

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Análise e
Modelagem de Sistemas Ambientais
Instituto de Geociências

Heuryson Ferreira Araújo

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA E ANÁLISE GEOESPACIAL
APLICADAS À AVALIAÇÃO DO RISCO DE RUPTURA DE BARRAGENS:
Estudo de caso da barragem de Galego, Sabará - MG**

Belo Horizonte
2025

Heuryson Ferreira Araújo

**MODELAGEM HIDRODINÂMICA E ANÁLISE GEOESPACIAL
APLICADAS À AVALIAÇÃO DO RISCO DE RUPTURA DE BARRAGENS:
Estudo de caso da barragem de Galego, Sabará - MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito final para a obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Área de concentração: Modelagem de Sistemas Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antônio Nero

Coorientador: Prof. Dr. Bráulio Magalhães Fonseca

Belo Horizonte
2025

A663m
2025

Araújo, Heuryson Ferreira.

Modelagem hidrodinâmica e análise geoespacial aplicadas à avaliação do risco de ruptura de barragens [manuscrito] : estudo de caso da barragem de Galego, Sabará - MG / Heuryson Ferreira Araújo. – 2025.

71 f., enc. il. (principalmente color.)

Orientador: Marcelo Antônio Nero.

Co-orientador: Bráulio Magalhães Fonseca.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2025.

Área de concentração: Modelagem de Sistemas Ambientais.

Bibliografia: f. 53-71.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Falhas em barragens – Santa Bárbara (MG) – Teses. 3. Avaliação de riscos – Teses. 4. Análise espacial (Estatística) – Teses. 5. Hidrodinâmica – Teses. I. Nero, Marcelo Antônio. II. Fonseca, Bráulio Magalhães. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

MODELAGEM HIDROLÓGICA E GEOESPACIAL DO RISCO DE RUPTURA: ANÁLISE INTEGRADA DA BARRAGEM DE GALEGO EM SABARÁ-MG E IMPLICAÇÕES PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL

HEURYSON FERREIRA ARAÚJO

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **dez de junho de dois mil e vinte cinco**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Prof. Nestor Alonso Mancipe Muñoz

Universidad Nacional de Colombia

Prof. Warlen Librelon de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Marco Antônio Timbó Elmiro

Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Bráulio Magalhães Fonseca - Orientador

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 18 de junho de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Warlen Librelon de Oliveira, Usuário Externo**, em 18/06/2025, às 09:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Marcos Antonio Timbo Elmiro, Professor do**



Magistério Superior, em 18/06/2025, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nestor Alonson Mancipe Munoz, Usuário Externo**, em 18/06/2025, às 12:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Braulio Magalhaes Fonseca, Professor do Magistério Superior**, em 25/06/2025, às 10:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4309199** e o código CRC **3057ED92**.

AGRADECIMENTOS

Em meio à jornada de construção desta dissertação, meu coração se enche de gratidão ao olhar para trás e reconhecer cada passo, cada apoio e cada incentivo. As palavras que seguem são um humilde tributo a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, tornaram este sonho uma realidade.

Primeiramente, minha eterna gratidão a Deus, que com sua infinita sabedoria, me concedeu força, saúde e resiliência para enfrentar os desafios e celebrar as conquistas deste percurso.

Agradeço imensamente aos meus professores, que com dedicação e excelência, compartilharam seus conhecimentos e me guiaram na busca por um pensamento crítico e inovador. Em especial, a minha sincera gratidão aos professores Dr. Marcelo Nero e Dr. Bráulio Magalhães, cujos valiosos conselhos, paciência e orientação foram cruciais para a concretização deste trabalho, assim como a toda banca examinadora.

À minha querida amiga e parceira, Lucimar Medeiros, um agradecimento especial por sua valiosa ajuda e apoio constante. Sua dedicação e olhar atento foram essenciais, especialmente na desafiadora etapa de correção desta dissertação, após as sugestões da banca examinadora. A sua parceria tornou este processo mais leve e o resultado, sem dúvida, mais preciso e aprimorado. Minha eterna gratidão.

Meu reconhecimento se estende a toda a equipe do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (PPG-AMSA) da UFMG, por me proporcionarem a oportunidade de cursar este mestrado, contribuindo significativamente para o meu crescimento acadêmico e profissional.

O apoio de minha família foi o pilar que sustentou minha caminhada. Aos meus pais, pelo amor e pelos valores que me transmitiram (in memoriam); aos meus irmãos, Warley Araújo, Christian Araújo e Wesley Araújo, e minhas queridas cunhadas, pela amizade, pelo carinho e por estarem sempre ao meu lado, compartilhando minhas alegrias e me confortando nas horas difíceis. No entanto, a gratidão mais profunda e especial reside naqueles que estiveram comigo em cada momento, vivenciando a rotina de estudos, pesquisas e noites sem dormir. A minha linda e jovem esposa, Aline Keiciane, meu eterno amor, companheira incondicional e a razão do meu esforço, que com seu carinho e sua paciência me acompanhou e me incentivou em todos os momentos. E aos meus preciosos filhos, Maria Célia, Heuryson Filho, Paulo José, Maria Teresa e Mathias José, o meu muito obrigado por entenderem a minha ausência, e por me motivarem diariamente a ser uma pessoa e um profissional melhor. Esta conquista é, sem dúvida, de todos nós. MUITO OBRIGADO!!!!

“Do rigor da ciência nasce a estratégia que pode
proteger nações e a inovação que salva vidas”
Heuryson Ferreira Araújo

RESUMO

A crescente expansão urbana em áreas adjacentes a barragens de rejeitos de mineração, configura um cenário crítico, no qual convergem desafios relacionados à segurança estrutural, vulnerabilidades socioambientais e ordenamento territorial. Isso porque, a ocupação desordenada em tais áreas intensifica a exposição de populações e infraestruturas a zonas de alto risco, comprometendo a capacidade de resposta a eventos de ruptura e a resiliência socioambiental. Partindo disso, essa pesquisa tem como objeto de estudo, a barragem do Galego, localizada no município de Sabará, Minas Gerais e visa avaliar de forma integrada, os riscos associados a um eventual rompimento da estrutura de contenção de rejeitos, bem como as implicações da eventual catástrofe para o planejamento territorial urbano sustentável da região. Para tal, foram empregadas modelagem hidrológicas e hidrodinâmicas de alta resolução, utilizando o software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), desenvolvido pelo Exército dos Estados Unidos, em conjunto com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e bases de dados públicas. A partir de simulações de cenários de ruptura, foram analisados parâmetros críticos como tempo de chegada da lama de inundação, profundidade máxima, velocidade do fluxo e extensão da área impactada, com especial atenção às zonas densamente povoadas e à infraestrutura crítica, incluindo a rodovia BR-381. Os resultados indicam que, em caso de colapso da estrutura de contenção, as consequências seriam severas e imediatas, com elevado potencial de perdas humanas, materiais e ambientais. A presente investigação também contemplou a análise multitemporal da dinâmica de uso e cobertura da terra no entorno da barragem entre os anos de 2012 e 2021, com cálculo do índice Kappa para aferição da acurácia dos dados. Além disso, foram incorporadas informações do projeto Mapbiomas para o ano de 2023, possibilitando uma avaliação detalhada da expansão urbana recente e da degradação da vegetação nativa na zona de influência da barragem em estudo. As evidências encontradas neste estudo, revelam um crescimento urbano desordenado, insuficiência de regulamentação do uso do solo e inexistência de sistemas de alerta precoce de rompimento da barragem. Assim, conclui-se que a gestão de territórios sob influência de barragens requer uma abordagem técnica e multidisciplinar, que integre ferramentas de modelagem preditiva, geotecnologias e planejamento territorial participativo. A adoção de medidas preventivas, tais como o sistema de monitoramento contínuo, definição de zonas de amortecimento, fortalecimento das normas de segurança e programas de educação ambiental, é imperativa para garantir a segurança hídrica, a integridade ecológica e a qualidade de vida das populações expostas. Em face de tudo, apresenta investigação científica reafirma a urgência de políticas públicas eficazes e baseadas em evidências, que promovam resiliência e sustentabilidade nos territórios de risco. Este estudo alinha-se à Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), com enfoque especificamente nos seguintes objetivos: ODS 06 (Água Potável e Saneamento), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida Terrestre), destacando a relevância da gestão de riscos de desastres no contexto da Agenda 2030.

Palavras-chave: ruptura de barragens; modelagem preditiva; risco socioambiental.

ABSTRACT

The growing urban expansion in areas adjacent to mining tailings dams creates a critical scenario, in which challenges related to structural safety, socio-environmental vulnerabilities and territorial planning converge. This is because the disorderly occupation in such areas intensifies the exposure of populations and infrastructures to high-risk zones, compromising the capacity to respond to rupture events and socio-environmental resilience. Based on this, this research has as its object of study the Galego dam, located in the municipality of Sabará, Minas Gerais, and aims to evaluate in an integrated manner the risks associated with a possible rupture of the tailings containment structure, as well as the implications of the eventual catastrophe for the sustainable urban territorial planning of the region. For this purpose, high-resolution hydrological and hydrodynamic modeling was used, using the HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) software, developed by the United States Army, in conjunction with Geographic Information Systems (GIS) and public databases. Based on simulations of failure scenarios, critical parameters such as arrival time of flood mud, maximum depth, flow velocity and extent of the impacted area were analyzed, with special attention to densely populated areas and critical infrastructure, including the BR-381 highway. The results indicate that, in the event of collapse of the containment structure, the consequences would be severe and immediate, with high potential for human, material and environmental losses. This research also included a multitemporal analysis of the dynamics of land use and coverage in the vicinity of the dam between 2012 and 2021, with calculation of the Kappa index to measure the accuracy of the data. In addition, information from the Mapbiomas project for the year 2023 was incorporated, enabling a detailed assessment of recent urban expansion and degradation of native vegetation in the area of influence of the dam under study. The evidence found in this study reveals disorderly urban growth, insufficient land use regulation and the absence of early warning systems for dam failure. Thus, it is concluded that the management of territories under the influence of dams requires a technical and multidisciplinary approach, which integrates predictive modeling tools, geotechnologies and participatory territorial planning. The adoption of preventive measures, such as continuous monitoring systems, definition of buffer zones, strengthening of safety standards and environmental education programs, is imperative to guarantee water security, ecological integrity and the quality of life of exposed populations. In view of all this, scientific research reaffirms the urgency of effective and evidence-based public policies that promote resilience and sustainability in at-risk territories. This study is aligned with the United Nations (UN) 2030 Agenda for Sustainable Development, with a specific focus on the following objectives: SDG 06 (Clean Water and Sanitation), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), SDG 14 (Life Below Water) and SDG 15 (Life on Land), highlighting the relevance of disaster risk management in the context of the 2030 Agenda.

Keywords: dam failure; predictive modeling; socio-environmental risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	17
Figura 2. Mapa de localização da barragem do Galego/Sabará/MG	20
Figura 3. Critérios para classificação de estrutura como barragem no Brasil	21
Figura 4. Protocolo para preparação para a modelagem hidráulica e hidrológica	26
Figura 5. Fluxograma de trabalho	29
Figura 6. Mapa evidenciando falhas de altimetria no produto Prodabel (PRODABEL, 2012)	30
Figura 7. Imagem Google Earth 06/2012	35
Figura 8. Imagem 09/2021	35
Figura 9. Mapa do Uso e ocupação do solo obtido a partir da imagem CBERS 4A 2021	36
Figura 10. Mapa do Uso e ocupação do solo obtido a partir da imagem Wordview 2012	37
Figura 11. Mapa de análise de imóveis, em amarelo, que seriam atingidos por um eventual rompimento da Barragem do Galego	40
Figura 12 - Mapa Comparativo entre as Hipotéticas Manchas geradas no Hec-Ras e Mancha Oficial Vale (vermelho)	41
Figura 13. Mancha de inundação 1	42
Figura 14. Mancha de inundação 2	43
Figura 15. Mancha de inundação 3	44
Figura 16. Mancha de inundação 4	45
Figura 17. Mancha de inundação 5	46
Figura 18. Manchas de inundação criadas por meio do HEC-RAS	46
Figura 19. Gráfico de Profundidade da Hipotética Mancha 1 de inundação	48
Figura 20. Gráfico de Profundidade da Hipotética Mancha 1 de inundação	49

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Coeficiente de Rugosidade Manning	33
Tabela 2 - Dados de mudanças no uso e ocupação do solo de 2012 a 2021	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (Sistema de Análise de Rios do Centro de Engenharia Hidrológica)

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PAEBM - Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

ANM - Agência Nacional de Mineração

GIS - Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

LIDAR - Light Detection and Ranging (Detecção e Medição da Luz)

MDTs - Modelos Digitais do Terreno

AMR - Adaptive Mesh Refinement (Refinamento Adaptativo de Malha)

CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

PMF - Prováveis Máximas Cheias

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

RSL - Revisão Sistemática da Literatura

ESRI - Environmental Systems Research Institute, Inc (Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais)

EAP - Emergency Action Plan (Plano de Ação Emergencial)

PNSB - Política Nacional de Segurança de Barragens

Ha - Hectares

OSS - Open Source Software (Programas de Código Aberto)

USACE - United States Army Corps of Engineers (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa	15
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivos específicos.....	18
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3.1 Caracterização da área de estudo.....	19
3.2 Marco regulatório das barragens no Brasil.....	20
3.3 Geoprocessamento e suas ferramentas aplicadas à gestão e monitoramento de barragens.....	22
3.4 HEC-RAS como ferramenta de modelagem hidrológica.....	24
3.5 Bases de dados utilizadas para a simulação de rompimento de barragens.....	25
3.6 Aplicação prática e preparação do MDT Sentinel.....	26
3.7 Levantamento hidrológico da região de estudo.....	27
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1 Obtenção das bases de dados	29
4.2 Qualidade Temática.....	30
4.3 Modelagem hidrodinâmica com HEC-RAS.....	31
4.4 Dados de entrada.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

A expansão residencial em zonas adjacentes a barragens de mineração constitui um fenômeno complexo, influenciado por dinâmicas socioeconômicas, pressões urbanísticas e a carência de regulamentação territorial efetiva (DA SILVA, 2016; MAGNO, 2023; MENEGALLE, 2002). Esse cenário apresenta implicações críticas para a segurança pública, a sustentabilidade ambiental e a resiliência urbana (FREITAS NETO et al., 2019), especialmente quando associado ao risco de ruptura de barragens, que podem trazer consequências catastróficas (LIMA, 2021).

No âmbito internacional, a expansão residencial em zonas próximas a barragens de mineração é um fenômeno observado principalmente em países em desenvolvimento (BECK et al., 2012), onde o crescimento urbano desordenado, a demanda por habitação acessível e a falta de planejamento territorial integrado, frequentemente superam as medidas de segurança (RICHTER et al., 2010). Essa dinâmica é particularmente crítica em regiões com histórico de fragilidade regulatória, como demonstrado nos casos de rompimentos de barragens no Brasil, nas cidades de Bento Rodrigues em 2015 e Brumadinho em 2019 (SOARES et al., 2025), onde comunidades ocupavam áreas de alto risco devido à ausência de zoneamento adequado (OBERHOLZER & VILJOEN, 2020; UNEP, 2023).

Além disso, a avaliação desses riscos, exige abordagens metodológicas concretas e confiáveis, baseadas em modelos hidrodinâmicos avançados, como por exemplo o FLO-2D e HEC-RAS (PHYO et al., 2023), que simulam a propagação de fluxos de rejeitos ou manchas de inundação, considerando variáveis topográficas, características do material e cenários hipotéticos de ruptura (USACE, 2020; MORAIS et al., 2022).

Países como Canadá e Austrália têm estabelecido diretrizes rigorosas para restringir ocupações em zonas de inundação potencial, enquanto nações em desenvolvimento ainda enfrentam desafios na implementação efetiva de políticas de uso do solo, destacando a necessidade de cooperação técnica internacional e adoção de melhores práticas (DOBERSTEIN et al., 2019).

Especificamente no contexto normativo brasileiro, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), Lei nº 12.334/2010 (BRASIL, 2010) e as diretrizes da Agência Nacional de Mineração (ANM), como a Portaria nº 70.389/2017 (ANM, 2017), estabelecem parâmetros técnicos obrigatórios para a elaboração de Planos de Ação de Emergência (PAEBM), incluindo a geração de mapas de inundação baseados em cartografia atualizada modelos precisos (BRASIL, 2010). Contudo, a efetividade desses instrumentos é frequentemente comprometida

pela ausência de integração entre planejamento urbano e gestão de riscos, evidenciada pela crescente ocupação de áreas vulneráveis a jusante de barragens.

A barragem do Galego, objeto do presente estudo, ilustra como a ineficácia na implementação das diretrizes da PNSB e da AMN contribuiu para a produção de novos territórios de riscos. Isso porque, a conurbação desordenada no município de Sabará, estado de Minas Gerais (Brasil), impulsionada por pressões habitacionais, especulações fundiárias e ausência de fiscalização efetiva, desafia a lógica técnica dos instrumentos de segurança de barragens, evidenciando a necessidade urgente de estratégia intersetoriais que integrem planejamento urbano, regulação ambiental e gestão de risco de desastres em uma abordagem territorial sistêmica (MAIA et al., 2024).

Nesse cenário de expansão urbana sobre áreas próximas a barragens e de influência direta de barragens de rejeitos, observa-se a formação de um ambiente de vulnerabilidade mútua: por um lado, as comunidades são expostas a riscos tecnológicos latentes, e por outro, a presença humana intensifica os impactos potenciais de uma eventual ruptura, transformando eventos localizados em desastres de proporções regionais ou mesmo, em uma análise mais ampla, nacionais e internacionais (OHMAN, 2016).

Por isso, a ausência de uma abordagem preventiva, baseada na articulação interinstitucional entre órgãos de defesa civil, gestores ambientais e autoridades competentes, compromete a capacidade de resposta e de mitigação de danos (SÉRGIO et al., 2025). Ademais a invisibilização socioespacial de populações que habitam informalmente essas áreas, muitas vezes sem acesso a informações de riscos ou instrumentos de participação, reforça padrões de injustiça ambiental e de desigualdades territoriais preexistentes (SÉRGIO et al., 2025).

A literatura técnico-científica evidencia que a sobreposição entre áreas de risco e expansão habitacional se intensifica em contextos marcados por baixa governança territorial e por instrumentos ineficazes de controle de uso e ocupação do solo (BENINI et al., 2024).

Mesmo em municípios mineradores com alta arrecadação por Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), verifica-se uma lacuna na aplicação desses recursos em políticas públicas de ordenamento territorial, como a delimitação em zonas de amortecimento e a implementação de sistemas de alerta precoce eficazes (CARVALHO et al., 2012). Além disso, estudos recentes demonstram que, em muitos casos, os Planos Diretores Municipais não incorporam os mapas de inundação dos PAEBM's, dificultando a regulamentação de novos

empreendimentos e contribuído para a perpetuação de ocupação em áreas sabidamente perigosas (SILVA, 2013).

