

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DE EXPOSIÇÃO E VULNERABILIDADE DE PATRIMÔNIO IMÓVEL E MÓVEL A INUNDAÇÕES: O CASO DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

*Larissa Nunes Santos¹; Julian Cardoso Eleutério²;
Thiago de Almeida Assis¹ & Viviane Borda Pinheiro Rocha².*

Resumo: O inventário de bens em áreas de inundação é fundamental para a gestão de risco e para planejamento de emergências e a redução de danos associados. Nesse contexto, esse artigo analisa a exposição e vulnerabilidade do patrimônio imóvel e móvel face ao risco de inundação do Córrego Engenho Nogueira, que atravessa o Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O levantamento foi realizado com base em visitas de campo, dados detalhados do patrimônio da UFMG e da estimativa da ocupação de estacionamentos do campus. Ferramentas de Inteligência Artificial foram utilizadas para tratamento de dados e determinação da sensibilidade de bens ao contato com a água. A vulnerabilidade foi baseada nessa sensibilidade, estimando-se a possibilidade de perda funcional e física de bens em função da composição material desses. A vulnerabilidade de automóveis foi baseada em curvas teóricas de risco. Por fim, foi estimada uma grande exposição na área, sendo inventariados 19 edificações, 13870 elementos móveis e 1220 veículos em estacionamentos, com a predominância de itens com alta vulnerabilidade ao dano direto.

Palavras-Chave – Avaliação de risco de inundação; Análise de Exposição; Estimativa de Danos.

ANALYSIS OF EXPOSURE AND VULNERABILITY OF REAL ESTATE AND MOBILE ASSETS TO FLOODING: THE CASE OF THE CAMPUS OF THE FEDERAL UNIVERSITY OF MINAS GERAIS

Abstract: The inventory of assets in flood-prone areas is crucial for risk management, emergency planning, and reducing associated damage. This article analyzes the exposure and vulnerability of real estate and movable assets to flood risk from the Córrego Engenho Nogueira stream, which crosses the Pampulha Campus of the Federal University of Minas Gerais (UFMG). The survey was conducted based on field visits, detailed UFMG asset data, and an estimation of campus parking lot occupancy. Artificial Intelligence tools were used for data processing and determining asset sensitivity to water contact. Vulnerability was based on this sensitivity, estimating the potential for functional and physical loss of assets according to their material composition. The vulnerability of automobiles was based on theoretical risk curves. Ultimately, significant exposure was estimated in the area, with 19 buildings, 13,870 movable items, and 1,220 vehicles in parking lots inventoried. There was a predominance of items with high vulnerability to direct damage.

Keywords – Flood risk assessment; Exposure analysis; Damage estimation.

¹ Graduando(a)s da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE-UFMG).

² Professor(a)s do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (EHR-UFMG).

Contatos: larissa.nunes79@gmail.com; julian.eleuterio@ehr.ufmg.br; viviane.pinheiro@ehr.ufmg.br.

INTRODUÇÃO

O conceito de risco de inundação refere-se à probabilidade de um evento de inundação ocorrer levando em consideração as possíveis consequências associadas a esse evento (Miguez et al., 2018). Para analisar esse risco, é fundamental integrar a exposição, que identifica os elementos (bens, pessoas e outros) presentes nas áreas suscetíveis a inundações, com a vulnerabilidade, que avalia a propensão desses elementos a sofrer danos físicos resultantes do contato com a água. No que concerne aos bens, a análise de exposição envolve a classificação do que pode ser afetado e do valor agregado a esses elementos. Já a vulnerabilidade passa pela compreensão do desempenho de elementos, como materiais de construção, quando ficam submersos (Almeida, 2020).

