwares QGIS® e ArcGIS®.

Para validação da metodologia de extração da mancha de inundação utilizando o método LNEC/ANA em combinação com o QGIS®, os resultados obtidos pelo QGIS® foram comparados com aqueles obtidos pelo ArcGIS®, os quais foram adotados como referência. A comparação foi realizada com base nos valores de volume (hm^3) e área (ha) da área potencialmente inundada, sendo calculada a diferença percentual, conforme Eq. 3.

$$\text{Erro (\%)} = \frac{|\text{QGIS} - \text{ArcGIS}|}{\text{ArcGIS}} \times 100 \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação do método simplificado para delimitação da mancha de inundação nas barragens Alto Irani e Salto. Inicialmente, é realizada uma análise comparativa entre as manchas geradas nos softwares QGIS® e ArcGIS®, considerando aspectos visuais. Em seguida, são avaliados os valores de área e volume inundado, bem como as diferenças percentuais associadas, com o objetivo de verificar a consistência e a confiabilidade da metodologia proposta.

Resultados

No caso da barragem Alto Irani, observa-se, conforme apresentado na Figura 5-a, que as manchas de inundação obtidas pelos dois softwares apresentam elevada similaridade espacial ao longo do vale, com pequenas diferenças localizadas principalmente nas regiões de maior largura da planície de inundação.

Já para a barragem do Salto, conforme ilustrado na Figura 5-b, verifica-se maior divergência visual entre as manchas, especialmente em trechos mais abertos do vale. Ainda assim, a tendência geral de propagação da inundação é bem representada em ambos os softwares.