Portanto, torna-se imprescindível propor um novo paradigma metodológico para análise integrada de riscos, que considere não apenas as variáveis hidrodinâmicas e geotécnicas associadas às barragens, mas também os vetores socioespaciais da ocupação urbana e seus determinantes históricos, políticos e econômicos. Tal abordagem deve fundamentar-se em metodologias interdisciplinares que combine modelagem ambiental, geotecnologias e análise institucional, com objetivo de subsidiar políticas baseadas em evidências científicas.

Nesse sentido, este trabalho propõe uma análise sistêmica da interação entre expansão urbana e infraestruturas de mineração, com enfoque em três eixos inter-relacionados, quais sejam: acurácia do mapeamento temático por meio da avaliação da quantidade de bases cartográficas e imagens de satélite (WorldView-2012, CBERS-4A), na representação de feições críticas para modelagem hidrodinâmica; impacto da ocupação humana nos cenários de ruptura através da simulação de manchas de inundação hipotéticas e diretrizes para a governança territorial, por meio de um marco integrado que articule políticas públicas, planos diretores e instrumentos de ordenamento territorial, alinhado aos princípios de sustentabilidade e justiça ambiental. A partir dessa abordagem integrada, propõe-se uma estrutura metodológica inovadora para servir de aporte a políticas públicas voltadas à convivência segura entre urbanização e infraestruturas de mineração, contribuindo para uma mudança de paradigma no âmbito do planejamento territorial.

Assim, esta pesquisa tem como objetivo principal gerar evidências científicas que possam fundamentar a criação e implementação de políticas públicas eficazes para coibir a expansão residencial em áreas de riscos adjacentes a barragens de mineração. Não com o propósito de favorecer a expansão desordenada e hegemônica da atividade minerária, mas sim com o objetivo de coibir a ocupação irregular em áreas de risco e prevenir a ocorrência de novas tragédias socioambientais advindas de rompimentos de barragens de mineração no estado.

Os resultados obtidos buscarão fornecer subsídios para a proteção de comunidades locais, com o propósito fundamental de preservar vidas e prevenir futuros desastres socioambientais.

1.1 Justificativa

A presente pesquisa justifica-se pela urgência científica, técnica e social de compreender, modelar e mitigar os impactos decorrentes da expansão urbana em zonas próximas a barragens de mineração, especialmente em contextos marcados por fragilidades institucionais e déficit de planejamento territorial.

O Brasil, notadamente o estado de Minas Gerais, tem sido palco de tragédias socioambientais associadas a rupturas de barragens, como nos casos de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), que evidenciaram falhas sistêmicas na articulação entre políticas de segurança de barragens, ordenamento territorial e proteção socioambiental (STEINBRENNER et al., 2019; FREITAS et al., 2019; DE OLIVEIRA REIS et al., 2020).

Apesar da existência de normativas como a Lei nº 12.334/2010 e das diretrizes técnicas da Agência Nacional de Mineração, há uma lacuna crítica na capacidade do poder público de integrar mapas de inundação, cenários de risco e planos de emergência com instrumentos de planejamento urbano e com Planos Diretores Municipais. Tal desarticulação compromete a efetividade e permite a contínua ocupação irregular de áreas de risco a jusante das barragens. Outro advento é que a literatura internacional carece de abordagens metodológicas que combinem, de maneira integrada, ferramentas de modelagem hidrodinâmica, análise geoespacial e avaliação institucional para compreender os impactos da urbanização desordenada sobre a segurança de infraestruturas minerárias (USACE, 2023). A ausência de dados técnicos atualizados, como imagens de alta resolução e cartografias temáticas consistentes, limita a capacidade dos municípios de agir preventivamente, o que é agravado por desigualdades territoriais e por um histórico de invisibilização socioespacial de populações vulneráveis.

A escolha da barragem do Galego, em Santa Luzia/MG, como estudo de caso, revela-se especialmente oportuna, pois esse território exemplifica um quadro crítico de conurbação desordenada, sobreposição de zonas habitacionais com áreas de alto risco e descompasso entre crescimento urbano e gestão de desastres. Trata-se, portanto, de um caso emblemático que permite extrapolações metodológicas e conceituais para outras regiões mineradoras do país e do mundo.

No âmbito internacional, ao abordar a interface crítica entre urbanização informal, risco tecnológico e governança socioambiental, esta pesquisa propõe um marco analítico e

metodológico de alcance internacional, essencial para repensar estratégias de prevenção de desastres, ordenamento territorial e convivência segura com grandes empreendimentos extrativos do século XXI.

Este trabalho visa contribuir diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (AGENDA 2030, 2025), presentes na figura 1, abaixo, ao abordar de forma interdisciplinar a problemática da expansão urbana em áreas de risco associadas a barragens de mineração, com ênfase na prevenção de desastres, justiça ambiental e governança territorial. A pesquisa dialoga especialmente com os seguintes ODS's: ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao propor diretrizes para um ordenamento urbano mais seguro, resiliente e integrado à gestão de riscos; ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao considerar a vulnerabilidade das populações frente a eventos extremos intensificados por ocupações irregulares e pela degradação ambiental; e com o ODS 15 (Vida na Terra), ao destacar a importância da proteção de áreas ecologicamente sensíveis a jusante das barragens. De forma indireta, contribui para o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), ao propor medidas preventivas que visam proteger bacias hidrográficas, mitigar impactos em sistemas de abastecimento e evitar danos à saúde pública decorrente de rompimentos.

Assim, ao integrar a análise técnico-científica com instrumentos de planejamento territorial e modelagem ambiental, a pesquisa se alinha também ao ODS 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes), ao evidenciar a necessidade de fortalecimento institucional, transparência, participação social e articulação entre esferas de governo para uma gestão territorial eficaz, ética e preventiva, baseada em evidências científicas.

Figura 1. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: Organização das Nações Unidas - ODS/ONU

2 OBJETIVOS

Desenvolver uma abordagem metodológica integrada para análise dos riscos associados à expansão urbana em áreas adjacentes a barragens de mineração, combinando modelagem hidrodinâmica, geotecnologias e avaliação institucional, de modo a subsidiar políticas públicas de ordenamento territorial, segurança de barragens e prevenção de desastres, com base no estudo de caso da Barragem do Galego, em consonância com os princípios de justiça ambiental, sustentabilidade e governança multiescalar.

2.1 Objetivos Específicos

1. Mapear e caracterizar a expansão urbana na área de influência direta da barragem do Galego, por meio da análise multitemporal de imagens orbitais (CBERS-4A, World - 4A, WorldView) e dados cartográficos, visando identificar padrões de ocupação desordenada e a sobreposição com zonas de risco hidrotécnico;
2. Simular cenários hipotéticos de ruptura da barragem utilizando modelos hidrodinâmicos de alta precisão (como FLO-2D e HEC-RAS, a fim de delimitar manchas de inundação, calcular tempos de resposta e estimar os impactos diferenciados sobre populações e infraestruturas urbanas vulneráveis.
3. Propor diretrizes e recomendações técnicas e institucionais para a formulação de políticas públicas integradas, com vistas à prevenção de desastres tecnológicos, ordenamento urbano resiliente e fortalecimento da gestão territorial em contextos de vulnerabilidade socioambiental.
4. Contribuir para a construção de um modelo analítico replicável em outras regiões mineradoras do Brasil e do Sul Global, que integre critérios técnicos, sociais e espaciais na avaliação de riscos induzidos pela urbanização em zonas de influência de barragens de mineração.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Caracterização da área de estudo

A barragem do Galego, de propriedade da mineradora Vale S.A., localiza-se no município de Sabará, no estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 19°51'25.9" S e 43°48'16.3" O (VALE, 2024). Trata-se de uma estrutura de mineração do tipo terra homogênea, assentada sobre fundação composta por solo residual e aluvião, cuja altura máxima licenciada atualmente é de 41 metros e comprimento da crista de 127, 30 metros (VALE, 2024).

O reservatório, com área de aproximadamente 68 metros, apresenta capacidade total de mais de 2 milhões de metros cúbicos e volume de mais de 1 milhão de metros cúbicos, armazenando rejeitos provenientes do beneficiamento de minério de ferro (SIGBM, 2024).

O método construtivo adotado para a barragem em estudo é a jusante por etapas, sendo este reconhecido por apresentar maior estabilidade em comparação com outros dos como por exemplo o método a montante (SIGBM, 2024).

Do ponto de vista de classificação geral, a barragem do Galego, está inserida no cadastro da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), sendo enquadrada na Categoria de Risco Baixo (CRA-Baixo), mas com dano potencial associado alto (DPA-Alto), o que reflete a vulnerabilidade da ocupação a jusante (SIGBM, 2025).

Estima-se que entre 101 e 500 pessoas possam ser afetadas diretamente em caso de rompimento da estrutura, havendo presença de áreas residenciais, agrícolas e infraestruturas de relevância sócio-econômica-cultural, além de ambientes de interesse ambiental na região (SIGBM, 2025).

Embora não se encontre em situação de emergência como outras barragens presentes no estado de Minas Gerais, a barragem em estudo possui Plano de Ação de Emergência de Barragens (PAEBM) elaborado, assim como relatórios de inspeção e monitoramento emitidos regularmente (SIGBM, 2025). Ou seja, apesar da caracterização técnico-operacional do empreendimento revelar sua boa condição estrutural e baixo risco intrínseco, o DPA-Alto associado confere à barragem do Galego, uma posição de atenção no contexto da gestão de barragens de mineração em Minas Gerais (SNISB, 2025). Assim, para evitar que a situação se agrave e evolua para um risco de ruptura, essa estrutura demanda gestão integrada entre a mineradora e o poder público para assegurar a defesa civil das populações a jusante e a

De acordo com a legislação vigente, entende-se por barragem, toda estrutura implantada em cursos d'água, permanentes ou temporários, ou em cavas exauridas, com a finalidade de conter ou acumular substâncias líquidas ou mistura de líquidos e sólidos, abrangendo tanto o barramento principal, quanto as estruturas complementares a ele associadas (BRASIL, 2020). Para fins legais, são enquadradas como barragens no Brasil, aquelas estruturas que apresentam ao menos, uma das condições elencadas no Art. 1º da Lei nº 12.334/2010, presentes na figura 3, abaixo:

Figura 3. Critérios para classificação de estrutura como barragem no Brasil

Critério	Classificada como Barragem	Não Classificada como Barragem
 Altura \geq 15 metros	Sim	Não
 Capacidade \geq 3.000.000 m ³	Sim	Não
 Resíduos Perigosos	Sim	Não
 Dano Potencial Médio/Alto	Sim	Não
 Categoria de Risco Alta	Sim	Não

Fonte: Do autor, elaborado pelo NapKin

A operacionalização dessa política é complementada por normas infralegais, como a Resolução ANM nº 95/2022, elaborada pela Agência Nacional de Mineração (ANM), que detalha aspectos técnicos e procedimentais necessários à implementação da legislação (ANM, 2022).

No âmbito do estado de Minas Gerais, destaca-se a legislação criada em resposta ao rompimento da barragem de Brumadinho em 25 de janeiro de 2019: a Lei nº 23.291/2019,

criando a Política Estadual de Segurança de Barragens (PESB) (MINAS GERAIS, 2019). Essa norma atribuiu ao Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema), a competência de fiscalização ambiental das barragens.

No âmbito da PNSB, a criação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), constitui ferramenta estratégica para a gestão integrada e transparência de informações, consolidando dados e informações referentes a barragens de múltiplos usos, incluindo as de acumulação de água, rejeitos e resíduos industriais (SNISB, 2025).

Contudo críticas relevantes apontam fragilidades estruturais do sistema, sobretudo pela dependência de informações autodeclaradas pelos empreendedores, frequentemente produzidas por consultorias contratadas, o que pode suscitar imparcialidade na confiabilidade dos dados (DE CARVALHO MEDEIROS, 2024).

Diante desse panorama, observa-se que o domínio sobre o marco regulatório das barragens no Brasil é requisito indispensável para profissionais que atuam em perícias, elaboração de pareceres técnicos e atividades de inteligência aplicada à gestão de riscos de rompimentos de barragens (DE CARVALHO MEDEIROS, 2024).

3.3 Geoprocessamento e suas ferramentas aplicadas à gestão e monitoramento de barragens

O geoprocessamento constitui um campo interdisciplinar que integra princípios da ciência geográfica, técnicas computacionais e ferramentas tecnológicas avançadas para a aquisição, processamento, análise e representação e a representação de dados espaciais (CUBAS et al., 2020). Essa convergência metodológica tem sido amplamente documentada em estudos recentes como os de Cordeiro et al., 2024, Marion et al., 2024 e Moraes et al., 2025, o que evidencia seu papel central na proposição de soluções integradas para problemas ambientais e socioeconômicos complexos (CORDEIRO et al., 2024, MARION et al., 2024 e MORAES et al., 2025). Sua aplicabilidade abrange desde planejamento urbano sustentável até a gestão de recursos naturais e também a mitigação de desastres ambientais (DUTRA et al., 2025; JHA et al., 2025).

Avanços recentes em geoprocessamento, como nos softwares QGIS (QGIS Development Team, 2023) e ArcGIS (ESRI, 2024), aliados a tecnologias emergentes como veículos aéreos não tripulados (drones) equipados com sensores multiespectrais (SALIM et al., 2023) e sistemas LiDAR, ampliaram a precisão e a resolução espacial das análises (VINCI et

al., 2024, CHEN et al., 2025). Essa evolução tecnológica, possibilita a coleta de dados de alta acurácia, otimizando processos de tomada de decisão baseados em evidências (RADEMANN et al., 2024).

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), notadamente ArcGIS, QGIS e Spring, constituem a espinha dorsal das operações em geoprocessamento, viabilizando a manipulação, integração, visualização e análise de dados georreferenciados (CORRÊA et al., 2024). Essas plataformas oferecem desde funcionalidades elementares de mapeamento até modelagens preditivas sofisticadas, como simulações hidrológicas e análises de risco ambiental (CORRÊA et al., 2024).

Em se tratando de estudos preditivos relacionados a rompimentos de barragens, estas ferramentas são essenciais, pois tecnologias como drones e LiDAR, permitem o mapeamento tridimensional e a caracterização detalhada da superfície terrestre, com aplicações diretas no monitoramento de barragens (NERO et al., 2024, SREEKUMAR et al., 2024), bem como na análise de movimentos de massa (SOUSA et al., 2014).

Outra ferramenta que pode ser utilizada aliada ao geoprocessamento é o Google Earth Engine (GOOGLE, 2024) que tem ampliado a capacidade de compartilhamento e processamento colaborativo de dados geoespaciais, reduzindo custos computacionais e favorecendo a interoperabilidade entre equipes e instituições (ZHENLONG et al., 2025), como demonstrado em estudos recentes como os de Liang et al., 2024, Medeiros et al., 2024 e Vijayakumar et al., 2024 (LIANG et al., 2024; MEDEIROS et al., 2024; VIJAYAKUMAR et al., 2024).

Especificamente no contexto ambiental, o geoprocessamento é aplicado ao monitoramento de desmatamento, mapeamento de uso e cobertura da terra e avaliação (LIMA, 2025). Já no planejamento territorial, ele contribui para a elaboração de planos diretores e identificação de áreas prioritárias à conservação (CORDEIRO;MAGALHÃES; SABBI, 2024).

Embora as potencialidades de estudos com ferramentas de geoprocessamento sejam grandes, esse caminho também é feito de desafios persistentes como limitações no acesso a dados confiáveis e na capacitação técnica dos profissionais envolvidos (ARIZA-LÓPEZ, 2022). Pois, não obstante a tais avanços, o geoprocessamento enfrenta limitações estruturais que condicionam a robustez analítica e a transferibilidade dos resultados, como a heterogeneidade e a lacunaridade dos dados (BLANCO, 2025). Como exemplos disso, podemos citar as diferenças de escalas, resoluções temporais e espectrais, cobertura espacial

desigual, sombras e nuvens, inconsistências radiométricas, etc, que comprometem a comparabilidade intertemporal e inter-regional, bem como erros posicionais, incertezas de classificações georreferenciamento, além de vieses amostrais raramente não propagados e comunicados ao longo do fluxo de trabalho (BLANCO, 2025). Isso fragiliza e dificulta inferências certas e confiáveis.

Outro fator é que a qualidade da evidência geoespacial depende tanto da sofisticação algorítmica quanto da curadoria dos dados, da quantificação explícita de incertezas e de arranjos institucionais que garantam padrões, transparência e capacidade técnica (FREIMAN et al., 2022).

Para superar essas lacunas, a consolidação de um ecossistema integrado entre ciência, tecnologia e instituições se mostra crucial para transformar o geoprocessamento em um instrumento efetivo de apoio à decisão em cenários ambientais e socioeconômicos complexos (REIS et al., 2014). Para auxiliar nesse processo, o desenvolvimento de algoritmos baseados em inteligência artificial e aprendizado de máquina, desponta como vetor de inovação, elevando a acurácia e o grau de automação das análises (DEMISSIE et al., 2024).

Em síntese, o geoprocessamento representa um instrumento poderoso para o monitoramento de barragens, integrando técnicas avançadas de aquisição e processamento de dados (BOUKARI et al., 2025). Contudo, sua efetividade depende não apenas do avanço tecnológico, mas também da superação de desafios metodológicos e institucionais, reforçando a necessidade de um ecossistema integrado entre ciência, tecnologia e políticas públicas para garantir decisões baseadas em evidências científicas.

3.4 HEC-RAS como ferramenta de modelagem hidrológica

O HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, é uma ferramenta computacional amplamente validada para a modelagem hidrológica e hidráulica empregada na simulação de escoamento em rios, canais e sistemas de drenagem (BRAGG et al., 2025; SAMAL et al., 2025). Baseado em equações unidimensionais e bidimensionais SULEK;ORFANUS, 2025, o software permite a análise de regimes de fluxo permanente e não permanente, além de simulações de inundações, transporte de sedimentos e rupturas de barragens (KANAL et al., 2025).

Sua aplicação abrange desde o dimensionamento de estruturas hidráulicas até a avaliação de riscos associados a eventos extremos, como cheias e transbordamentos (BRAGG

et al., 2025). A integração com ferramentas de geoprocessamento, viabiliza a espacialização de resultados, facilitando a interpretação de zonas de inundação e tomada de decisão em gestão de recursos hídricos (KANAL et al., 2025).