Os danos causados por inundações costumam ser divididos em quatro categorias: diretos ou indiretos, tangíveis ou intangíveis (Merz et al., 2010). Danos diretos são as perdas físicas imediatas resultantes do contato com a água, como a destruição de infraestrutura, enquanto os danos indiretos incluem impactos secundários, como a interrupção de serviços ou perdas econômicas devido à paralisação de atividades (Eleutério et al., 2013). Os danos tangíveis podem ser diretamente medidos em termos monetários, como custos de reparo ou substituição, enquanto os intangíveis, representados pelos impactos psicológicos ou a perda de patrimônio cultural, são mais difíceis de avaliar em termos monetários (Messner et al., 2007). Essas análises são essenciais para entender não apenas os impactos imediatos, mas também as consequências de longo prazo.

Esse enfoque é particularmente relevante no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), onde a região potencialmente afetada por inundações do Córrego Engenho Nogueira representa uma ameaça significativa em uma área de ocupação específica voltada a atividades didáticas e de pesquisa. Essa situação de risco pode expor ativos valiosos da UFMG, que se destaca por sua excelência acadêmica, produção científica e impacto social, sendo uma das instituições de ensino superior mais relevantes do Brasil e da América Latina (Times Higher Education, 2025). Nesse contexto, o risco pode ser importante dado que o patrimônio, tanto móvel quanto imóvel, é vital para preservar a memória institucional e manter a identidade acadêmica e cultural (Silva; Mendes, 2022). Embora essa área seja considerada pouco adensada em termos de uso e ocupação e densidade populacional, o estudo de uma inundação hipotética é de grande importância pois pode ter impactos significativos relacionados a esse patrimônio. Isso não se limita apenas aos danos à infraestrutura física, mas também abrange as consequências para seu legado cultural e acadêmico, que vem sendo construído desde a fundação da universidade em 1927.

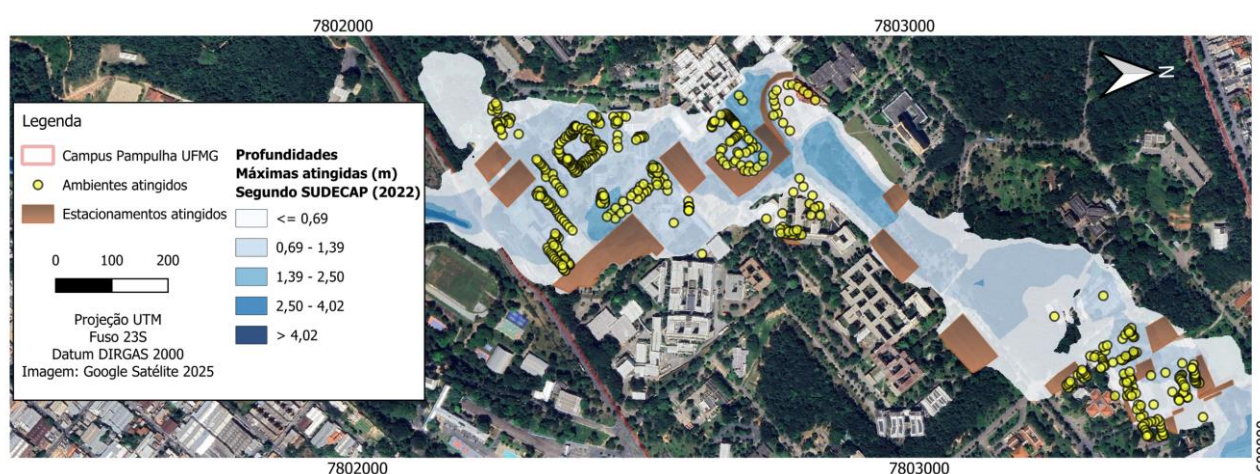
Este artigo busca contribuir para essa discussão, apresentando uma metodologia que integra as diferentes dimensões do risco em um contexto urbano complexo, pouco explorado na literatura. O objetivo principal do trabalho é analisar a exposição e a vulnerabilidade material no campus da UFMG, levando-se em consideração bens móveis e imóveis com o intuito de se quantificarem as consequências em termos de danos materiais relacionados a inundações. A metodologia empregada é baseada no levantamento detalhado de bens, e combina o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Inteligência Artificial (I.A.), para levantar e tratar dados detalhados de exposição e vulnerabilidade dentro da UFMG, resultando na determinação de danos potenciais.