(a) Alto Irani

(b) Salto

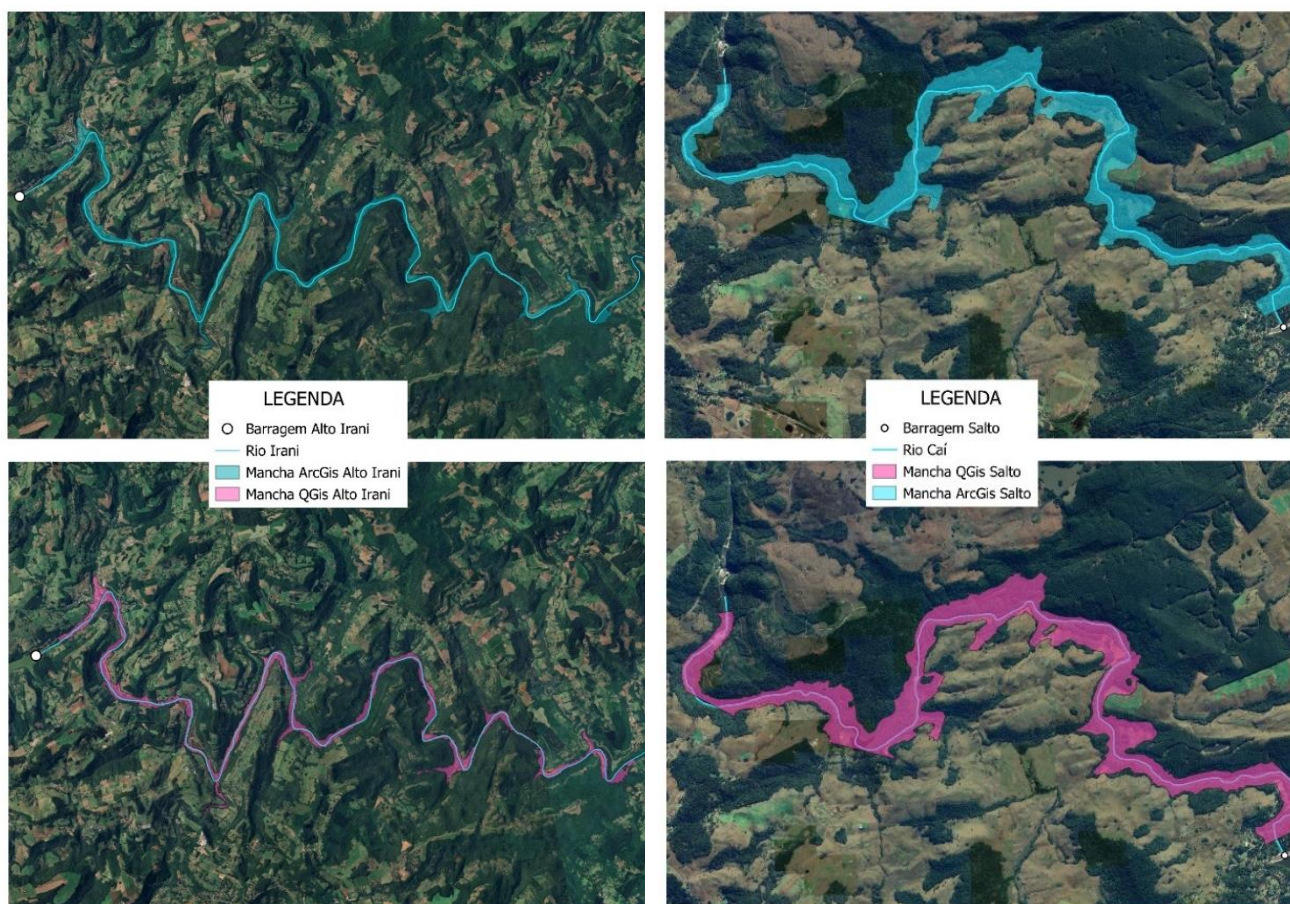


Figura 5 - Comparação entre as Manchas de Inundação das Barragem.

Discussões

Para avaliar a consistência do método proposto, foram comparados os resultados de volume e área inundada obtidos nos softwares QGIS® e ArcGIS® para as barragens Alto Irani e Salto, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados Obtidos.

Barragem	QGIS		ArcGIS	
	Volume (hm ³)	Área (ha)	Volume (hm ³)	Área (ha)
Alto Irani	4,66	472,03	4,83	477,08
Salto	2,69	271,32	2,55	256,67

Os resultados indicam boa concordância entre os softwares, com diferenças relativamente pequenas tanto para volume quanto para área inundada.

Com base nesses valores, foram calculadas as diferenças percentuais tomando o ArcGIS® como referência. Para a barragem Alto Irani, as diferenças foram de 3,52% para o volume e 1,06% para a área. Já para a barragem Salto, as diferenças foram de 5,49% para o volume e 5,71% para a área inundada.

Essas diferenças podem ser atribuídas principalmente às variações nos algoritmos de interpolação, à resolução espacial do MDE, aos diferentes tratamentos geométricos adotados por cada software e, também, pode ocorrer, possivelmente, pois o algoritmo desenvolvido por Oliveira e Martins (2015) para extração da mancha de inundação a partir dos resultados de elevação do nível d'água obtidos pelo método LNEC, determina o traçado da mancha por meio da intersecção entre duas superfícies: o MDE e a superfície formada pela união das elevações máximas do escoamento atingidas em cada seção. Este resultado acaba se limitando ao contorno das seções transversais utilizadas no desenvolvimento do método.

De modo geral, os resultados demonstram que o método simplificado associado ao uso do QGIS® apresenta boa robustez, com diferenças inferiores a 6%, sendo adequado para aplicações preliminares na análise de rompimento de barragens.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que as diferenças percentuais foram inferiores a 6% para ambas as barragens avaliadas, evidenciando boa concordância e confiabilidade do QGIS® como ferramenta alternativa. Tais diferenças são compatíveis com a natureza simplificada do método LNEC/ANA e podem ser atribuídas, principalmente, às variações nos algoritmos de interpolação e aos processos de tratamento geométrico adotados por cada software.

Dessa forma, o estudo evidencia que ferramentas livres podem ser empregadas de maneira eficiente na delimitação preliminar de manchas de inundação associadas a cenários de ruptura hipotética de barragens, permitindo reduzir custos operacionais sem comprometer significativamente a qualidade dos resultados.

Além da aplicação com MDEs livres, como FABDEM e ANADEM, mesmo que sem resultados apresentados neste estudo, afirma-se que esta metodologia também pode ser utilizada em bases altimétricas de maior resolução, possibilitando aumento da precisão na representação do terreno e, conseqüentemente, maior refinamento das manchas de inundação geradas.