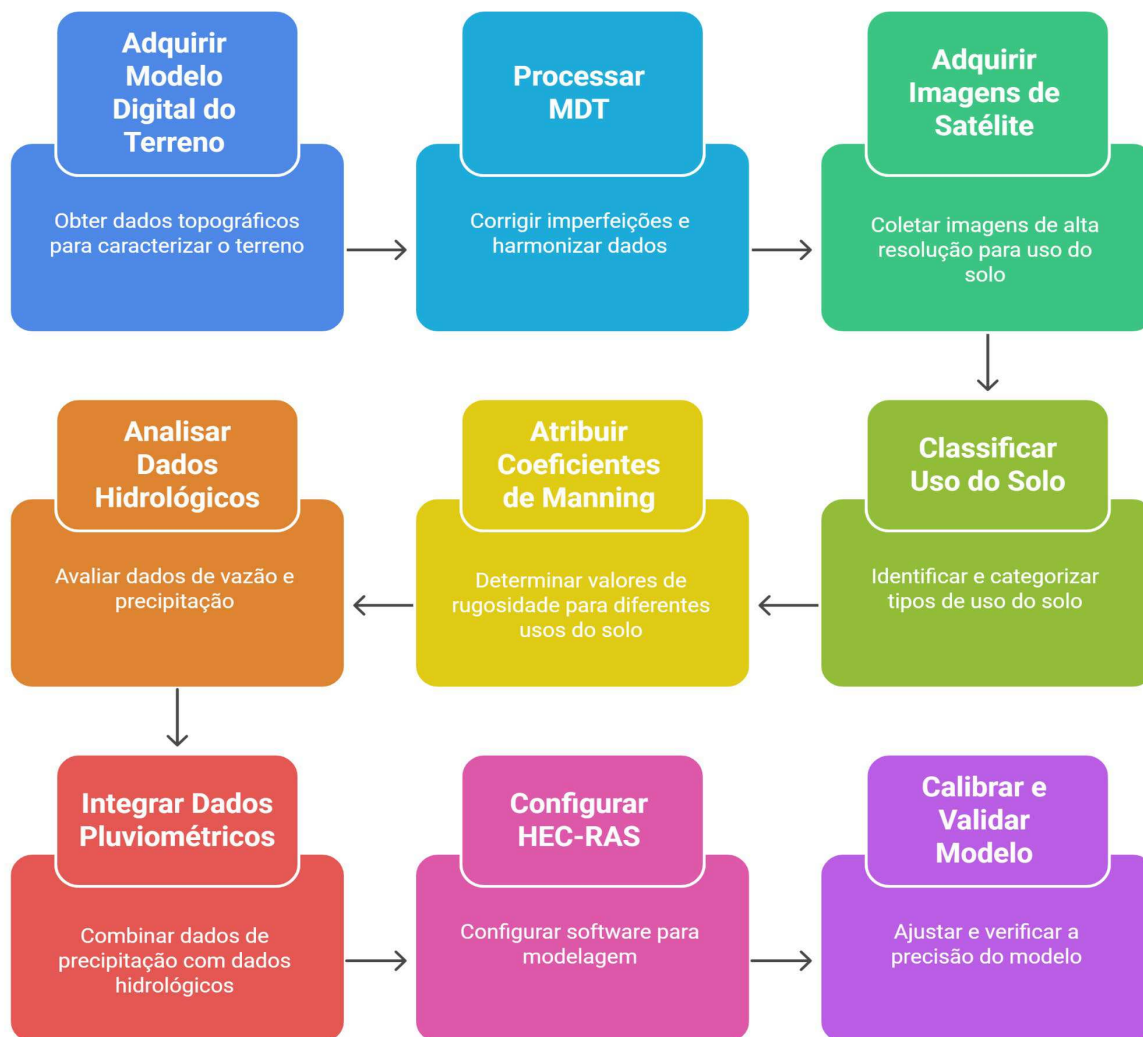
Apesar de sua eficácia comprovada, limitações inerentes à simplificação de processos físicos e à qualidade dos dados de entrada ressaltam a necessidade de calibração e validação rigorosas (AL-JUBOURI, 2025).

3.5 Bases de dados utilizadas para a simulação de rompimento de barragens

As bases de dados empregadas nas simulações de rompimentos de barragens são submetidas a um processo de preparação, garantindo a representatividade do terreno e a precisão dos parâmetros hidrológicos, como a precipitação e o escoamento superficial, e hidráulicos como a velocidade do fluxo e a profundidade de inundação (NASSER et al., 2025). Esse processo meticuloso é fundamental para assegurar a confiabilidade dos cenários simulados e a validade técnica dos resultados obtidos (NASSER et al., 2025).

O protocolo de preparação compreende quatro componentes essenciais, que estão representados na figura 4, abaixo:

Figura 4. Protocolo para preparação para a modelagem hidráulica e hidrológica



Fonte: Napkin

Essa abordagem garante não apenas a representação fiel das condições reais, mas também fornece subsídios técnicos para a tomada de decisão em contextos operacionais críticos.

3.6 Aplicação prática e preparação do MDT Sentinel

O modelo Digital do Terreno (MDT) Sentinel- Copernicus DEM 10 m tem se destacado como referência em estudos hidrogeomorfológicos contemporâneos, combinando a cobertura global, precisão métrica e acesso aberto (SANTOS et al., 2024). Sua adoção em pesquisas recentes, evidencia sua robustez para análises que exigem representação topográfica confiável

em escalas regionais, particularmente em modelagens hidrológicas e avaliações de susceptibilidade ambiental (CORRÊA, 2025).

A resolução espacial de 10 metros oferece equilíbrio ideal entre detalhamento morfométrico e viabilidade computacional para simulações em grandes bacias hidrográficas.

O acesso ao dataset é viabilizado por múltiplas plataformas, como:

- Via portal ESA Copernicus Open Access Hub (COPERNICUS, 2024), onde os arquivos GeoTIFF georreferenciados (1° x 1°), estão prontos para aplicação direta em softwares SIG;
- Através da infraestrutura AWS (COPERNICUS, 2024), permitindo processamento em nuvem via AWS CLI ou QGIS;
- Ou utilizando dados brutos Sentinel -1 SAR (ASF DATA SEARCH, 2025).

O MDT Sentinel-Copernicus DEM 10m é fundamental para a gestão de riscos, planejamento territorial e modelagem ambiental (SANTOS et al., 2024). Esse software permite simulações de inundações em bacias hidrográficas com objetivo de criar alertas antecipados e evacuações em áreas de potenciais riscos, mapeamento de áreas vulneráveis a deslizamentos, auxiliando na prevenção de desastres, projetos de infraestruturas como barragens e estradas garantindo análises topográficas confiáveis (SANTOS et al., 2024), além de estudos climáticos, como avaliação de erosão e mudanças no uso e ocupação de solos (CORRÊA, 2025).

Sua gratuidade e cobertura global democratizam o acesso de alta precisão, beneficiando governos, pesquisadores e empresas em decisões baseadas em evidências para reduzir impactos socioambientais e econômicos (CORRÊA, 2025).

3.7 Levantamento hidrológico da região de estudo

A aquisição e processamento de dados hidrométricos constituem etapa crítica para a modelagem hidrológica confiável. Neste estudo, adotou-se a metodologia sistemática baseada em três eixos principais, sendo eles: a seleção criteriosa de estações de referência, tratamento estatístico de séries temporais e integração com variáveis ambientais.

Os dados relacionados à vazão foram obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), com ênfase na estação fluviométrica 41200430, da cidade de

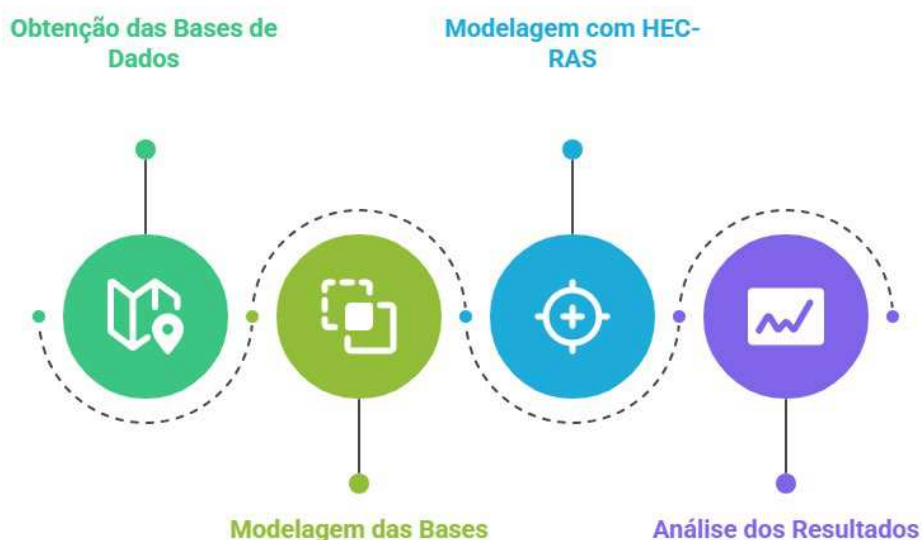
Raposos, Minas Gerais, selecionado por sua proximidade espacial (<5km) e representatividade hidrológica na bacia do Rio das Velhas (ANA, 2024).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem metodológica adotada por esta pesquisa foi a abordagem integrada, combinando geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem hidrodinâmica para avaliar os riscos associados à barragem do Galego (Sabará, Minas Gerais).

O fluxograma da figura 5, resume as etapas deste trabalho:

Figura 5. Fluxograma de trabalho



Fonte: Do autor

4.1 Obtenção das bases de dados

As bases de dados utilizadas neste trabalho foram imagens de satélite do WorldView (2012) e CBERS 4A (2021) para análise multitemporal do uso do solo, Google Earth Engine para acesso a séries históricas, Modelos Digitais de Terreno (MDTs), como o Sentinel-1 (10m), MDT de Sabará (1m) e Santa Luzia (5m). O MDT da Prodabel (1m) foi descartado devido a falhas altimétricas, como pode ser observado na Figura 6, abaixo:

Figura 6. Mapa evidenciando falhas de altimetria no produto Prodabel (PRODABEL, 2012)



Fonte: Do autor (2025)

Os dados hidrológicos foram obtidos por meio da base de dados da Agência Nacional das Águas (ANA: 60270000), com ênfase em um evento crítico de maior dia chuvoso ocorrido em janeiro de 2024, na região (ANA, 2024).

4.2 Qualidade Temática

As imagens foram validadas no aplicativo QGIS 3.28 usando o Plugin SCP para classificação supervisionada, Plugin ACATAMA para cálculo de índice Kappa e acurácia global (DA SILVA, 2023).

É importante salientar que no processo de avaliação da qualidade temática dos mapas de uso e cobertura da terra foi adotada uma sequência metodológica estruturada em três etapas complementares. Inicialmente, foi empregado o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) do QGIS (CONGEDO, 2021; QGIS, 2022) para o pré-processamento e a classificação supervisionada das imagens. Essa etapa possibilitou a organização sistemática dos dados e a obtenção dos mapas temáticos com base em parâmetros espectrais previamente definidos.

Em seguida, os resultados foram submetidos ao plugin ACATAMA (LLANO, 2023), integrado ao QGIS 3.28 (QGIS, 2022), responsável pela geração da matriz de confusão e pelo cálculo de métricas estatísticas de acurácia, incluindo a acurácia global e o índice Kappa. Por fim, os dados produzidos foram exportados para o Microsoft Excel (MICROSOFT, 2021), onde foram tabulados e organizados para análise comparativa e interpretação final.

No caso específico das imagens WorldView (2012) e CBERS 4A (2021), os valores do índice Kappa obtidos foram de 0,64253 e 0,65473, respectivamente. De acordo com a literatura (Congalton e Green, 2019; Foody, 2020), esses valores situam-se na faixa de concordância substancial. Ressalta-se, entretanto, que a acurácia global pode sofrer influência do desbalanceamento entre classes, motivo pelo qual o índice Kappa se mostra particularmente relevante por considerar o grau de concordância além do esperado ao acaso.

4.3 Modelagem hidrodinâmica com HEC-RAS

O software escolhido para o modelo foi o HEC-RAS 6.3 (USACE, 2024) (RAHAYU et al., 2025), em abordagem 2D para simular inundações. Os parâmetros escolhidos neste trabalho foram o Coeficiente de Manning (n), ajustado conforme o MapBiomass 2024 (MAPBIOMASS, 2024).

Nas áreas urbanas o n vale 0,10, enquanto nos rios o valor de n é igual a 0,025. A vegetação densa foi calculada com o n valendo 0,08. As condições de contorno foram relacionadas à vazões máximas registradas em janeiro de 2024, conforme supramencionado.

Em relação aos cenários simulados, foram geradas 5 manchas de inundação da barragem do Galego, que foram comparadas com a mancha de inundação de referência da mineradora Vale S.A, presente na plataforma SIGMINE. A referida mancha de inundação da mineradora em questão, possui a referência MI8363V00 (SIGMINE, 2025). As simulações variam pela combinação de fatores como:

- A resolução espacial (MDTs de 1m, 5m, 10m);
- Base de uso do solo (MapBiomass 10m x 30m).

4.4 Dados de entrada

A construção das manchas hipotéticas de inundação simuladas no HEC-RAS 2D, demandou a integração de diferentes bases de dados, com vistas a garantir representatividade hidrológica, consistência cartográfica e viabilidade metodológica. Isso porque um dos objetivos deste trabalho, constituiu em avaliar a confiabilidade e a precisão das simulações frente a distintas resoluções espaciais e fontes de informações, de modo a estabelecer um quadro comparativo com essas manchas para cenários hipotéticos de ruptura de barragens.

Assim, o mapeamento temático de uso e cobertura da terra foi obtido a partir do MapBiomass (MAPBIOMASS, 2024), em resoluções de 10 e 30 metros, permitindo a análise comparativa entre níveis distintos de detalhamento espacial.

Consecutivamente, essas bases foram cruzadas com diferentes MDTs selecionados conforme sua disponibilidade e representatividade e listados abaixo:

- MDT Sentinel, com 10 metros de resolução espacial, aplicado à área de Belo Horizonte;
- MDT de Sabará, com 1 metro de resolução, permitindo maior refinamento local;
- MDT de Santa Luzia com 5 metros de resolução.

Essa combinação possibilitou avaliar a influência direta da escala de representação altimétrica sobre a simulação hidrodinâmica.

Ressalta-se que a escolha dessas bases gratuitas e de livre acesso, em substituição a insumos de alto custo como LiDAR, visou não apenas reduzir custos, mas também explorar o potencial de metodologias replicáveis e acessíveis a órgãos públicos e instituições acadêmicas em geral.

No tocante à forçante hidrológica, adotaram-se dados fluviométricos provenientes da estação de Raposos, sendo ela a ANA:60270000 e localizada nas coordenadas geográficas 20°05'05'' S e 43°48'10'' W, na calha do rio das Velhas. Essa estação foi selecionada por sua proximidade à área de estudo e pela disponibilidade contínua de séries temporais atualizadas.

A análise hidrológica concentrou-se no período de 23 a 27 de janeiro de 2024, intervalo caracterizado por precipitações intensas e concentradas, configurando um evento crítico com picos de vazão significativos.

Esse período foi adotado como cenário de referências para simulações, de forma a assegurar condições de contorno condizentes com simulações reais de risco hidrológico extremo.

Outro aspecto fundamental refere-se à parametrização do coeficiente de rugosidade de Manning (n), determinante para a caracterização do escoamento superficial (ZHANG et al., 2010; CHOW, 1959; ARCEMENTE/SCHNEIDER, 1989, FRENCH, 1985, LINSLEY et al., 1992; BRUNNER, 2016), presentes na tabela 1, abaixo:

Tabela 1 - Coeficiente de Rugosidade Manning

Classe	Manning_n
Formação Florestal	0,08
Formação Savânica	0,06
Silvicultura	0,04
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,1
Formação Campestre	0,05
Pastagem	0,04
Lavoura Temporária	0,035
Mosaico de Usos	0,07
Área Urbanizada	0,1
Outras Áreas não Vegetadas	0,04
Afloramento Rochoso	0,045
Mineração	0,055
Aquicultura	0,025
Rio, Lago e Oceano	0,025
Lavoura Perene	0,035

Fonte: Do autor, adaptado de Chow, 1959; Arcement/Schneider, 1989, French, 1985, Linsley et al., 1992; Brunner, 2016

A calibração foi conduzida com base em uma triangulação metodológica entre a literatura clássica e aplicada (CHOW, 1959; ARCEMENTE/SCHNEIDER, 1989, FRENCH, 1985, LINSLEY et al., 1992; BRUNNER, 2016), além de recomendações institucionais (USGS, 2010; USACE, 2002) e as classes de uso e cobertura do solo mapeadas pelo MapBiomias (MAPBIOMAS, 2024).

Valores mais elevados foram atribuídos a superfícies com maior resistência ao escoamento, como florestas densas ($n=0,08$), formações savânicas ($n=0,06$) e campos alagados ($n=0,10$). Em contrapartida, áreas agrícolas e pastagens foram associadas a coeficientes intermediários ($0,035 \leq n \leq 0,055$), refletindo permeabilidade moderada (ZHANG et al., 2010;

CHOW, 1959; ARCEMENTE/SCHNEIDER, 1989, FRENCH, 1985, LINSLEY et al., 1992; BRUNNER, 2016).

Ambientes urbanos, pela sua elevada impermeabilização e rugosidade associada à pavimentação e edificações, foram parametrizados com $n = 0,10$, enquanto corpos hídricos receberam coeficiente de $n = 0,025$, em consonância com observações de canais naturais estabilizados (ZHANG et al., 2010; CHOW, 1959; ARCEMENTE/SCHNEIDER, 1989, FRENCH, 1985, LINSLEY et al., 1992; BRUNNER, 2016). Outras classes específicas, como silvicultura ($n = 0,04$), mineração ($n = 0,055$), afloramentos rochosos ($n = 0,045$), aquicultura ($n = 0,025$) e áreas não vegetadas ($n = 0,04$), foram igualmente parametrizadas de acordo com suas características físicas predominantes.

Essa definição sistemática dos coeficientes buscou maximizar a aderência entre as condições simuladas e os processos hidrológicos reais, garantindo representatividade tanto em superfícies naturais quanto antrópicas.

Ao integrar insumos de resoluções distintas e uma parametrização detalhada da rugosidade, a pesquisa visou não apenas testar a performance técnica dos modelos, mas também elucidar os impactos diretos que a qualidade e a escala dos dados de entrada exercem sobre os resultados hidrodinâmicos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise espacial da expansão da área urbana e a área potencialmente atingida pela barragem do Galego, representadas pelas figuras 7 e 8, além dos polígonos em amarelo das figuras 9 e 10, demonstra a sobreposição de riscos ambientais e sociais em um contexto de urbanização acelerada. A expansão da mancha urbana em direção às proximidades da estrutura coincide com a redução das áreas vegetadas e de pastagem. Isso evidencia a substituição progressiva de superfícies permeáveis por áreas impermeáveis.