METODOLOGIA

A definição dos danos é influenciada por dois grandes grupos de fatores: hidráulicos (como profundidade, duração da submersão, velocidade da água, taxa de elevação do nível, presença de contaminantes) e resistências (relacionadas aos materiais, alertas prévios e experiência dos afetados) (Almeida, 2020). Assim, a quantificação dos danos materiais no Campus Pampulha exige estudos

hidrológicos para identificar áreas propensas a inundações, além de inventários detalhados que ajudem a classificar os bens e a criar curvas de danos para estimar as perdas econômicas (Silva, 2021). Logo, como ponto de partida para avaliação do risco de inundações, foram pesquisadas áreas propensas a inundações no Campus: a mancha de inundação utilizada no estudo consistiu em um dado secundário, obtido por meio de estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos pela empresa ENEMAX (SUDECAP, 2022) e disponibilizados pela Prefeitura de Belo Horizonte. Essa delimitação (Figura 1) serviu de base para elaboração da análise de exposição e vulnerabilidade no Campus, que teve dois focos principais: (1) a análise do patrimônio público dentro das edificações; e (2) a análise de automóveis nas áreas de estacionamento do Campus.

Figura 1 - Mapeamento dos ambientes da UFMG e sobreposição das profundidades máximas atingidas pela mancha de inundação associada ao córrego Engenho Nogueira.



Em uma primeira etapa da análise, foi realizado, com o auxílio do aplicativo de georreferenciamento QField, mapeamento da exposição das edificações e dos estacionamentos localizados dentro da mancha de inundação para subsequente inventário detalhado. À medida que a investigação de campo foi realizada, a compilação da localização geográfica e de informações específicas de cada ponto foi inserida no aplicativo. O cadastro georreferenciado dessas estruturas foi analisado no QGIS junto à mancha de inundação (Figura 1). Na sequência, com base em investigação de campo e análise da classificação fornecida pela UFMG no inventário dessas unidades, os ambientes internos expostos (dentro das edificações) foram classificados com base nas suas tipologias de uso, em: salas administrativas, sala de aulas, bibliotecas, laboratórios, banheiros, copas, auditórios de seminários, sala de professores, lanchonetes, ambientes recreativos, os quais incluem grêmios estudantis e diretórios acadêmicos, galpões e depósitos.

Em relação ao acervo material potencialmente atingido pela inundação, na UFMG, o setor de patrimônio do Departamento de Logística de Suprimentos e de Serviços operacionais (DLO) é responsável por realizar a manutenção das informações relativas aos imóveis que compõem o Sistema de Gerenciamento dos Imóveis de Uso Especial da União – SPIUNET (UFMG, 2008). Nesse contexto, o Inventário Físico Anual de Bens Móveis, que é realizado anualmente pelo setor, foi disponibilizado pelos gestores da unidade para o estudo. Para o ano de 2025, foram catalogadas 41 unidades gestoras divididas em 337 órgãos que possuem cadastro de acervo patrimonial.

Para se analisar a vulnerabilidade material dos itens levantados, a base de dados foi tratada inicialmente por meio da padronização e correção na nomenclatura dos itens, com base em ferramentas de Inteligência Artificial (I.A.) para possibilitar a identificação, uma vez que a descrição de alguns itens dificultava sua compreensão. A partir disso, somente 05 de 13780 itens foram

desconsiderados da avaliação, pois não foram passíveis de identificação, a exemplo dos itens com descrição “PAT FUB” e “0,”. Ainda com auxílio de I.A., cada item foi categorizado conforme: Tipo - Nome genérico do item (ex.: "Mesa", "Notebook"); Classe - Categoria funcional (ex.: Móvel, Eletrodoméstico); Material Predominante - Material principal (ex.: Metal, Aço, Madeira); Altura de Alocação - Posição típica de armazenamento ou uso (em metros relativamente ao chão); Sensibilidade - Percentual de depreciação, em valor, em caso de contato com água, que indica a possibilidade de perda funcional e física dos artigos em função da composição material dos mesmos. Para exemplificação, o item com descrição “TELA PLANA 17 " SAMSUNG” foi tratado e categorizado conforme: Tipo: Monitor; Classe: Eletrônico; Material Predominante: Plástico ABS; Altura de Alocação: 1 (a nível de mesa); Sensibilidade à água: 0,95.