Nesse contexto, estudos recentes têm demonstrado resultados promissores quanto à aplicação de MDEs livres, como FABDEM e ANADEM, associados ao método simplificado usado neste estudo. Destaca-se o trabalho de Nor et al. (2025), no qual foram realizadas análises comparativas na geração de manchas de inundação a partir de diferentes fontes de dados altimétricos (MDEs livres e contratados) e ferramentas computacionais, incluindo HEC-RAS 2D e LNEC, evidenciando desempenho satisfatório do método LNEC/ANA em conjunto com o FABDEM.

Por fim, em um cenário marcado pela limitação de informações sobre os empreendimentos existentes no território nacional afirma-se que a combinação de metodologias simplificadas, ferramentas SIG gratuitas e de MDE de acesso livre mostra-se promissora para aplicações preliminares relacionadas à determinação preliminar do DPA, hierarquização de barragens e elaboração inicial de PAE e Planos de Contingência (PLANCON), permitindo a ampliação da capacidade de avaliação de risco de forma técnica, acessível e economicamente viável. E isso contribui diretamente para a identificação de áreas potencialmente afetadas, aumento da previsibilidade de cenários de ruptura e, sobretudo, para a mitigação de riscos à população potencialmente exposta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos financiadores e facilitadores: Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), ao CNPq (Brasil) e à CAPES-Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANA. (2025). “Relatório de Segurança de Barragens 2024-2025.” Brasília, DF.
- BRASIL. (2010). Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Presidência da República. Casa Civil. Brasília, DF.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (1997). “Análise do Rompimento hipotético da barragem de Ernestina.” RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos.
- KIPPER, P. M.; FERLA, R.; STEINKE JUNIOR, R.; ROSSI, C. L. C. U.; SMIDERLE, C. S. D.; DAI PRÁ, M.; TEIXEIRA, E. D. (2023). “Método Simplificado em Estudo de Ruptura de Barragem: Estudo de Caso na Barragem João Amado/RS”. XXXIV SNGB, Foz do Iguaçu/PR.
- LAIPELT, L.; DE ANDRADE, B. C. C.; COLLISCHONN, W.; AMORIM, A.; PAIVA, R. C. D.; RUHOFF, A. (2024). “ANADEM: A digital terrain model for South America” Submetido para publicação na revista *Remote Sensing*.
- MELO, J.; ARAÚJO, L.; OLIVEIRA, M. M.; MARTINS, T.; PINTO, M.; FREITAS, P. (2015). “Hazard Potential Classification of Dams Using a Simplified Methodology”. Second International Dam World Conference, Lisboa, Portugal.
- MELO, L. P. R.; MARTINEZ, C. B.; TEIXEIRA, E. D.; MARQUES, M. G.; DIAS, R. F. C.; BRANDT, A. C. (2013). “Análise Comparativa de Metodologias de Propagação de Ondas para Previsão dos Impactos de Inundação Provenientes da Ruptura Hipotética da Barragem Tico-Tico”. XX SBRH, Bento Gonçalves/RS.
- NOR, N. KIPPER, P. M.; STEINKE JUNIOR, R.; FRAGA, F. O.; TORNIN, C. K.; SANAGIOTTO, D. G.; ENDRES, L. A. M.; DAI PRÁ, M.; TEIXEIRA, E. D. (2025). “Influência dos Métodos de Simulação e dos Modelos Digitais de Terreno na Geração da Mancha de Inundação”. XXVI SBRH, Vitória/ES.
- OLIVEIRA, J. A., SALGADO, S. R. T., VIANA, H., DE OLIVEIRA, M. V. A. M., CARNEIRO, H. F., DE OLIVEIRA, Y. C. A. (2021). “Dambreak model: software de simulação de rompimento de barragens.” XXIV SBRH, Belo Horizonte/MG.
- OLIVEIRA, M.; MARTINS, T. (2015) – “Dam-break flood-prone areas delineation and characterization”. Second International Dam World Conference,” Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.