Assim, a convergência entre pressões antrópicas e risco tecnológico configura um quadro de vulnerabilidade crítica para a população e para os ecossistemas locais, como demonstrado pelo mapeamento temporal realizado com imagens WorldView (2012) e CBERS 4A (2021), que confirmou essa dinâmica de transformação do uso e cobertura do solo. Veja nas figuras 9 e 10 abaixo:

Figura 7. Imagem Google Earth 06/2012

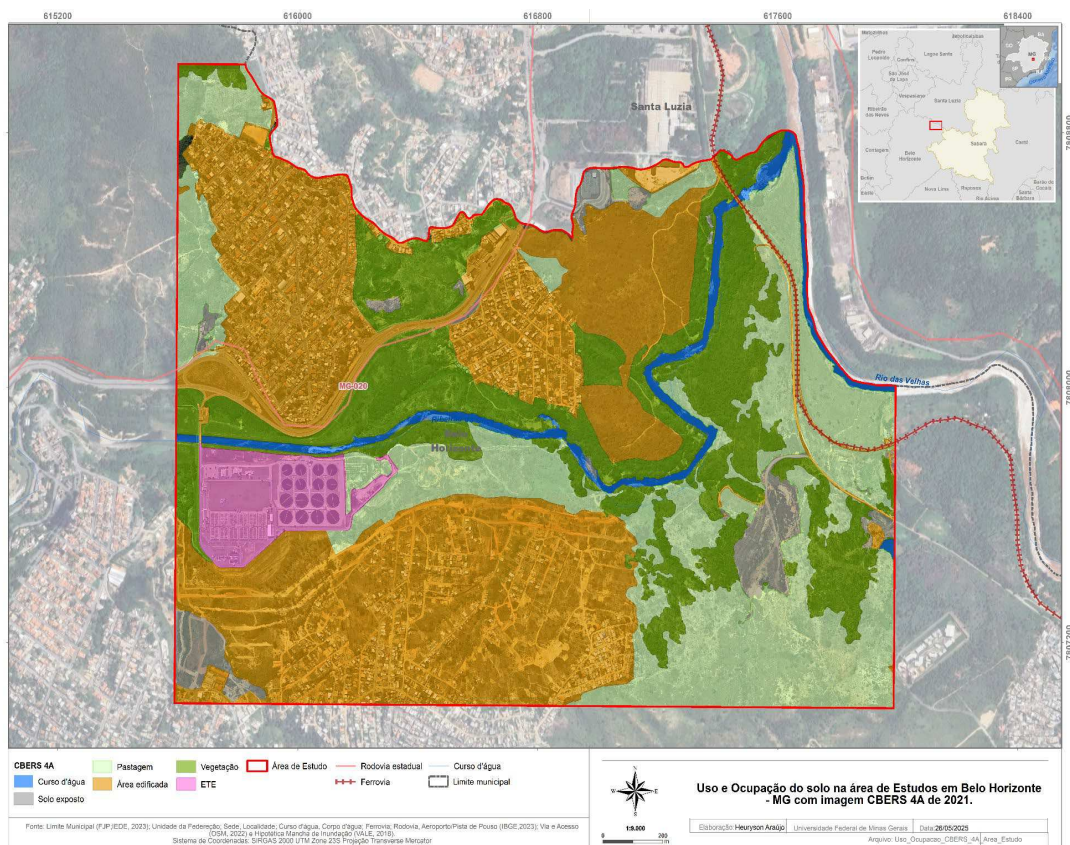


Figura 8. Imagem 09/2021



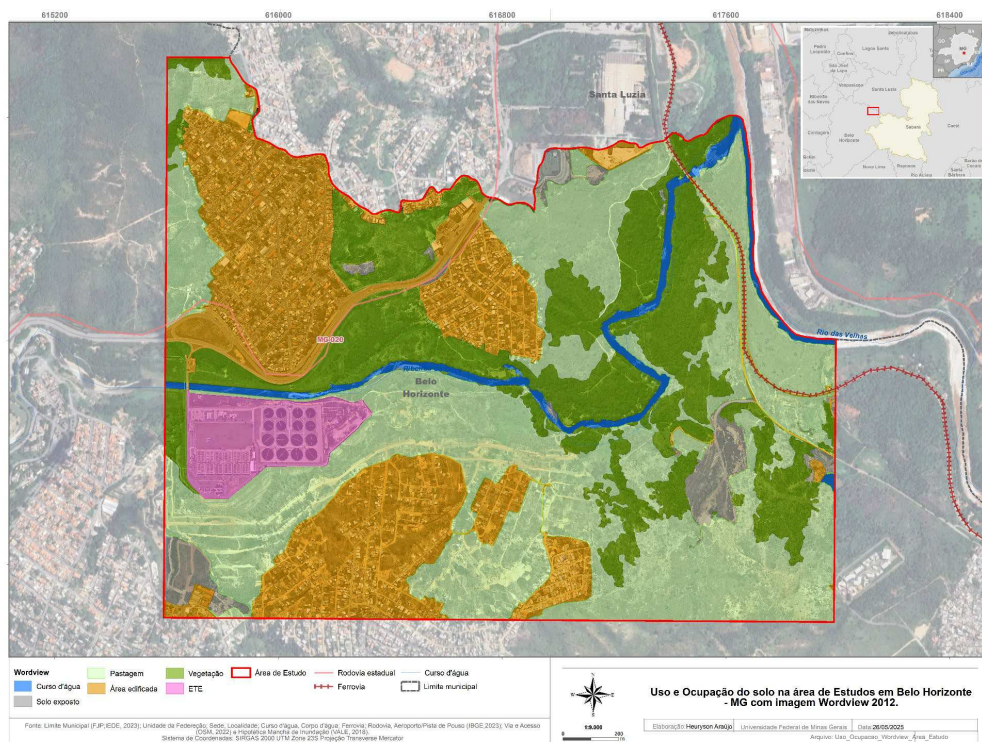
Fonte: Do autor

Figura 9. Mapa do Uso e ocupação do solo obtido a partir da imagem CBERS 4A 2021



Fonte: Do autor

Figura 10. Mapa do Uso e ocupação do solo obtido a partir da imagem Wordview 2012.



Fonte: Do autor (2024).

Ainda conforme demonstrado na figura 11, entre os anos de 2012 e 2021, a área em análise passou por transformações significativas em seu uso e ocupação do solo, evidenciando um processo de urbanização acelerada. O dado mais expressivo refere-se ao aumento de 66,47% da área edificada, que passou de 102,5 ha para 170,7 ha, representando um acréscimo de mais de 68 ha em menos de uma década. Esse avanço urbano ocorreu, sobretudo, à custa da redução das áreas de pastagem, que perderam aproximadamente 63 ha (queda de 40,59%), e também da vegetação nativa, cuja redução, embora proporcionalmente menor (-4,99%), corresponde a uma perda ambiental relevante.

Outro indicador que merece destaque é o aumento de 4,45% das áreas de solo exposto, o que pode estar relacionado tanto a processos de desmatamento e abertura de novas áreas para loteamentos quanto a estágios iniciais de ocupação urbana. Essa dinâmica contribui para o agravamento de processos erosivos, aumento do assoreamento de cursos d'água e intensificação de problemas ambientais como as ilhas de calor.

Os cursos d'água permaneceram praticamente inalterados em termos de área, o que sugere estabilidade nesse componente. No entanto, a simples manutenção de sua extensão não garante a preservação de sua qualidade, visto que o aumento da impermeabilização do solo nas áreas adjacentes tende a elevar a carga de sedimentos e poluentes lançados nesses ambientes. A redução da área classificada como ETE (-8,91%) também merece atenção, uma vez que pode indicar menor disponibilidade de espaço para infraestrutura voltada ao tratamento de efluentes, comprometendo a capacidade de suporte ambiental diante do crescimento urbano.

De maneira geral, as mudanças observadas apontam para um padrão típico de expansão urbana desordenada, no qual áreas vegetadas e de pastagem são substituídas por edificações e solos descobertos. Estatisticamente, esse processo significa maior impermeabilização do solo, redução da recarga de aquíferos, elevação do escoamento superficial e maior vulnerabilidade a enchentes. Do ponto de vista ecológico, a perda de vegetação implica diminuição da biodiversidade, redução dos serviços ecossistêmicos e alteração do microclima local.

Socialmente, a expansão acelerada sem adequado planejamento urbano tende a gerar sobrecarga da infraestrutura existente, problemas de saneamento, mobilidade e risco socioambiental para a população.

Assim, os dados analisados revelam não apenas uma tendência quantitativa de substituição de usos, mas também os impactos qualitativos que essa transição impõe ao equilíbrio ambiental e à qualidade de vida na região. Veja os dados na figura 11, abaixo.

Tabela 2 - Dados de mudanças no uso e ocupação do solo de 2012 a 2021

Classe de uso do solo	Área (ha) - 2012	Área (ha) - 2021	Diferença (ha)	Variação (%)
Curso d'água	10,446442	10,446437	-4,99	0
Solo exposto	13,62049	14,226764	0,606274	4,45
Área edificada	102,537563	170,692804	68,155241	66,47
Pastagem	155,233446	92,226158	-63,007288	-40,59
Vegetação	85,826508	81,54085	-4,285658	-4,99
ETE	16,485432	15,016498	-1,468934	-8,91

Fonte: Do autor

Do ponto de vista metodológico, a avaliação da qualidade temática por meio do índice Kappa (0,64253 para 2012 e 0,65473 para 2021) e da acurácia global confere confiabilidade estatística aos resultados obtidos. Embora esses valores indiquem concordância entre as

classificações e as referências utilizadas, é importante interpretar os resultados à luz das limitações inerentes ao desbalanceamento das classes, complementando-os com métricas adicionais, como acurácia do produtor e do usuário por classe.

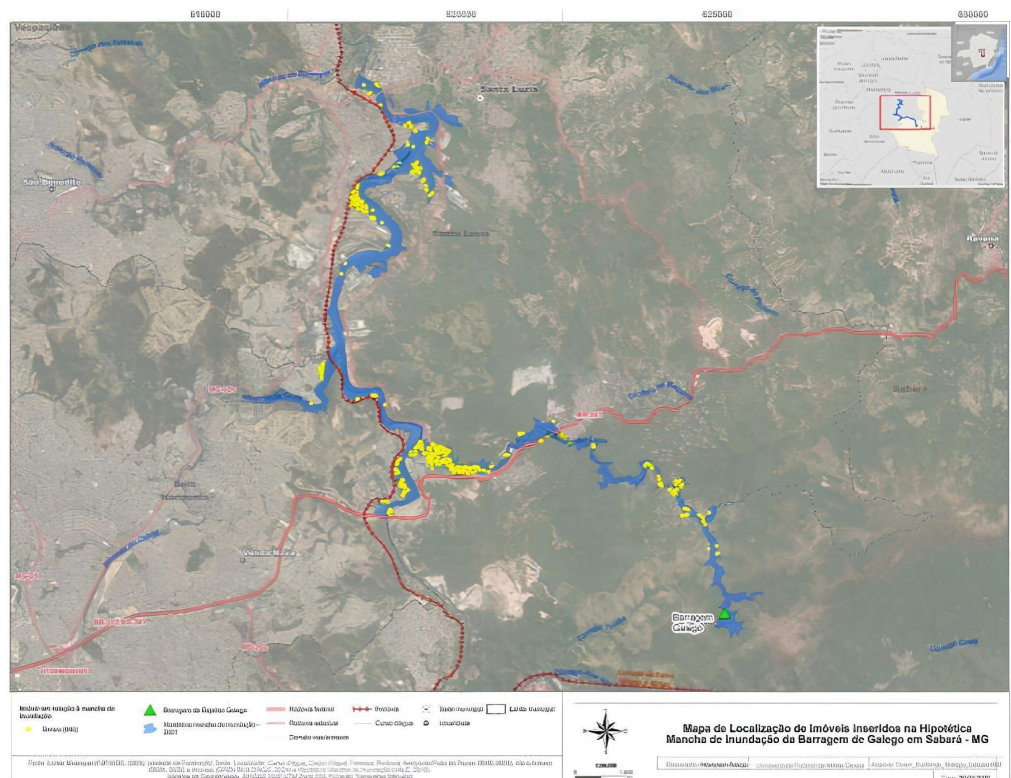
Realizando uma análise socioambiental, o mapa da figura 12, abaixo, evidencia os resultados e interpretações acerca de um cenário hipotético de ruptura da barragem do Galego, em Sabará/MG. Observa-se inicialmente o risco direto a imóveis, destacados em amarelo, que seriam impactados de forma imediata, permitindo tanto a quantificação quanto a espacialização dos danos potenciais. Além disso, a distribuição desses imóveis demonstra maior concentração nas áreas mais próximas ao curso principal, especialmente em trechos urbanos, onde a densidade populacional e a ocupação do solo tornam a vulnerabilidade mais evidente.

A abrangência da mancha de inundação, representada em azul, mostra que os efeitos do rompimento se estenderiam por dezenas de quilômetros rio abaixo, alcançando não apenas áreas urbanas, mas também rurais. Esse padrão indica que o impacto não se limitaria a uma região restrita, mas teria grande alcance territorial, afetando múltiplas comunidades ao longo do percurso.

As implicações socioambientais desse cenário são diversas. Do ponto de vista humano, a população residente na área de inundação estaria sujeita a perdas materiais significativas, risco à vida e até mesmo deslocamento forçado. Em termos de infraestrutura, rodovias, estradas vicinais e edificações interceptadas pela mancha sofreriam danos expressivos, com consequências para a mobilidade e para a economia regional. No aspecto ambiental, a inundação acarretaria sérios prejuízos aos ecossistemas ribeirinhos, promovendo perda de solo, intensificação de processos de assoreamento e contaminação dos cursos d'água, ampliando os impactos negativos para além das áreas diretamente atingidas.

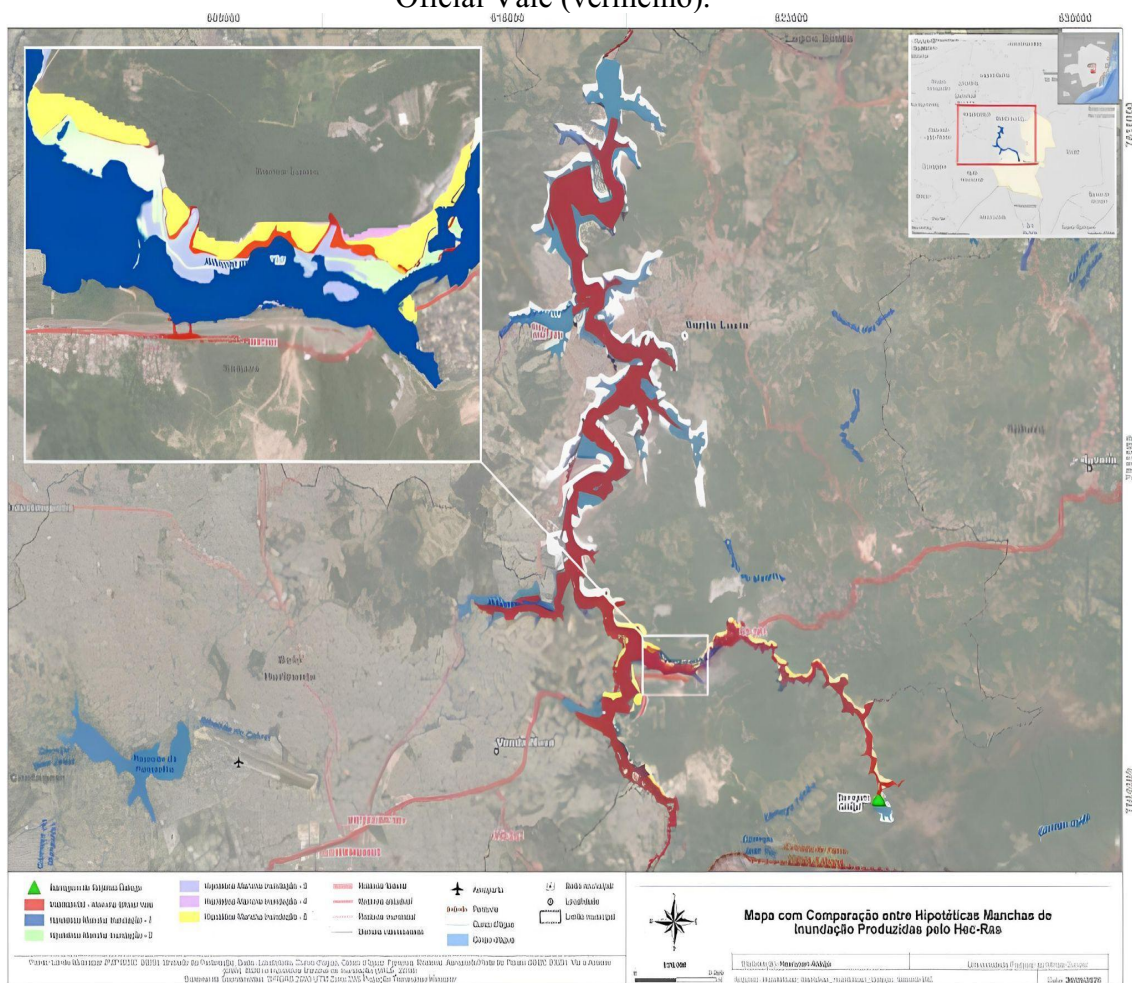
Dessa forma, o mapa demonstra que um rompimento da barragem do Galego resultaria em impactos severos e de ampla abrangência territorial, com prejuízos materiais, humanos e ambientais de grande magnitude. Trata-se, portanto, de um instrumento essencial para subsidiar ações preventivas, de emergência e de ordenamento territorial, uma vez que possibilita identificar pontos críticos, avaliar o grau de risco e orientar a implementação de medidas de segurança prioritárias.

Figura 11. Mapa de análise de imóveis, em amarelo, que seriam atingidos por um eventual rompimento da Barragem do Galego.