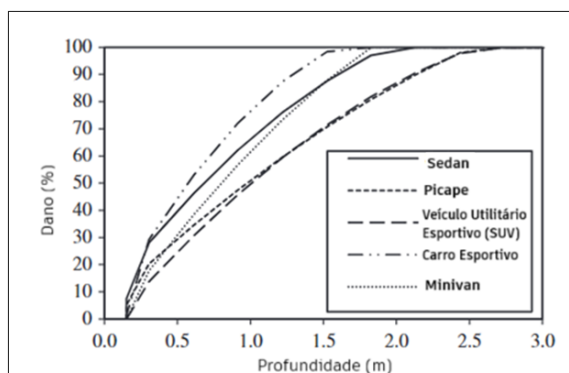
A análise de vulnerabilidade foi estimada com base em Merz et al (2010), e devido à ausência de curvas de dano específicas na literatura para uma diversidade tão grande de bens, a sensibilidade material à água foi categorizada com base em I.A., em função dos materiais predominantes em cada item e à sua potencial perda de funcionalidade atrelada ao contato com a água. As seguintes classes foram utilizadas: Baixa (0–0,3): refere-se a materiais altamente resistentes a danos causados pela água, mantendo a funcionalidade e o valor. Moderada (0,4–0,7): Inclui móveis de madeira e itens de tecido devido a potencial empenamento ou degradação do material. Alto (0,8–1,0): Inclui todos os itens eletrônicos e elétricos devido à perda de funcionalidade e valor quando expostos à água. Com o inventário categorizado, foi realizada a interação espacial entre a altura de alocação de cada item e a profundidade máxima atingida. Para os itens cadastrados e alocados nos ambientes mapeados, analisou-se sua posição típica de armazenamento em função da profundidade máxima atingida, a fim de identificar a possibilidade de contato direto com a água. Por fim, a estimativa da redução do valor, ou dano, foi determinada em função da sensibilidade de cada item e na exposição ao contato com a água, caso identificado.

Para estimativa da capacidade dos estacionamentos e análise de exposição e vulnerabilidade dos veículos, utilizou-se como referência a pesquisa de Saadi e Machado (2011), que analisou o sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG por meio de métodos de análise espacial com foco na geração e distribuição de viagens e na capacidade dos estacionamentos. A pesquisa foi fundamentada em uma modelagem do sistema viário em uma geo-rede, permitindo análises detalhadas das interações espaciais e da relação entre oferta e demanda de vagas de estacionamento. Uma limitação importante do estudo foi a ausência de uma discretização temporal detalhada, com uma análise concentrada exclusivamente no horário de pico (entre 7:00 e 9:00), identificado pelo maior fluxo de entrada de veículos. A demanda proveniente do público externo não foi considerada, e as vagas ociosas foram quantificadas com base apenas na demanda dos respectivos prédios. Com base nos resultados da pesquisa e na análise das áreas de estacionamento expostas, foi estimada, no presente estudo a quantidade de veículos expostos. Para estacionamentos parcialmente expostos, estimou-se o número de veículos com base em uma proporção entre a área atingida e a área total do estacionamento. Essa abordagem simplificada é comum em análises de danos por inundações quando faltam dados detalhados, conforme destacado por Messner e Meyer (2006).