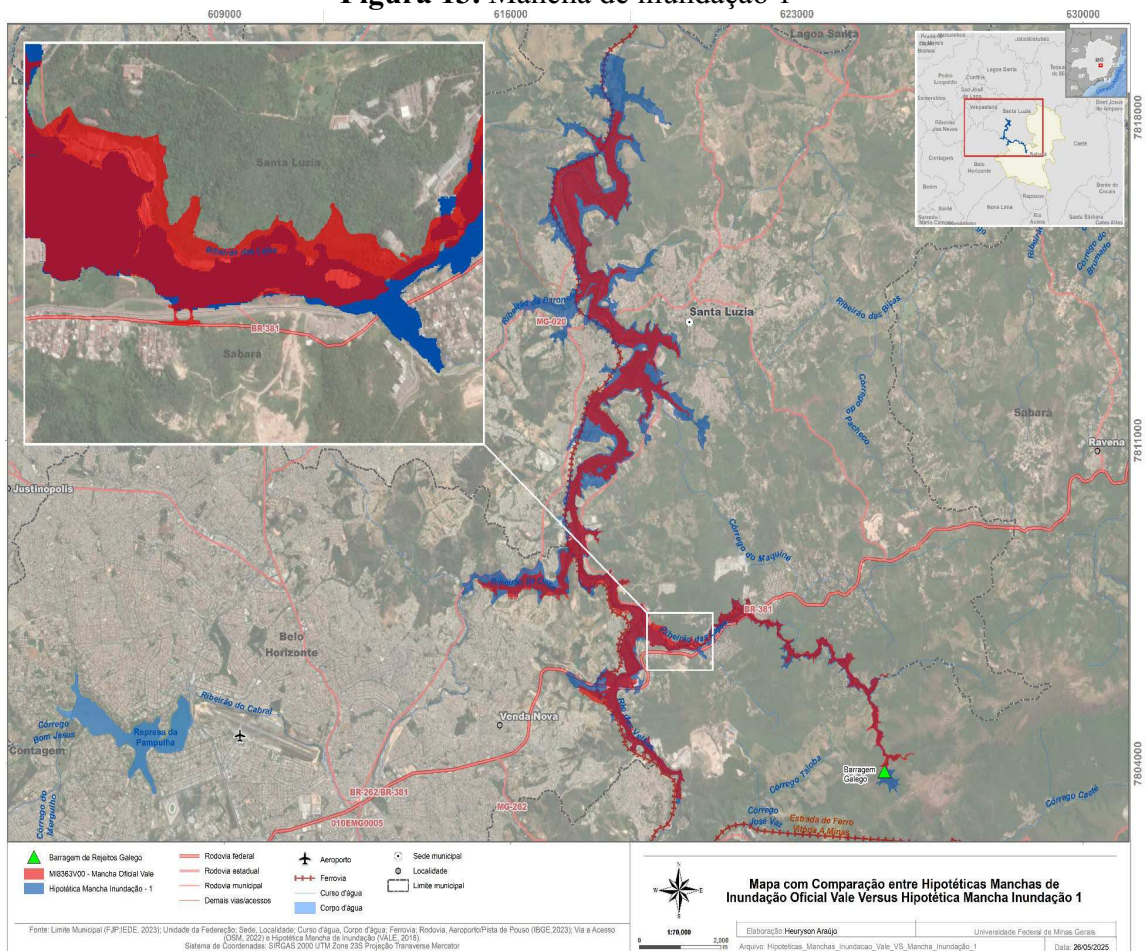
A análise comparativa entre as cinco manchas de inundação hipotéticas simuladas no HEC-RAS e a mancha de referência oficial MI8363V00, disponibilizada pela empresa Vale e produzida pela Fractal Engenharia (2024), evidencia diferenças substanciais em termos de extensão, conformação espacial e comportamento hidrodinâmico das áreas alagadas. As representações das manchas de inundação estão presentes nas figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18 abaixo:

Figura 12. Mapa Comparativo entre as Hipotéticas Manchas geradas no Hec-Ras e Mancha Oficial Vale (vermelho).



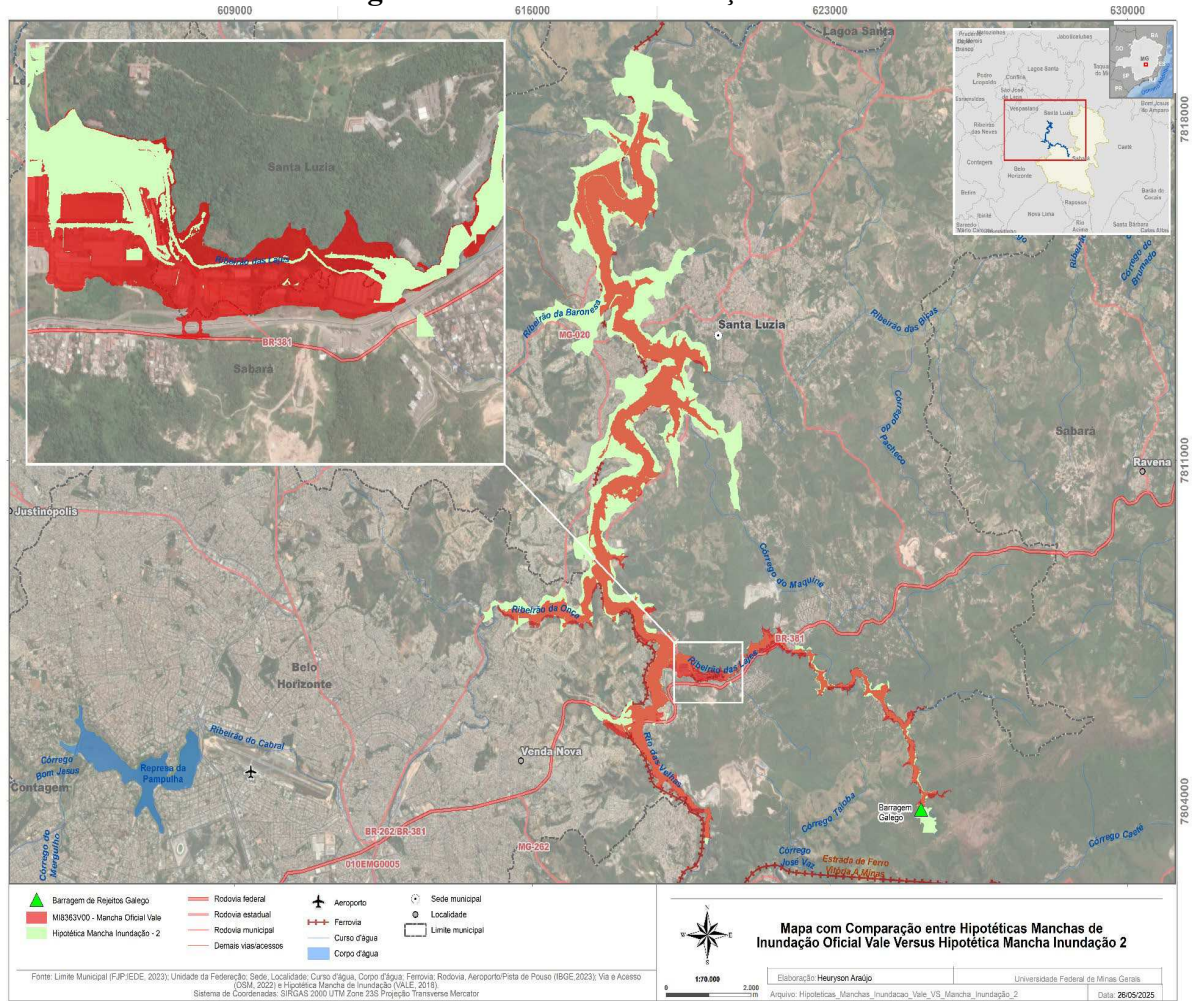
Fonte: Vale S.A

Figura 13. Mancha de inundação 1



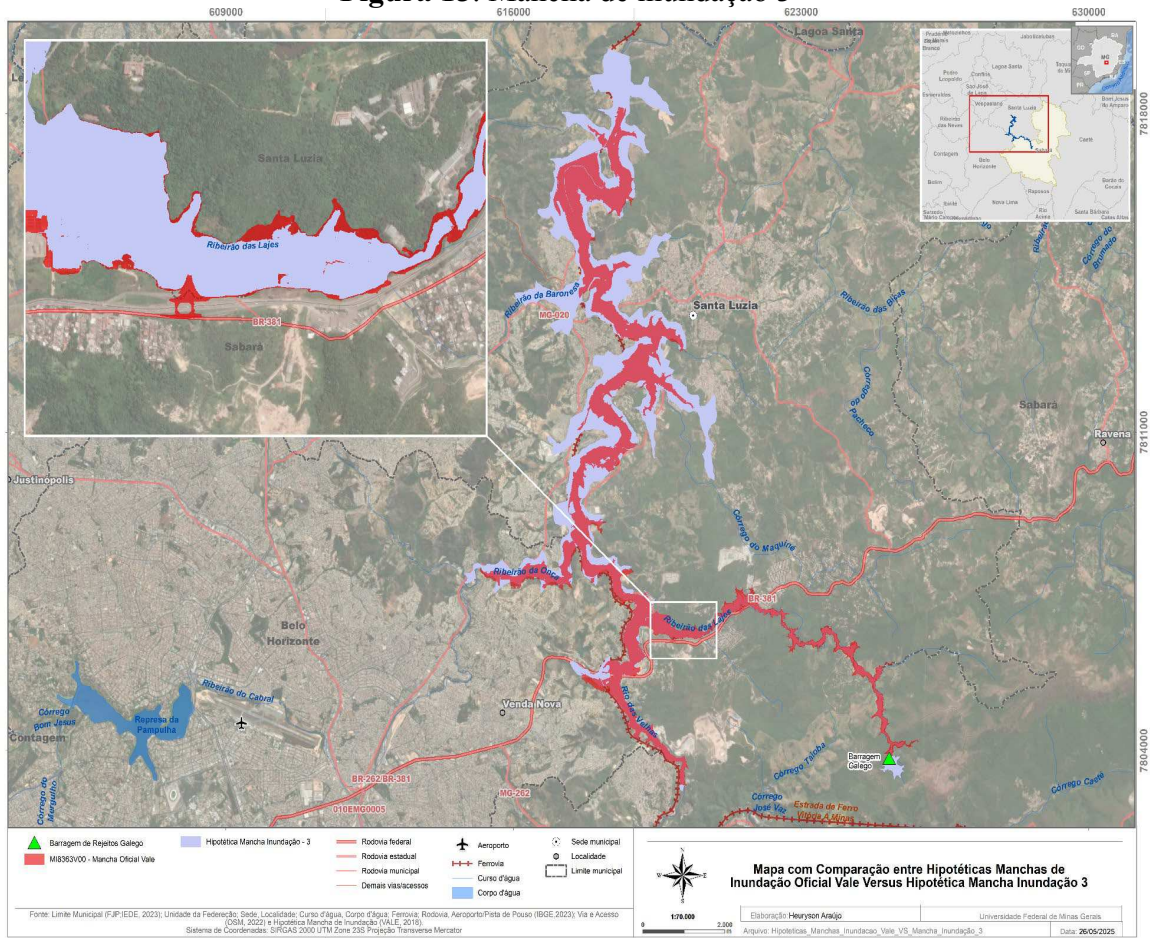
Fonte: Do autor (2025)

Figura 14. Mancha de inundação 2



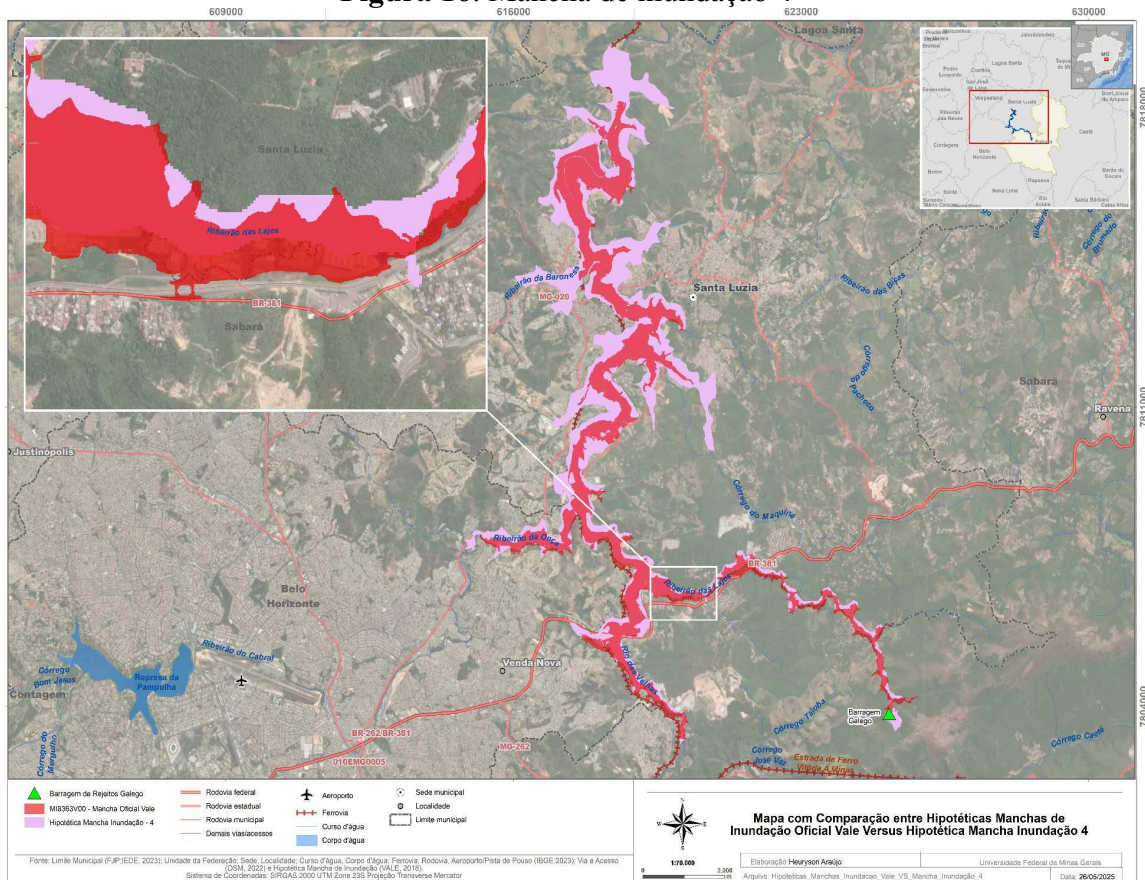
Fonte: Do autor (2025)

Figura 15. Mancha de inundação 3



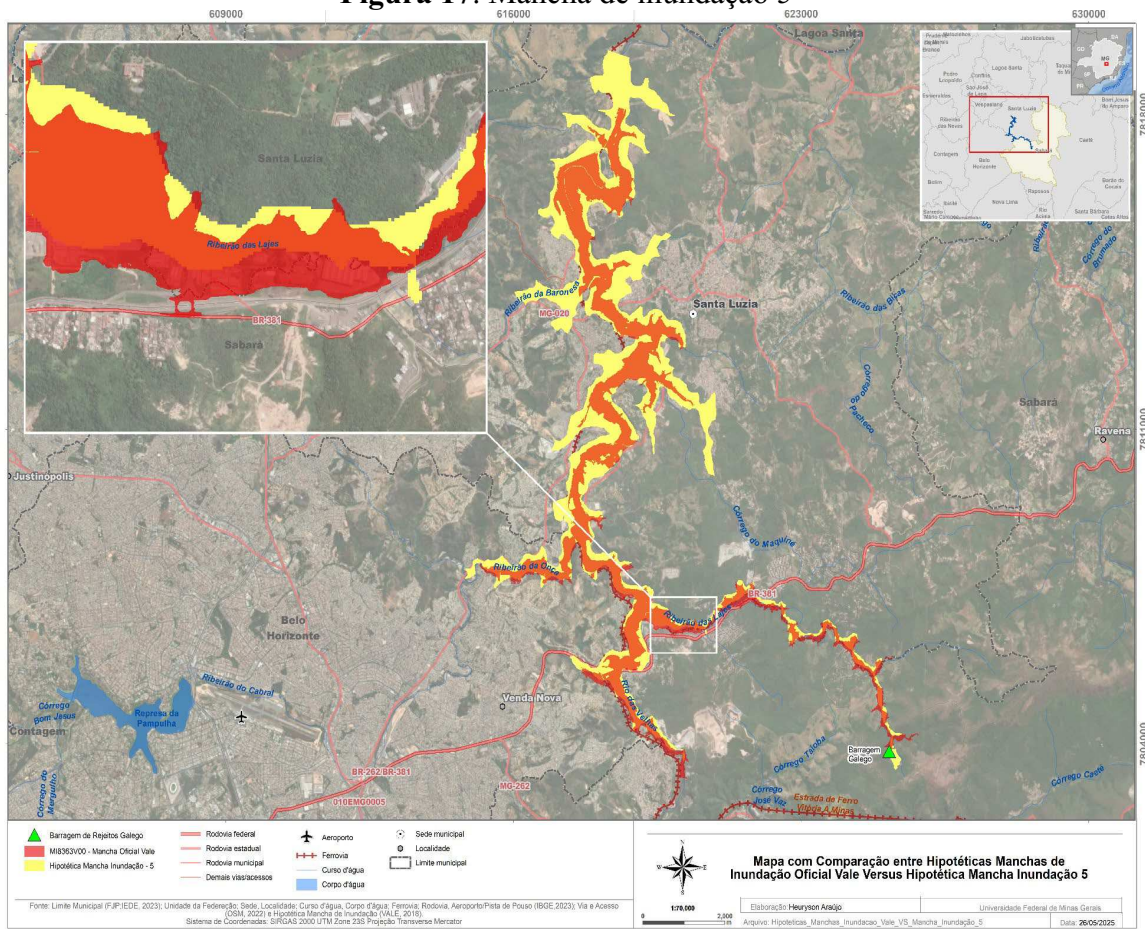
Fonte: Do autor (2025)

Figura 16. Mancha de inundação 4



Fonte: Do autor (2025)

Figura 17. Mancha de inundação 5



Fonte: Do autor (2025)

Figura 18. Manchas de inundação criadas por meio do HEC-RAS

Imagem	Nome	Arquivo	Uso do Solo	Data	Área (HA)
	MI8363V00	Mancha oficial da Vale	Não se aplica	23/05/2024*	1020,63
	Mancha 1	MDT Sentinel - BH (10m), Sabará (1m) e Santa Luzia (5m)	MapBiomias 10 metro resolução	20/05/2025	1589,996
	Mancha 2	MDT Sentinel - BH e Santa Luzia (10m), Sabará (1m)	MapBiomias 10 metro resolução	17/05/2025	1889,693
	Mancha 3	MDT Sentinel - BH e Santa Luzia (10m), Sabará (1m)	MapBiomias 30 metro resolução	27/04/2025	1934,2139
	Mancha 4	MDT Sentinel (10m) - BH, Santa Luzia e Sabará	MapBiomias 10 metro resolução	16/04/2025	1968,191736
	Mancha 5	MDT Sentinel (10m) - BH, Santa Luzia e Sabará	MapBiomias 30 metro resolução	13/04/2025	1939,420384

* Data do Upload do dado no portal da ANM (Agência Nacional de Mineração)

Fonte: Do autor (2025)

A mancha MI8363V00, cartografada a partir de aerofotogrametria de alta precisão, apresentou-se como a mais abrangente e contínua ao longo do vale principal, com forte aderência às feições morfológicas da calha do rio das Velhas. Essa configuração resultou em geometrias mais largas e profundas, cobrindo extensivamente áreas ribeirinhas e trechos urbanos, sobretudo nos municípios de Sabará e Santa Luzia, e alcançando áreas densamente ocupadas ao norte de Belo Horizonte. Considerando os métodos proprietários e investimentos significativos em dados altimétricos de alta resolução (20 cm ou melhores), a MI8363V00 foi considerada, no presente estudo, como a referência mais confiável para comparação e validação das simulações.

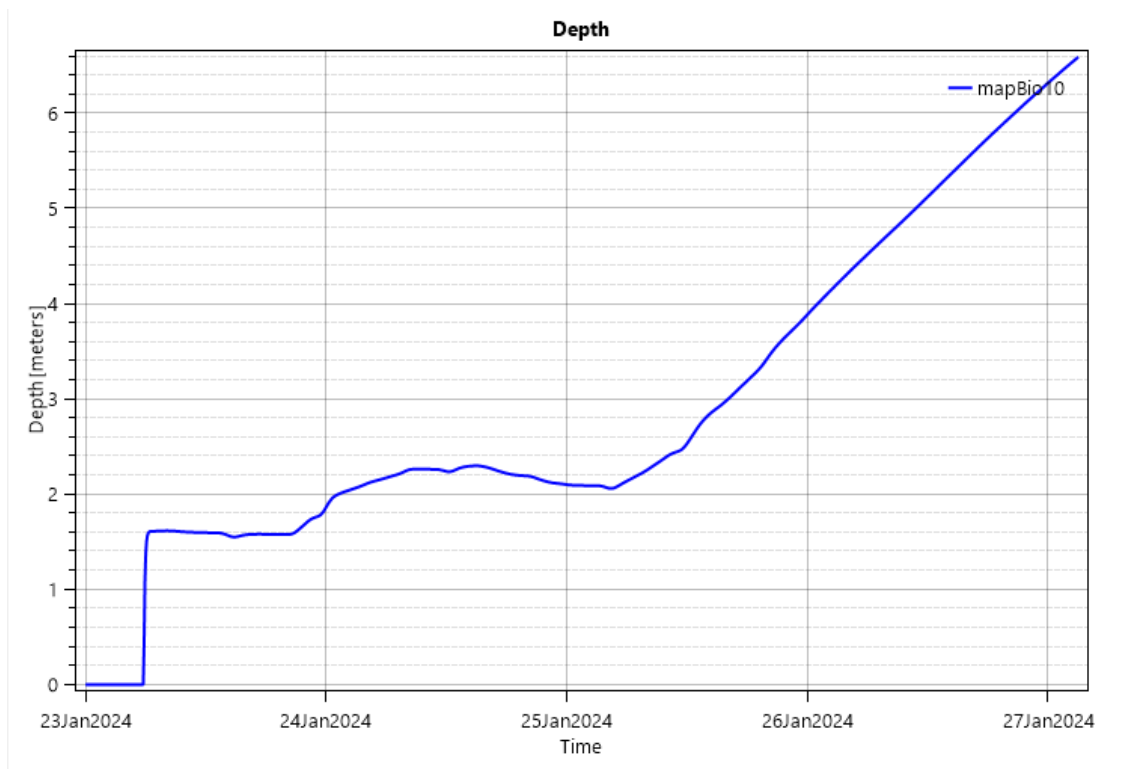
As manchas geradas a partir de dados abertos, por sua vez, apresentaram padrões distintos. A Mancha 1, produzida a partir da integração do MDT Sentinel (10 m) para Belo Horizonte, MDT de 1 m para Sabará, MDT de 5 m para Santa Luzia e dados do MapBiomas (10 m), foi a que mais se aproximou da mancha oficial, tanto em extensão (1.589,99 ha, +55,76% em relação à referência) quanto em conformação espacial, ainda que com retração lateral em alguns trechos. Em contraste, as manchas 2 a 5 superestimaram de forma expressiva as áreas impactadas, com variações de até 92,84%, como observado na Mancha 4 (1.968,19 ha). Essa superestimação é atribuída à maior generalização dos MDTs empregados, sobretudo aqueles derivados do Sentinel em resolução de 10 m, o que limita a representação acurada das várzeas e das planícies de inundação lateral.

Do ponto de vista espacial, a Mancha 2 (1.889,69 ha), ainda que consistente em áreas centrais do vale, mostrou fragmentação e retração em trechos mais ao norte, indicando uma tendência à subestimação em áreas de maior complexidade geomorfológica. A Mancha 3 (1.934,21 ha), com uso de MapBiomas a 30 m, apresentou comportamento intermediário: manteve coerência em setores centrais, mas perdeu continuidade em planícies mais amplas, reflexo das limitações altimétricas do modelo de entrada. Já a Mancha 4 (1.968,19 ha) e a Mancha 5 (1.939,42 ha), ambas baseadas exclusivamente em MDTs Sentinel de 10 m, apresentaram resultados mais discrepantes, com alagamentos excessivamente concentrados e descontínuos, sub-representando áreas críticas de Sabará e Santa Luzia.

A avaliação hidrodinâmica, baseada nos resultados do RAS Mapper para a Mancha 1, confirmou a plausibilidade dos cenários simulados. A profundidade da lâmina d'água apresentou rápida elevação a partir de 24 de janeiro de 2024, atingindo valores próximos de 1,5 m nas primeiras horas e estabilizando-se entre 2 e 2,5 m nos dias seguintes. O valor máximo de

6,5 m foi registrado em 27 de janeiro, enquanto a profundidade média manteve-se entre 2,5 e 3 m, refletindo acúmulo gradual associado à morfologia do vale. Veja abaixo, na figura 20:

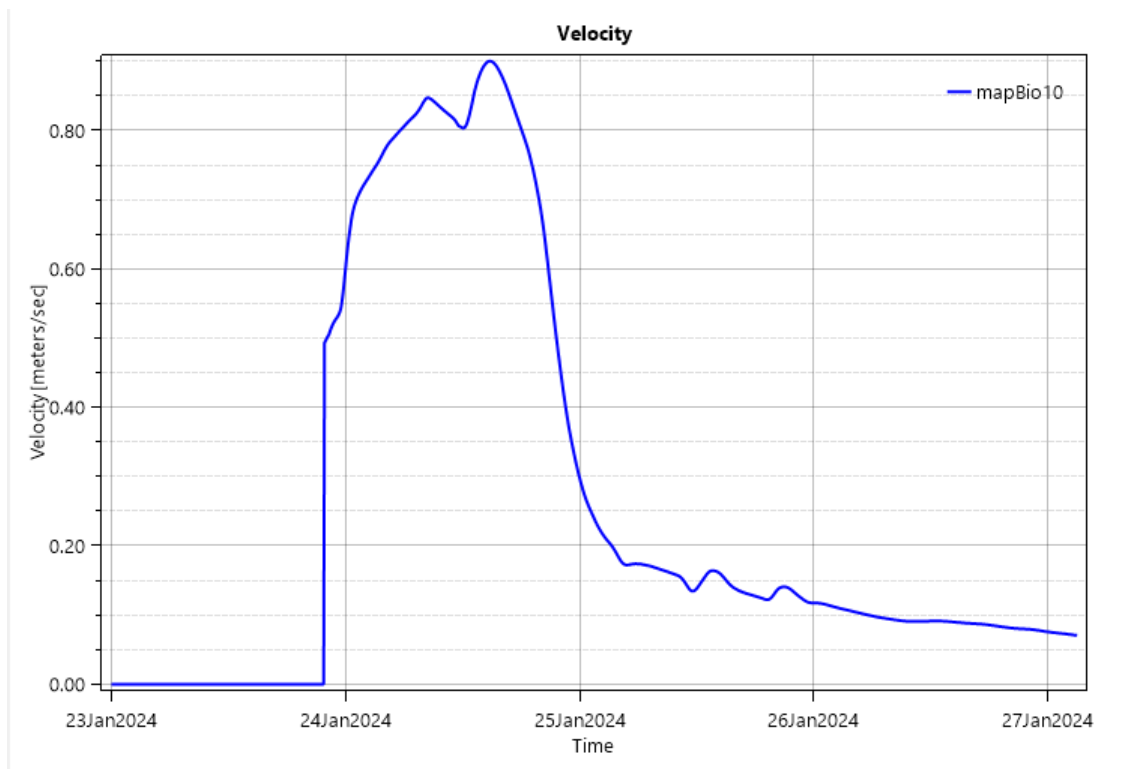
Figura 19. Gráfico de Profundidade da Hipotética Mancha 1 de inundação.



Fonte: Do autor (2025)

Já a velocidade de escoamento apresentou pico inicial de 0,87 m/s, seguido por rápida queda e estabilização em valores médios de 0,3 a 0,4 m/s. Veja na figura 21, abaixo:

Figura 20. Gráfico de Profundidade da Hipotética Mancha 1 de inundação.



Fonte: Do autor (2025)

Esse comportamento indica uma onda de inundação com propagação inicial súbita, seguida por permanência prolongada em áreas alagadas, implicando riscos não apenas de impacto imediato, mas também de exposição prolongada para populações e infraestruturas localizadas em várzeas urbanizadas.

Em termos comparativos, a mancha oficial da Vale revelou-se significativamente maior (4.500 ha), aproximadamente 35% superior à média das simulações com dados abertos, e apresentou o menor erro volumétrico acumulado (inferior a 3%). As manchas alternativas, especialmente aquelas baseadas em MapBiomias a 30 m, chegaram a apresentar variações de até 15%, reiterando a literatura que aponta a resolução espacial dos dados de entrada como um fator determinante para a acurácia dos modelos hidrodinâmicos.

Apesar das limitações impostas pelo uso de dados livres, os resultados demonstraram consistência em termos hidrológicos, sobretudo nas áreas de várzea, e revelaram padrões coerentes de impacto em áreas urbanas, pastagens e fragmentos de vegetação nativa, com valores de até 32%, 28% e 15% respectivamente. Esses achados evidenciam o potencial da

modelagem hidrodinâmica com dados abertos como alternativa viável de baixo custo, capaz de subsidiar processos de gestão de risco e planejamento territorial, especialmente em municípios com restrições orçamentárias.

Assim, enquanto a mancha MI8363V00 se mantém como padrão técnico de excelência pela sofisticação dos insumos e rigor metodológico, as simulações conduzidas com dados livres mostraram-se capazes de aproximar-se de seus resultados, ainda que com margens de erro superiores.

A comparação reforça a necessidade de democratização do acesso a dados de alta resolução, mas, ao mesmo tempo, evidencia que metodologias baseadas em dados gratuitos, quando validadas adequadamente, podem oferecer ferramentas robustas para a gestão pública, planejamento preventivo e formulação de estratégias de adaptação frente a riscos hidrológicos em áreas minerária.

A análise dos dados de entrada demonstrou que a fidelidade das manchas de inundação está fortemente condicionada à qualidade dos MDTs, à resolução dos mapas de uso do solo e à adequada definição de coeficientes de rugosidade, fatores que atuam de forma sinérgica no desempenho do HEC-RAS 2D. Essa constatação reforça a necessidade de metodologias que conciliem precisão técnica e acessibilidade, especialmente em contextos municipais e regionais com restrições orçamentárias, mas que demandam suporte técnico-científico robusto para o planejamento territorial e a gestão de riscos hidrológicos.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou a eficácia da integração entre geotecnologias, modelagem hidrodinâmica e análise espacial para a avaliação de riscos associados a barragens, com aplicação direta no cenário operacional da Barragem de Galego (Sabará, MG).

Os resultados obtidos não apenas validaram a metodologia proposta, mas tambem destacaram sua relevância estratégica para a gestão de desastres, planejamento territorial e tomada de decisão em cenários críticos.

As principais contribuies deste trabalho estão relacionadas  utilizao de bases de dados de acesso público (como Sentinel, Mapbiomas, MDTs), que permitiu a validao de dados com softwares de acesso aberto. Ou seja, essa análise pode ser realizada por instituies públicas, sem grandes custos com compras e aquisio de softwares pagos.

A validao de dados por meio de softwares abertos, tambem permitiu a gerao de manchas de inundao com precisão aceitável (erro médio de 55,76% a 92,84% em relao  referência técnica da Vale), oferecendo uma alternativa viável para instituies com restries orçamentárias.

Outro ponto  que a mancha oficial MI8363V00, produzida com aerofotogrametria de alta precisão, confirmou-se como padrão, reforçando a necessidade de investimentos em tecnologias como sensor LiDAR e sensoriamento próximo-real-time para operaes que demandam máxima confiabilidade.

A simulao de eventos extremos no HEC-RAS 2D, parametrizada com dados hidrológicos da estao de Raposos, forneceu profundidades máximas de 6,5 m e velocidades críticas de 0,87 m/s, dados essenciais para a elaborao de planos de evacuao e alertas preventivos.

Este trabalho tambem apresenta recomendaes estratégicas para o exército e Defesa Civil, pois a adoo de protocolos padronizados para modelagem de riscos em barragens, incorpora os métodos testados neste estudo. No entanto,  necessária a capacitao de equipes em SIG (QGIS/ArcGIS) e HEC-RAS, garantindo autonomia na gerao de análises tnicas.

Este trabalho tambem recomenda o estabelecimento de parcerias com universidades e órgãos públicos para acesso a MDTs de alta resoluo para pesquisas futuras, além de recomendar a Investigao do uso de inteligência artificial para automatizar a calibrao de parâmetros hidrodinâmicos.

Este estudo comprovou que, mesmo com recursos limitados, é possível produzir análises robustas e cientificamente válidas para suporte a decisões operacionais. No entanto, a excelência em missões de proteção e defesa civil exige a priorização de tecnologias de ponta, aliadas a um rigor metodológico incontestável.

Os resultados aqui apresentados oferecem ferramentas tangíveis para a segurança de populações e infraestruturas estratégicas, uma vez que podem ser replicados para estudos semelhantes, minimizando os custos de estudos com softwares pagos.

REFERÊNCIAS

ABDELKADER, M. et al. A Google Earth Engine Platform to Integrate Multi-Satellite and Citizen Science Data for the Monitoring of River Ice Dynamics. *Remote Sensing A Google Earth Engine Platform to Integrate Multi-Satellite and Citizen Science Data for the Monitoring of River Ice Dynamics*. Remote Sensing, v. 16, n. 8, p. 1368, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/8/1368/pdf> Acesso em: 06 dez. 2024.

ABDESSAMED, D.; ABDERRAZAK, B. Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall-runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city, Ksour Mountain. *SW of Algeria*. Environmental Earth Sciences, v. 78, n. 19, p. 586, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/8/1368/pdf> Acesso em: 06 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). Resolução nº 95, de 07 de fevereiro de 2022. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Disponível em < <https://www.gov.com.br/amn/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf>. Acesso em: 22/03/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. ANM. PORTARIA Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017. Versão com retificações de 05/06/2017, 10/11/2017, Resolução ANM nº 13/2019, de 08/08/2019, Resolução ANM nº 32/2020, de 11/05/2020 e retificação dessa resolução em 21/05/2020, Resolução nº 40/2020, de 06/07/2020. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB. Disponível em: AGENDA 2030. *Sustainable Development Goals*. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/goals>>. Acesso em 12/02/2024.

AQUILAH, SAMSUDDIN SITI et al. *Avaliação de perdas sócio-econômicas e ambientais do risco de inundação de ruptura de barragens: uma revisão sobre o quadro sustentável*. Revista de Ciências e Gestão da Sustentabilidade, v.1, pág. 171 -195, 2024.

AL-JUBOURI, Muhanad; RAY, Richard P.; ABBAS, Ethar H. Sensitivity analysis and optimization of pier shape scour prediction using HEC-RAS. *Pollack Periodica Sensitivity analysis and optimization of pier shape scour prediction using HEC-RAS*. Pollack Periodica, v. 20, n. 2, p. 8-15, 2025.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Portal da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 14 dez. 2024.

ANM, Agência Nacional de Mineração. Sistema de Informações Georreferenciadas da Mineração (SIGBM). Acesso em: 09 mar. 2024, às 18:53.

ANSORI, M. B.; LASMINTO, U.; KARTIKA, A. A. G. Flood Hydrograph Analysis Using Synthetic Unit Hydrograph, Hec-Hms, and Hec-Ras 2D Unsteady Flow Precipitation on-Grid Model for Disaster Risk Mitigation. *Geomate Journal*; LASMINTO, U.; KARTIKA, A. A. G. Flood Hydrograph Analysis Using Synthetic Unit Hydrograph, Hec-Hms, and Hec-Ras 2D Unsteady Flow Precipitation on-Grid Model for Disaster Risk Mitigation. *Geomate Journal*, v. 25, n. 107, p. 50-58, 2023. Disponível em: <https://geomatejournal.com/geomate/article/download/3719/3150> Acesso em: 10 dez. 2024.

ARCEMENT, G. J., & Schneider, V. R. (1989). Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains. *United States Geological Survey*. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf?utm_source=chatgpt.com

ARIZA-LÓPEZ, F. J. Calidad en la producción cartográfica. *Editorial RAMA*. Madrid. Capítulo, v. 6, 2002. Disponível em: https://www.ra-ma.es/libro/calidad-en-la-produccion-cartografica_140419/ Acesso em: 09 dez. 2024.

ASABERE, N. Y. et al. Geo-Insurance: Improving Big Data Challenges in the Context of Insurance Services Using a Geographical Information System (GIS). *Human Behavior and Emerging Technologies*. et al. Geo-Insurance: Improving Big Data Challenges in the Context of Insurance Services Using a Geographical Information System (GIS). *Human Behavior and Emerging Technologies*, v. 2024, n. 1, p. 9015012, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2024/9015012> Acesso em: 09 dez. 2024.

ATKINSON-GORDO, A. D. J. Control de calidad posicional en Cartografía: Análisis de los principales estándares y propuesta de mejora. Jaén: Universidad de Jaén, 2008. Disponível em: <https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/302/1/9788484394150.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2024.

AZEEZ, O et al. Dam break analysis and flood disaster simulation in arid urban environment: The Um Al-Khair dam case study, Jeddah, Saudi Arabia. *Natural Hazards*, v. 100, n. 3, p. 995-1011, 2020. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-019-03836-5&casa_token=D19Z0w4wjUQAAAAA:KIJtDYzFtEGfN_dafasiLRJXS0-GtYtkBwiKvXw4n61StJ1bGqdg3pOWwt7Kxc-GlnhgacmUaj3S9eNiFA Acesso em: 06 dez. 2024.

AZEVEDO, N. M. G.; AZEVEDO FILHO, J. D. M.; ALBUQUERQUE, C. C.; CABETE, N. P. F. Uso das ferramentas SWOT e PESTEL na análise situacional da gestão dos recursos hídricos no Estado do Amazonas - Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 5–23, 2024. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/7633>. Acesso em: 6 dez. 2024.

BALOGUN, O. S.; GANIYU, H. O. Study and analysis of Asa River hypothetical dam break using HEC-RAS. *Nigerian Journal of Technology*; GANIYU, H. O. Study and analysis of

Asa River hypothetical dam break using HEC-RAS. *Nigerian Journal of Technology*, v. 36, n. 1, p. 315-321, 2017. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/njt/article/download/150259/139833>. Acesso em: 9 dez. 2024.

BARRON-LUGO, J. Armando et al. A GIS-big data model for improving the coverage and analysis processes of territory observation, and integrating ground-based observations with retrospective meteorological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Armando et al. A GIS-big data model for improving the coverage and analysis processes of territory observation, and integrating ground-based observations with retrospective meteorological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 128, p. 103736, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843224000906>. Acesso em: 9 dez. 2024.

BAPTISTA, M.; LARA, M. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

BLANCO, Luana Ferreira. Análise espacial para identificação de áreas propícias à implantação de aterro sanitário: utilizando ferramentas de geoprocessamento para tomada de decisão. 2025.