Por fim, para estimativa de danos em automóveis foi utilizada a curva profundidade-dano (Figura 2) desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte Americano – USACE (2009) e destacada pelo estudo de Martínez-Gomariz (2018) pelo elevado nível de detalhamento e precisão em relação a outros dois estudos encontrados na literatura com foco específico em danos causados a veículos em contato com água de inundação (Martínez-Gomariz, 2018). A partir da análise dessas curvas, tornou-se necessário identificar a tipologia dos veículos para a adequada seleção da curva de dano a ser aplicada. Para identificação da tipologia dos veículos, foram assumidas hipóteses para caracterizar a proporção de ocupação em um estacionamento típico a partir da frota circulante

brasileira. Para isso, foi considerado o levantamento realizado pelo Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores (SINDIPEÇAS, 2023), que apontou que, em 2023, cerca de 22,7% dos automóveis de passeio no Brasil apresentam idade média de até 5 anos, 56,2% entre 6 e 15 anos e 21,1% têm idade média acima de 16 anos. Para o embasamento do estudo, foi considerado que essa proporção permaneceu a mesma em 2025. O estudo do SINDIPEÇAS (2023) aponta predominância de modelos compactos devido à acessibilidade e alta demanda no mercado de novos e usados e, por isso, a proporção de 60% para carros populares como sedan, 25% para carros de médio porte (SUVs) e 15% para picapes foi estimada. Essa simplificação foi adotada por não existir um estudo oficial com a composição exata de carros em cada tipo de estacionamento no Brasil e que pudesse ser corroborada por meio de observação do Campus Pampulha. O uso da proporção é uma forma de tornar a estimativa mais realista em vez de um único porte para todos os veículos.

Figura 2 – Curvas profundidade-dano por tipo de veículo propostas por USACE (2009).



Fonte: Adaptado de Martínez-Gomariz (2018).

RESULTADOS

Dentro da mancha de inundação, foram mapeadas 19 unidades expostas. Com base nos levantamentos feitos, foram identificados 484 ambientes vulneráveis e estes foram classificados com base na sua tipologia de uso, em função da investigação de campo e da classificação fornecida pela UFMG no inventário dessas unidades (Tabela 1). O percentual dos ambientes mapeados indicou uma proporção de 26,4% para salas administrativas, 21,5% para salas de aula, 16,1% para laboratórios, 12% para banheiros e 9,5% para depósitos.

Com base na análise das bases de dados de patrimônio da UFMG, foi identificado um total de 13870 itens cadastrados na área exposta, equivalente a 4,08% do total de itens e 4,84% em relação ao valor do patrimônio total cadastrado. O percentual da quantidade e do valor dos itens considerados vulneráveis à exposição, divididos nas unidades mapeadas (Tabela 2), indica que a maior exposição em itens se encontra no Colégio Técnico (COLTEC) (28%), enquanto a unidade do Departamento de Química concentra o maior valor monetário exposto (23%), apesar de possuir quase o mesmo percentual de itens do Instituto de Ciências Exatas (ICEX) (12 e 11% respectivamente) e este representar apenas 9% do acervo exposto.

Por meio da análise de vulnerabilidade realizada, foi possível identificar o nível de sensibilidade à água e classificar o patrimônio em função desse parâmetro (Tabela 3). Para o acervo patrimonial da UFMG, estima-se que itens de alta sensibilidade (57%) predominam devido à prevalência de equipamentos eletrônicos e elétricos, representando impactos significativos decorrentes de

inundação. Itens de sensibilidade moderada, como aqueles compostos por madeira e tecido (39%) são vulneráveis à deformação, enquanto itens de baixa sensibilidade (4%) oferecem mais resiliência.

Tabela 1 - Edifícios do campus Pampulha da UFMG expostos à mancha de inundação do Córrego Engenho Nogueira