BECK, Marcus W.; CLAASSEN, Andrea H.; HUNDT, Peter J. Environmental and livelihood impacts of dams: common lessons across development gradients that challenge sustainability. *International journal of river basin management*, v. 10, n. 1, p. 73-92, 2012.

BENINI, Sandra Medina et al. Governança urbana e a mercantilização do espaço no Brasil. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, v. 20, n. 60, p. 31-51, 2024.

BILALI, A. E. et al. *A practical probabilistic approach for simulating life loss in an urban area associated with a dam-break flood*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 76, p. 103011, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212420922002308?casa_token=OxM Ms1osSsMAAAA:kDQsqz05Yamf2tCoMIIws4FxeNILMuh8CWHR9M2x229nUpbWY skC63hSvNmx0nB6msp7UCSIMy8 Acesso em: 12 dez. 2024.

BRAGA, T. R. F. O manejo de resíduos sólidos em encostas e a ocorrência de deslizamentos de terra na Comunidade Alto Independência, Petrópolis–RJ. *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 11, p. e6689-e6689, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/download/6689/4768>. Acesso em: 9 dez. 2024.

BRAGG, Michael A.; POUDEL, Ashmita; VASCONCELOS, Jose G. Comparing SWMM and HEC-RAS Hydrological Modeling Performance in Semi-Urbanized Watershed. *Water* Comparing SWMM and HEC-RAS Hydrological Modeling Performance in Semi-Urbanized Watershed. *Water*, v. 17, n. 9, p. 1331, 2025.

BRASIL. Lei número 12.334, de 20 de dezembro de 2010. estabelece a política nacional de segurança de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o sistema nacional de informações sobre segurança de barragens e altera a redação do art. 35 da, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da, de 17 de julho de 2000. Disponível em: [BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas \(ANA\). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1º out. 2020.](https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=12334&ano=2010&ato=c3ec3Yq1keVpWTdb6#:~:text=ESTABELECE%20A%20POL%20C3%8DTICA%20NACIONAL%20DE,ALTERA%20A%20REDA%20C3%87%20C3%83O%20DO%20ART. Acesso em: 10 dez. 2024.</p>
</div>
<div data-bbox=)

BRASIL. Lei nº 7.347, de 24 de julho de 1985. Dispõe sobre a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico (Lei da Ação Civil Pública). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 de jul. 1985. Seção 1, p.11171.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000. Disponível em: < https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/leis/19985.ttm>. Acesso em 24/04/2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de maio de 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccvil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em 28/07/2022.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em 24 de março de 2023.

BUILDINGS, Open. Disponível em: <https://sites.research.google/gr/open-buildings/#open-buildings-download> Acesso em: 15 dez. 2024.

BUTT, M. J.; UMAR, M.; QAMAR, R. *Landslide dam and subsequent dam-break flood estimation using HEC-RAS model in Northern Pakistan*. Natural Hazards, v. 65, p. 241-254, 2013. Disponível em: https://idp.springer.com/authorize/casa?redirect_uri=https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-012-0361-8&casa_token=sbzGz29oae8AAAAA:kvzGtUZZyMV49cJMBETXMxGceM0oCu8oOW

m_CCpNUblR2igKpIvCVk3EQmbKrE0sPVJ3g0NP8qnQJXu9_Q. Acesso em: 10 dez. 2024.

BRUNNER, G. W. (2016). HEC-RAS River Analysis System User's Manual (v.5.0). U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf?utm_source=chatgpt.com

CAMARGO, W. *Georreferenciamento das Obras de Arte*. Revista Expressão, v. 14, n. 1, 2025. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/revistaexpressao/article/view/7811/5789> Acesso em: 06 dez. 2024.

CARVALHO, LF, Oliveira GM, Araújo HF, et al. *Using of high spatial resolution images to evaluate the thematic accuracy of land use and occupation maps with the Kappa index*. MOJ Eco Environ Sci. 2024;9(5):220-228. DOI: 10.15406/mojes.2024.09.00329

CARVALHO, M. C. P. et al. Análise de ruptura hipotética para barragens em cascata. *Ciência ET Praxis*, v. 19, n. 34, p. 64-82, 2024. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/praxys/article/view/8062> Acesso em: 13 dez. 2024.

CARVALHO, Celso Guimarães et al. A dependência da arrecadação do município de Ouro Preto do setor mineral. *Revista Escola de Minas*, v. 65, p. 385-392, 2012.

CEA, L.; COSTABILE, P. Flood risk in urban areas: Modelling, management and adaptation to climate change. *A review*. *Hydrology*, v. 9, n. 3, p. 50, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/3/50>. Acesso em: 9 dez. 2024.

CHEN, Yuanqing et al. Three-dimensional spatiotemporal wind field reconstruction based on LiDAR and multi-scale PINN. *Applied Energy* *Three-dimensional spatiotemporal wind field reconstruction based on LiDAR and multi-scale PINN*. *Applied Energy*, v. 377, p. 124577, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261924019603> Acesso em: 09 dez. 2024.

CHOW, V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. Disponível em: <https://archive.org/details/openchannelhydra0000chow>. Acesso em 27/03/2025.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 3a Ed.; Nova York, Boca Raton: CRC Press, 328 p.; 2019. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9780429052729/assessing-accuracy-remotely-sensed-data-russell-congalton-kass-green> Acesso em: 06 dez. 2024.

CONGEDO, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172,

CORDEIRO, D.; MAGALHÃES, V. L.; SABBI, L. B. C. Geoprocessamento aplicado na avaliação das áreas verdes urbanas de Medianeira-PR. *Tempo da Ciência*, v. 31, n. 61, p. 26-26. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/tempodaciencia/article/view/34364> Acesso em: 06 dez. 2024.

CORRÊA, W. C.; RIBEIRO, B.; RODRIGUES, A.; MACHADO, N.; CARVALHO, M. Mapa de classificação climática de thornthwaite para o leste maranhense. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 113-135, 2024. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/8110>. Acesso em: 9 dez. 2024.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. *O sensoriamento remoto e os riscos naturais e ambientais*. Disponível em: <https://www.googleacademico.com.br/>. Acesso em 23 de mai 2025.

COSTA, L. L. et al. Análise temporal do uso e ocupação do solo e influência sobre os manguezais no município de Marapanim, Pará. *Observatório De La Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 8, p. e6225-e6225, 2024. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/download/6225/3975> Acesso em: 09 dez. 2024.

COSTABILE, P. et al. Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, v. 603, p. 126962, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216942101012X>. Acesso em: 9 dez. 2024.

COSTABILE, P.; MACCHIONE, F. Enhancing river model set-up for 2-D dynamic flood modelling. *Environmental Modelling & Software*, v. 67, p. 89-107, 2015. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/tempodaciencia/article/view/34364> Acesso em: 09 dez. 2024.

DASALLAS, L.; AN, H.; LEE, S. Developing an integrated multiscale rainfall-runoff and inundation model: Application to an extreme rainfall event in Marikina-Pasig River Basin, Philippines. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 39, p. 100995, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581822000088>. Acesso em: 9 dez. 2024.

DA SILVA, Mariza Ferreira. Impactos ambientais da mineração e da expansão urbana em Minas Gerais, Brasil: o caso de Congonhas-patrimônio cultural da humanidade. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, n. 8, p. 121-136, 2016.

DEMISSIE, Z. et al. Flood susceptibility mapping: Integrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment. *Applied Computing and Geosciences*, p. 100183, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590197424000302>. Acesso em: 9 dez. 2024.

DE OLIVEIRA REIS, Matheus et al. Panorama dos rompimentos de barragens de rejeito de minério no mundo. *Caderno de Geografia*, v. 30, n. 61, p. 368-368, 2020.

DI GIULIO, G. M.; GRESSE, E. G.; JACOBI, P. R. Emergência climática, eventos extremos e as experiências no contexto brasileiro. *Diálogos Socioambientais*, v. 7, n. 19, p. 6-12, 2024. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_MD1_ID704_TB1208_13092024021603.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

DING, C. et al. Retrospect on the Ground Deformation Process and Potential Triggering Mechanism of the Traditional Steel Production Base in Laiwu with ALOS PALSAR and Sentinel-1 SAR Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 24, n. 15, p. 4872, 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11315039/>. Acesso em: 13 dez. 2024.

DOBERSTEIN, Brent; FITZGIBBONS, Joanne; MITCHELL, Carrie. Protect, accommodate, retreat or avoid (PARA): Canadian community options for flood disaster risk reduction and flood resilience. *Natural Hazards*, v. 98, n. 1, p. 31-50, 2019.

DUARTE, J. M.; COSTA, V. A. F. *A metamodel for sensitivity and uncertainty analysis in the modeling of loss of life due to dam failures*. *Journal of Hydroinformatics*, p. jh2024325, 2024. Disponível em: <https://iwaponline.com/jh/article/doi/10.2166/hydro.2024.325/105613>. Acesso em: 12 dez. 2024.

DSG. ET-CQDG - Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais. Exército Brasileiro. [S.l.], p. 94. 2016. (EB80-N-72.004).

DUTTA, J. et al. *Application of Remote Sensing and GIS in Environmental Monitoring and Management*. In: *Remote Sensing and GIS Techniques in Hydrology*. IGI Global, 2025. p. 1-34. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/application-of-remote-sensing-and-gis-in-environmental-monitoring-and-management/360441> Acesso em: 06 dez. 2024.

ELEUTÉRIO, J. C. et al. Simulados de rompimentos de barragem possibilitam o aprimoramento de sistemas de alerta e evacuação relacionados a inundações? In: *IV Encontro Nacional de Desastres*. 2024. p. 1-4. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/241/IV-END0205-1-20240713-162504.pdf> Acesso em: 12 dez. 2024

ESRI. *ArcGIS Pro*. Disponível em: <https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/plataforma-geoespacial/visao-geral>. Acesso em: 06 dez. 2024.

FEIZIZADEH, Bakhtiar; OMARZADEH, Davoud; BLASCHKE, Thomas. Spatiotemporal mapping of urban trade and shopping patterns: A geospatial big data approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 128, p. 103764, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843224001183>. Acesso em: 09 dez. 2024.

FLEISS, J. L.; COHEN, J.; EVERITT, B. S. Large sample standard errors of kappa and weighted kappa. *Psychological Bulletin*; COHEN, J.; EVERITT, B. S. Large sample standard errors of kappa and weighted kappa. *Psychological Bulletin*, v. 72, n. 5, p. 323–327, 1969. Disponível em: https://psycnet.apa.org/journals/bul/72/5/323.pdf?casa_token=WJwbEoVRIREAAAAA:S-S-Gy1MKAeKEskOuG14s07MqnvCK6LuGSGC3KW1nYSXRTkFA7JD9xpnTURMgYcx7yE8poXUqkMshvp_COkSNXUwH. Acesso em: 06 dez. 2024.

FOODY, G. M. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*. Explaining the unsuitability of the kappa coefficient in the assessment and comparison of the accuracy of thematic maps obtained by image classification. *Remote Sensing of Environment*, v. 239, n. January, p. 111630, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425719306509?casa_token=-wRo2TchTIsAAAAA:M6EWNjGuXexV1HibF4syHPmMu5JdESBXonMeLqWp3pnvOF0mvCb4Xai75nXJouWZiJRMnFQh8b0. Acesso em: 06 dez. 2024.

FREIMAN, Fabiano Peixoto; DOS SANTOS, Daniel Rodrigues. Generalização Cartográfica: Desafios e Perspectivas. *Revista Brasileira. Cartogr*. *Cartogr*, v. 74, n. 3, 2022.

FREITAS NETO, O. et al. Uma revisão dos acidentes em barragens de rejeito de mineração da América do Sul e o cenário brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 8, n. 1, p. 10-27, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/25727>. Acesso em: 10 dez. 2024.

FREITAS, Carlos Machado; SILVA, Mariano Andrade da. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 17, n. 1, p. 21-29, 2019.

FRENCH, R. H. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. Disponível em: Acesso digital: https://venkatasai.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/open-channel-hydraulics-by-terry-w-sturm-www-civilenggforall-com.pdf?utm_source=chatgpt.com

GAAGAI, A. et al. Modeling and risk analysis of dam-break flooding in a semi-arid Montane watershed: a case study of the Yabous Dam, Northeastern Algeria. *Water*, v. 14, n. 5, p. 767, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/5/767/pdf>. Acesso em: 09 dez. 2024.

GARG, P. K. Geospatial Approaches for Environmental Pollution Mapping, Analysis and Mitigation. In: *Spatial Intelligence for a Greener Planet*. CRC Press, 2024. p. 1-19. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781032718323-1/geospatial-approaches-environmental-pollution-mapping-analysis-mitigation-garg>. Acesso em: 09 dez. 2024.

GALEGO. *Vale S.A. Barragem Galego*. Disponível em: <https://barragens.com.br/galego-vale-s-a/>. Acesso em 21 de nov. 2024.

GHODOOSIPOUR, B. et al. Experimental study on extreme hydrodynamic loading on pipelines part 2: Induced force analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 7, n. 8, p. 262, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/8/262> Acesso em: 09 dez. 2024.

GIBSON, S. et al. Prototype scale evaluation of non-Newtonian algorithms in HEC-RAS: Mud and debris flow case studies of Santa Barbara and Brumadinho. *Geosciences*, v. 12, n. 3, p. 134, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3263/12/3/134> Acesso em: 09 dez. 2024.

GOOGLE. *Google Earth Engine*. Disponível em: <https://earthengine.google.com/> Acesso em: 06 dez. 2024.

INPE. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. 2024. Disponível em: Acesso em 13 dez. 2024.

JHA, M. K. et al. *The Role of Technology in Environmental Governance*. In: *Intersecting Environmental Governance With Technological Advancements*. IGI Global Scientific Publishing, 2025. p. 287-322. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/the-role-of-technology-in-environmental-governance/363225> Acesso em: 06 dez. 2024.

JITTA, A. S.; MANDA, V. K.; TARNANIDIS, T. *Geospatial Technologies for Smart Cities*. In: *Recent Trends in Geospatial AI*. IGI Global Scientific Publishing, 2025. p. 103-136. Disponível em: <https://www.igi-global.com/chapter/geospatial-technologies-for-smart-cities/363698>. Acesso em: 6 dez. 2024.

JUNG, C-G; KIM, S-J. *Comparison of the damaged area caused by an agricultural dam-break flood wave using HEC-RAS and UAV Surveying*. *Agricultural Sciences*, v. 8, n. 10, p. 1089-1104, 2017. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=79603>. Acesso em: 96 dez. 2024.

JIANG, W. et al. *Understanding the effects of digital elevation model resolution and building treatment for urban flood modelling*. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 42, p. 101122, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581822001355>. Acesso em: 9 dez. 2024.

JIANG, C. et al. *A dynamic bidirectional coupled surface flow model for flood inundation simulation*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 21, n. 2, p. 497-515, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581822001355>. Acesso em: 9 dez. 2024.

KHANAL, Pratik et al. *Dam break analysis of the Nagmati and Dhap dams using HEC-RAS*. *H2 Open Journal*, v. 8, n. 3, p. 139-156, 2025. Disponível em:

https://iwaponline.com/h2open/article/8/3/139/107966/Dam-break-analysis-of-the-Nagmati-and-Dhap-dams?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 22 mai. 2025.

KAYA, Y. Z.; ÜNEŞ, F. Comparison of three different satellite data on 2D flood modeling using HEC-RAS (5.0. 7) software and investigating the improvement ability of the RAS Mapper tool. *Journal of Flood Risk Management*; ÜNEŞ, F. Comparison of three different satellite data on 2D flood modeling using HEC-RAS (5.0. 7) software and investigating the improvement ability of the RAS Mapper tool. *Journal of Flood Risk Management*, v. 18, n. 1, p. e13046, 2025. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfr3.13046>. Acesso em: 13 dez. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-fins-estatisticos.html?=&t=downloads> acesso em 13/12/2024.

KHANAL, Pratik et al. *Dam break analysis of the Nagmati and Dhap dams using HEC-RAS*. *H2Open Journal*, v. 8, n. 3, p. 139-156, 2025.

KONAN, A. N. Urban Flood modelling and Floodplain Mapping using ArcGIS, HEC-HMS and HEC-RAS in Abidjan city, Côte D'Ivoire–West Africa: Case study of the watershed of Bonoumin-Rivière Palmeraie. 2018. Dissertação de Mestrado. *PAUWES*. Disponível em: <https://repository.pauwes-cop.net/handle/1/372>. Acesso em: 9 dez. 2024.

KUMAR, Sunil et al. *Literature review of dam break studies and inundation mapping using hydraulic models and GIS*. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v. 4, n. 5, p. 55-61, 2017.

KYAW, P. P. S. S. Modeling approach for Earthen dam breach analysis in North Yamar dam, Myanmar. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, v. 69, n. 1, p. 59-72, 2020. Disponível em: <https://repository.pauwes-cop.net/handle/1/372>. Acesso em: 9 dez. 2024.

LLANO, 2023. ACATAMA (Análise da Qualidade Temática para Mapas). (2023). Versão 2410. Acesso em 05 de maio 2024.

LIANG, J. et al. A GPT-enhanced framework on knowledge extraction and reuse for geographic analysis models in Google Earth Engine. *International Journal of Digital Earth A GPT-enhanced framework on knowledge extraction and reuse for geographic analysis models in Google Earth Engine*. *International Journal of Digital Earth*, v. 17, n. 1, p. 2398063, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17538947.2024.2398063>. Acesso em: 9 dez. 2024.

LIMA, R. P. et al. *Assessment of digital terrain models in dam break simulation studies*. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 27, p. e2021005, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/qCh6qRC3ZXYcyJPKvKNsPqM/?format=html>. Acesso em: 12 dez. 2024.

LIMA, Asheley Aicha da Silva. Utilização de imagens LANDSAT 7 e 8 e SENTINEL-2 para monitoramento agrícola, análise de desmatamento e uso da terra: um estudo de caso no médio Parnaíba Piauiense. 2025.

LINSLEY, R. K., Franzini, J. B., Freyberg, D. L., & Tchobanoglous, G. (1992). *Hydrology for Engineers* (3rd ed.). *McGraw-Hill*. Disponível em: Acesso digital:

LI, Zhenlong et al. Giscience in the era of artificial intelligence: A research agenda towards autonomous gis. arXiv preprint arXiv:2503.23633, 2025.

LUMBROSO, D. et al. DAMSAT: An eye in the sky for monitoring tailings dams. *Mine Water and the Environment*, v. 40, p. 113-127, 2021. Disponível em: <https://eprints.hrwallingford.com/1438/1/HRPP-21-015.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.