Unidade	Salas de Aula	Laboratórios	Auditórios de Seminários	Bibliotecas	Salas administrativas	Sala de Professores	Lanchonetes	Ambientes Recreativos	Galpão	Copa	Depósitos	Banheiros
Associação dos Servidores da Universidade Federal de Minas Gerais (ASSUFEMG)	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	0	0
Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3)	0	0	4	0	1	0	0	0	2	2	0	8
Colégio Técnico (COLTEC)	5	19	1	2	12	0	0	2	0	3	6	6
Departamento de Gestão Ambiental (DGA)	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	2
Departamento de Logística (DLO)	0	0	0	0	12	0	0	0	0	1	2	4
Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI)	0	0	0	0	28	0	0	0	1	2	4	4
Departamento de Química Anexo 3 Bloco A	5	4	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1
Departamento de Química	21	41	2	2	14	14	0	1	0	0	6	8
Divisão de Áreas Verdes	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Divisão de Transportes	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	1	0
Escola de Belas Artes	10	0	0	1	6	0	0	0	0	1	2	6
Escola de Engenharia	14	1	2	0	1	0	1	12	0	1	12	4
Faculdade de Ciências Econômicas (FACE)	16	0	2	1	2	0	1	1	0	0	2	2
Inova UFMG	0	0	0	0	15	0	0	0	1	0	1	2
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	21	4	3	0	10	0	0	1	0	0	4	8
Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Descargas Atmosféricas (NDCTD)	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teatro Universitário	12	2	0	0	3	0	0	1	0	0	3	3
Total Geral	104	77	14	6	129	14	3	18	4	11	47	58

Tabela 2 - Percentual do acervo atingido em relação ao total do acervo catalogado em cada unidade.

Unidade	Quantidade de itens	% de itens	% do valor
Associação dos Servidores da Universidade Federal de Minas Gerais (ASSUFEMG)	13	0,1%	0,01%
Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3)	70	1%	1%
Colégio Técnico (COLTEC)	3.868	28%	14%
Departamento de Gestão Ambiental (DGA)	475	3%	7%
Departamento de Logística (DLO)	319	2%	1%
Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI)	3.134	23%	15%
Departamento de Química Anexo 3 Bloco A	160	1%	1%
Departamento de Química	1.727	12%	23%
Divisão de Áreas Verdes	1	0,01%	0,01%
Divisão de Transportes	535	4%	12%
Escola de Belas Artes	353	2%	3%
Escola de Engenharia	431	3%	3%
Faculdade de Ciências Econômicas (FACE)	617	4%	10%
Inova UFMG	79	1%	1%
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	1.515	11%	9%
Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Descargas Atmosféricas (NDCTD)	72	1%	1%
Praça de Serviços	182	1%	1%
Teatro Universitário	319	2%	1%
Total	13780	100%	100%

Na Tabela 3 está indicada, inicialmente, a maior profundidade máxima atingida na unidade mapeada e, em seguida, o percentual do inventário exposto suscetível ao contato com a água, obtido como resultado da interação entre a sua altura usual de armazenamento ou uso e a profundidade máxima atingida no ambiente em que o item está alocado. É exibido, ainda, a sensibilidade à água dos itens mapeados em função do seu material de composição e o percentual do dano estimado para a parcela do acervo em possibilidade de contato com a água.

Tabela 3 - Dano estimado nos itens expostos para cada unidade mapeada dentro da mancha de inundação.

Unidade	Profundidade máxima atingida (m)	% suscetível ao contato com a água	Sensibilidade à água			% Dano
			Baixo (0-0,3)	Moderado (0,4-0,7)	Alto (0,8-1,0)	
Associação dos Servidores da Universidade Federal de Minas Gerais (ASSUFEMG)	0,87	77%	0%	69%	31%	54%
Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3)	0,92	53%	1%	41%	57%	34%
Colégio Técnico (COLTEC)	1,19	72%	9%	40%	57%	52%
Departamento de Gestão Ambiental (DGA)	1,00	86%	1%	43%	56%	51%
Departamento de Logística (DLO)	0,10	8%	0%	4%	96%	2%
Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI)	1,49	55%	4%	31%	65%	33%
Departamento de Química Anexo 3	1,49	89%	0%	49%	51%	76%
Departamento de Química	1,52	91%	4%	4%	92%	82%
Divisão de Áreas Verdes	0,09	0%	0%	0%	100%	0%
Divisão de Transportes	0,95	82%	0%	53%	47%	91%
Escola de Belas Artes	0,61	50%	1%	53%	46%	40%
Escola de Engenharia	1,51	63%	0%	35%	65%	34%
Faculdade de Ciências Econômicas (FACE)	0,60	29%	0%	56%	44%	35%
Inova UFMG	1,16	47%	1%	25%	73%	10%
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	1,50	82%	1%	40%	59%	68%
Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Descargas Atmosféricas (NDCTD)	0,20	38%	0%	18%	82%	7%
Praça de Serviços	0,61	52%	0%	19%	81%	16%
Teatro Universitário	0,70	33%	1%	16%	83%	26%