MA, X.; LI, J. Design of emergency evacuation route for large buildings based on cloud computing and GIS big data. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* *Design of emergency evacuation route for large buildings based on cloud computing and GIS big data*. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, n., p. 1-12, 2024. Disponível em: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-intelligent-and-fuzzy-systems/ifs237834>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MACÊDO, R. F.; ALVES, R.; IESCHECK, A. L. Multi-attribute decision-making model based on Remote Sensing to enhance the environmental auditing of Sustainable Forest Management in the Brazilian Amazon forest. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 48, p. 107-113, 2024. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-3-2024/107/2024/isprs-archives-XLVIII-3-2024-107-2024.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MAGNO, Lucas et al. Territórios corporativos da mineração: barragens de rejeito, reconfiguração espacial e deslocamento compulsório em Minas Gerais–Brasil/Corporate mining territories: tailing dams, spatial reconfiguration and forced displacement in Minas Gerais–Brazil/Territoires corporatifs de l’exploitation minière: barrages de résidus, reconfiguration spatiale et déplacements obligatoires dans le Minas Gerais–Brésil. *Revista Nera*, v. 26, n. 66, 2023.

MAIA, Marcelo et al. The urbanization process in the largest metropolitan area of Minas Gerais through the rivers and railways paths. *International Planning History Society Proceedings* *The urbanization process in the largest metropolitan area of Minas Gerais through the rivers and railways paths*. *International Planning History Society Proceedings*, v. 20, p. 059-072, 2024.

MAPBIOMAS. Coleções MapBiomass, 2024. Disponível em: [https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2023&mapPosition=-15.072124%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2023&baseParams\[territoryType\]=1&baseParams\[territories\]=10001%3BBrazil%3B1%3BPa%3%ADs%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams\[activeClassTreeOptionValue\]=default&baseParams\[activeClassTreeNodeId](https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/cobertura?activeBaseMap=9&layersOpacity=100&activeModule=coverage&activeModuleContent=coverage%3Acoverage_main&activeYear=2023&mapPosition=-15.072124%2C-51.459961%2C4&timelineLimitsRange=1985%2C2023&baseParams[territoryType]=1&baseParams[territories]=10001%3BBrazil%3B1%3BPa%3%ADs%3B0%3B0%3B0%3B0&baseParams[activeClassTreeOptionValue]=default&baseParams[activeClassTreeNodeId)

s]=1%2C7%2C8%2C9%2C10%2C11%2C12%2C13%2C14%2C15%2C16%2C3%2C18%2C19%2C28%2C30%2C31%2C32%2C33%2C34%2C29%2C35%2C36%2C37%2C38%2C20%2C21%2C4%2C22%2C23%2C24%2C25%2C5%2C26%2C27%2C6&baseParams[activeSubmodule]=coverage_main&baseParams[yearRange]=1985-2023. Acesso em: 12 dez. 2024.

MARION, F. A.; ANDRES, J.; HENDGES, E. R.; BELON, K. Influência da temperatura e da precipitação na variação anual de índices de vegetação em área de floresta estacional semidecidual, no Sudoeste do Paraná, Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 163–178, 2024. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/8099>. Acesso em: 6 dez. 2024.

MEDEIROS LC, Araújo HF, Nero MA. Hypothetical economic valuation of environmental damage (VEDA) using the VERA methodology in the rupture of a uranium mining tailings dam: a case study in Caldas-MG - Brazil. *MOJ Eco Environ Sci*. 2024;9(3):127–136. DOI: 10.15406/mojes.2024.09.00316

MEDEIROS, L. D.; BELLO, M. I. M. C.; FERREIRA, S. R. M. Melhoramento do comportamento mecânico de um solo estabilizado com cinza da lenha de algaroba. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 207–229, 2024. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/8109>. Acesso em: 6 dez. 2024.

MEDEIROS, T. P. et al. O uso de multiplataformas de análise geoespacial como abordagem alternativa para o processo de ensino-aprendizagem em sensoriamento remoto. *Revista Geonorte*. et al. O uso de multiplataformas de análise geoespacial como abordagem alternativa para o processo de ensino-aprendizagem em sensoriamento remoto. *Revista Geonorte*, v. 15, n. 49, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/14160/9283>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MENEGALE, Maria Beatriz de Castro Silva. A transformação territorial de um município de tradição mineradora: estudo de caso sobre a recente ocupação do norte de Nova Lima, circundante à Mata do Jambeiro. 2002.

MONSERUD, R. A.; LEEMANS, R. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*.; LEEMANS, R. *Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic*. *Ecological Modelling*, v. 62, n. 4, p. 275–293, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030438009290003W>. Acesso em: 9 dez. 2024.

MORAES, W. R.; ZACHARIAS, A. A.; OLIVEIRA-COSTA, J. L. P. *Landscape geocology in the feasibility of creating linear parks in urban microbasins*. In: *Earth Observation for Monitoring and Modeling Land Use*. Elsevier, 2025. p. 207-240. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323951937000051> Acesso em: 06 dez. 2024.

MORAIS, V. T. P. Utilização de Modelos Digitais de Terreno com diferentes resoluções espaciais provenientes de dados Lidar da simulação da ruptura da Barragem em

- Brumadinho- Minas Gerais. Dissertação (mestrado). 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/43274>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- MORAIS, V. T. P. de; NERO, M. A.; ELMIRO, M. A. T.; GARCIA, R. A.; CINTRA, J. P.; MANCIPE-MUÑOZ, N. A.; ARAÚJO, H. F. Use of geoprocessing in the simulation of mining tailings dam rupture. *Contribuciones a las ciencias sociales* T. P. de; NERO, M. A.; ELMIRO, M. A. T.; GARCIA, R. A.; CINTRA, J. P.; MANCIPE-MUÑOZ, N. A.; ARAÚJO, H. F. Use of geoprocessing in the simulation of mining tailings dam rupture. *Contribuciones a las ciencias sociales*, [S. l.], v. 17, n. 10, p. e11771, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.10-264. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/11771>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- MOURA, D. m. B; OLIVEIRA, I. J. Mapeamento da favorabilidade hídrica na Alta Bacia Hidrográfica do Rio Meia Ponte, como subsídio às políticas de segurança hídrica de Goiânia (GO). *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 136–162, 2024. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/8123>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- NAPKIN. *Napkin AI*. The visual AI for business storytelling. Disponível em: <https://www.napkin.ai/>. Acesso em 23/07/2025.
- NASA. *ASF Data Search Vertex*. 2024. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 13 dez. 2024.
- NERO, M. A. et al. Assessment of the influence of DTM quality on dam rupture simulation processes. *MOJ Ecology Environment Science* A. et al. *Assessment of the influence of DTM quality on dam rupture simulation processes*. *MOJ Ecology Environment Science*, v. 9, n. 2, p. 61-70, 2024. Disponível em: <https://medcraveonline.com/MOJES/MOJES-09-00308.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.
- NERO, M. A. Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional. 2005. *Tese de Doutorado*. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-04112005-110341/en.php>. Acesso em: 9 dez. 2024.
- NKWUNONWO, U. C.; WHITWORTH, M.; BAILY, B. *A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries*. *Scientific African*, 7, e00269 [em linha]. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620300077>. Acesso em: 9 dez. 2024.
- NOBREGA, R. A. A. de, et al. Destaque territorial: proposta de modelagem socioeconômica e ambiental para avaliar a inserção social nos Programas de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, n. 49, p. 34-50, 2018.
- NU-BR - NAÇÕES UNIDAS - BRASIL. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 6 dez. 2024.

OLIVEIRA, Warlen Librelon de; MORAIS, Bárbara Roberta; NERO, Marcelo Antônio. Avaliação da eficácia dos classificadores de imagem de sensoriamento remoto com variação na resolução espacial.. *InterEspaço*, v. 8, 2022.

OPEN. *Buildings*. Disponível em: https://sites.research.google/gr/open-buildings/?utm_source=chatgpt.com. Acesso em 15 dez 2024.

PAEBM VALE. Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração. Disponível em: <https://vale.com/en/esg/paebm>. Acesso em 03/04/2025.

PARETA, K. Integrated Hydrodynamic Modeling of Dam Failure and Downstream Flood Inundation near Kathmandu, Nepal using MIKE Hydro River Model. *Journal of Hydraulic Structures*, v. 10, n. 1, p. 80-105, 2024. Disponível em: https://jhs.scu.ac.ir/article_19018.html. Acesso em: 13 dez. 2024.

PAWLAK, Marcin. Valuation of real options using Monte Carlo simulation. *Procedia Computer Science* Valuation of real options using Monte Carlo simulation. *Procedia Computer Science*, v. 246, p. 3410-3419, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924022312>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PBH, Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. *Base de dados para planejamento urbano*. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/base-dados?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 06 jun. 2024, às 15:07.

PENDER, Gareth; ELZ, SYLVAIN NE. 12 Flood Inundation Modelling to Support Flood Risk Management. *Flood risk science and management*, p. 234, 2011.

PEREIRA, L. F. et al. Influência da cobertura do solo em áreas de preservação permanente sobre eventos de inundações a jusante de uma barragem: estudo de caso da PCH Pedra Furada–Pernambuco, Brasil: Influence of land cover in permanent preservation areas on flood events downstream of a dam: Pedra Furada HPP case study-Pernambuco, Brazil. *Geociências*, v. 41, n. 2, p. 479-496, 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/15900>. Acesso: 13 dez. 2024.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Proposição de implantação de técnica compensatória para manejo sustentável de águas pluviais urbanas no Município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 73–90, 2024. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/7842>. Acesso em: 6 dez. 2024.

PHYO, A. P.; YABAR, H.; RICHARDS, D. *Managing dam breach and flood inundation by HEC-RAS modeling and GIS mapping for disaster risk management*. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, v. 8, p. 100487, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016423001925>. Acesso em: 09 dez. 2024.

PRODABEL. *IDE BHGEO*. 2024. Disponível em: <https://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=4&lat=7796893.0925&lon=609250.9075&baselayer=base>. Acesso em: 09 dez. 2024.

PUSHPALATHA, V. et al. Big Data Analytics: The Classification of Remote Sensing Images Using Machine Learning Techniques. In: *Machine Learning Hybridization and Optimization for Intelligent Applications*. CRC Press, 2025. p. 162-181. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003465775-10/big-data-analytics-pushpalatha-mahendra-shoaib-kamal-mallikarjunaswamy>. Acesso em: 6 dez. 2024.

QGIS. QGIS versão “3.16.5 Hannover”. 2023. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/forusers/alldownloads.html>. Acesso em: 23 out. 2023.

RADEMANN, L. K.; SOARES, M. A. R.; TRENTIN, R.; SCHNORR, G. Influência dos GCPS na acurácia de produtos cartográficos a partir de VANT em área de grande variação altimétrica. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 18, n. 1, p. 24–38, 2024. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/7928>. Acesso em: 6 dez. 2024.

RAHAYU, Lidia Septiana Nilla; RIZAL, Nanang Saiful; ALIHUDIN, Arief. Normalisasi Sungai Sanen Sebagai Solusi Penanganan Banjir Di Desa Wonoasri Jember Menggunakan HEC-RAS 6.3. *Jurnal Smart Teknologi*, v. 5, n. 4, p. 455-467, 2024.

RAJANKAR, S. et al. Smart village: a g-Governance initiative for decision support. *Technological Innovations & Applications in Industry 4.0*, p. 18, 2025. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003567653-3/smart-village-governance-initiative-decision-support-system-sangita-rajankar-soni-chaturvedi-asutkar-dhale> Acesso em: 06 dez. 2024.

REGMI, R. K.; BANIIYA, R. Dam Breach Analysis Using HEC-RAS: A Case Study of Naumure Dam, Nepal. *Authorea Preprints*, 2025. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003567653-3/smart-village-governance-initiative-decision-support-system-sangita-rajankar-soni-chaturvedi-asutkar-dhale> Acesso em: 06 dez. 2024.

REID, M. E.; COE, J. A.; BRIEN, D. L. Forecasting inundation from debris flows that grow volumetrically during travel, with application to the Oregon Coast Range, USA. *Geomorphology*, v. 273, p. 396-411, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X16306638> Acesso em: 06 dez. 2024.

REIS, Taiana Evangelista dos et al. Análise da vulnerabilidade socioambiental na Zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), por geoprocessamento: contribuindo no apoio à tomada de decisão. 2014.

RICHTER, Brian D. et al. Perdidos na sombra do desenvolvimento: as consequências humanas a jusante das barragens. *Water alternatives*, v. 3, n. 2, p. 14, 2010.

RISWAL, K. et al. Flood modelling due to dam failure using HEC-RAS 2D with GIS overlay: case study of Karalloe Dam in South Sulawesi Province Indonesia. *Civil Engineering and Architecture*, v. 10, n. 7, p. 2833-2846, 2022. Disponível em: <http://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/156/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ROCHA F. F. 2015. Retroanálise da Ruptura da Barragem São Francisco – Mirai, Minas Gerais, Brasil. *Msc Diss.* Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/qCh6qRC3ZXYcyJPKvKNsPqM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 10 dez. 2024. Acesso em: 23 maio de 2024

RODRIGUES, L. A. A. Impactos do processo de urbanização na formação de enchentes e alagamentos em Belo Horizonte, MG. / Lorrany Antunes Alves Rodrigues. Montes Claros, 2020. 67 f.: il.

SALIM, D. H. C. et al. Unveiling Fernando de Noronha Island's photovoltaic potential with unmanned aerial survey and irradiation modeling. *Applied Energy*. C. et al. Unveiling Fernando de Noronha Island's photovoltaic potential with unmanned aerial survey and irradiation modeling. *Applied Energy*, v. 337, p. 120857, 2023. Disponível em: Acesso em: 09 dez. 2024.

SAMAL, Padminie; SWAIN, Prakash Chandra; SAMANTARAY, Sandeep. Flood analysis using HEC-RAS 1D model for the delta of Brahmani river, Odisha, India. *Natural Hazards*, v. 121, n. 7, p. 7941-7966, 2025.

SIGBM. Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens. Disponível em: <<http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em 15 de ago de 2024.

SIGBM. Sistema de Informações sobre Gestão de Barragens. Disponível em: <<http://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/GerenciarPublico>>. Acesso em 09 de jul de 2014.

SIGMINE. Portal Sigmine: Sistema de Informação Geográfica de Mineração - mapa interativo. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em 27 ago. 2024.

SILVA, M. F. et al. Letramento em defesa civil: avaliação do conhecimento populacional e atribuições da defesa civil no Litoral Norte Paulista. *Aracê*, v. 6, n. 3, p. 6456-6477, 2024. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/1321>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SILVA, R. G. P.; LAFAYETTE, K. P. V.; PESSOA NETO, A. G. Análise temporal de uma encosta em situação de risco no Bairro de Nova Descoberta – Recife/PE. *Revista Geográfica Acadêmica*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 5–30, 2024. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/7735>. Acesso em: 6 dez. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS (SNISB). *Barragens*. Disponível em: <<https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/barragens>>. Acesso em 07 de jan de 2025.

SOARES, Ádria Kanome Mori et al. A systematic review of the environmental impacts of the Fundão dam rupture in Mariana (Minas Gerais, Brazil). *Environmental Science and Pollution Research*, p. 1-29, 2025.

SOUSA, A. G. L. et al. Geotecnologias para análise forense: estudo de caso de deslizamento de terra na Rodovia Federal BR-230. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 10, p. e8951-e8951, 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/download/8951/5290>. Acesso em: 9 dez. 2024.

STEINBRENNER, Rosane Albino; DE BRAGANÇA, Pedro Loureiro; NETO, Guilherme Guerreiro. Mídia e Desastre Socioambiental I Análise da Cobertura Midiática do Vazamento da Hydro-Alunorte em Barcarena. *Dossiê Desastres e Crimes da Mineração em Barcarena*, p. 123, 2019.

SREEKUMAR, Uthra et al. Tailings Dam Breach Outflow Modelling: A Review. *Mine Water and the Environment*. Springer, p. 1-25, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10230-024-01015-y.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.

ŠULEK, Peter; ORFÁNUS, Martin. Design of a Visual Basic HEC-RAS interface to test influence of daily regulation of a hydropower plant on navigation. *Discover Applied Sciences* Design of a Visual Basic HEC-RAS interface to test influence of daily regulation of a hydropower plant on navigation. *Discover Applied Sciences*, v. 7, n. 4, p. 319, 2025.

TEDLA, M. G.; CHO, Y.; JUN, K. Flood mapping from dam break due to peak inflow: a coupled rainfall–runoff and hydraulic models approach. *Hydrology* G.; CHO, Y.; JUN, K. Flood mapping from dam break due to peak inflow: a coupled rainfall–runoff and hydraulic models approach. *Hydrology*, v. 8, n. 2, p. 89, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/8/2/89> Acesso em: 9 dez. 2024.

TESSEMA, B. H.; GEBREMEDHN, A. Y.; GETAHUN, Y. S. Dam breach analysis and flood inundation mapping of Dire Dam, using HEC-HMS and HEC-RAS models. *Sustainable Water Resources Management* H.; GEBREMEDHN, A. Y.; GETAHUN, Y. S. Dam breach analysis and flood inundation mapping of Dire Dam, using HEC-HMS and HEC-RAS models. *Sustainable Water Resources Management*, v. 10, n. 2, p. 45, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s40899-023-01015-w.pdf> Acesso em: 10 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-FDA Flood Damage Reduction Analysis User's Manual Version 1.4.1. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2016. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-fda/documentation/CPD-72_V1.4.1.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-FIA User's Manual Version 3.4. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering

Center. 2024a. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/fiadocs/fiaum/latest>. Acesso em: 14 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-HMS User's Manual Version 4.12. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2024b. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>. Acesso em: 10 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-RAS Mapper User's Manual. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2024c. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rmum/latest>. Acesso em: 14 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual Version 6.4.1. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2023. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%20User's%20Manual-v6.4.1.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.

USACE-US Army Corps of Engineers. HEC-ResSim User's Manual Version 3.5. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 2024d. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/ResSimDocs/rsum>. Acesso em: 14 dez. 2024.

USGS – United States Geological Survey. (2010). Manning's n values for various land covers and channel conditions. Disponível em: <https://www.googleacademico.com.br>. Acesso em 23/12/2014.

VIJAYAKUMAR, S. et al. Google Earth Engine: empowering developing countries with large-scale geospatial data analysis—a comprehensive review. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 17, n. 4, p. 139, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12517-024-11948-x.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.

VINCI, G. et al. LiDAR Applications in Archaeology: A Systematic Review. *Archaeological Prospection*, 2024. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/arp.1931> Acesso em: 09 dez. 2024.

YAO, Q. et al. The emergency accessibility analysis based on traffic big data and flood scenario simulation in the context of Shanghai hotel industry. *Travel Behaviour and Society* The emergency accessibility analysis based on traffic big data and flood scenario simulation in the context of Shanghai hotel industry. *Travel Behaviour and Society*, v. 38, p. 100900, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214367X24001637> Acesso em: 09 dez. 2024.

ZHAO, W. et al. Applying digital technologies in construction waste management for facilitating sustainability. *Journal of Environmental Management* *Applying digital technologies in construction waste management for facilitating sustainability*. Journal of Environmental Management, v. 373, p. 123560, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479724035461> Acesso em: 09 dez. 2024.