Nesse sentido, a tabela evidencia a sensibilidade do dano em função da altura de alocação dos artigos. Destaca-se o alto percentual de dano aos itens alocados na unidade de Divisão de Transportes, dado que a maior parte dos elementos estão posicionados na altura do solo e, portanto, mesmo com uma profundidade máxima intermediária e inferior a outras unidades, a porcentagem do dano estimado é elevada. Ainda, o dano estimado no acervo exposto do Departamento de Química (82%) reflete ameaça significativa para UFMG, quando analisado que 23% do valor monetário cadastrado no acervo exposto está alocado nesta unidade (Tabela 2).

A partir da categorização realizada para os ambientes inseridos nas unidades, estimou-se o índice de sensibilidade em função do contato com a água, estimado em função do material de composição predominante e o percentual do dano determinado em função da sensibilidade de cada item e na exposição ao contato com a água, caso identificado. (Tabela 4).

De maneira semelhante, o risco de danificação aos ambientes acadêmicos foi analisado conforme os diferentes níveis de sensibilidade à água, considerando o conjunto de itens presentes. Entre as tipologias analisadas, as salas dos professores detêm a maior porcentagem suscetível ao contato com a água da inundação, com 96% de suscetibilidade e um dano estimado de 85%. Em relação ao valor patrimonial total mapeado da UFMG, foi aplicada a redução do valor referente ao dano estimado para cada item. Como resultado, o valor residual representa um dano de 58% em

relação ao acervo patrimonial atingido no cenário analisado. Em relação ao patrimônio total cadastrado na UFMG, a perda monetária estimada representa um dano potencial relativo de 3%.

Tabela 4 - Dano estimado nos ambientes em função da tipologia de uso.

Tipologia de uso	% do total de ambientes mapeados	% suscetível ao contato com a água	Sensibilidade à água			% Dano
			Baixo (0-0,3)	Moderado (0,4-0,7)	Alto (0,8-1,0)	
Salas Administrativas	26%	67%	3%	37%	60%	54%
Salas de Aula	22%	66%	4%	52%	45%	48%
Laboratórios	16%	80%	5%	40%	55%	73%
Banheiros	12%	80%	4%	52%	44%	64%
Depósitos	10%	57%	4%	33%	63%	60%
Ambientes Recreativos	4%	58%	0%	56%	44%	39%
Auditórios de Seminários	3%	47%	2%	39%	59%	19%
Sala de Professores	3%	96%	9%	58%	34%	85%
Copa	2%	73%	4%	34%	62%	71%
Bibliotecas	1%	34%	0%	59%	41%	10%
Galpão	1%	20%	0%	0%	100%	5%
Lanchonetes	1%	62%	14%	35%	51%	46%

As análises relacionadas aos estacionamentos e exposição de veículos permitiram estimar em 1220 o número total de veículos potencialmente impactados nos estacionamentos espacialmente distribuídos nas diferentes unidades do Campus (Tabela 5), considerando a ocorrência de um evento em horário de pico (7:00 a 9:00), este tendo sido apontado no estudo de Saadi e Machado (2011).

Tabela 5 - Estimativa das vagas dos estacionamentos potencialmente expostos à inundação.

Unidade	Capacidade	Vagas ociosas	Ocupação média	% Estacionamento atingido	Vagas atingidas
ASSUFEMG	22	0	22	100%	22
Antigo CPDEE	15	3	12	100%	12
Departamento de Logística (DLO)	75	31	44	16%	7
Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI)	30	0	30	100%	30
Departamento de Química Anexo 3 Bloco A	66	12	54	100%	54
Departamento de Química	70	0	70	100%	70
Escola de Belas Artes	73	0	73	79%	58
Escola de Engenharia	629	0	629	73%	459
Faculdade de Ciências Econômicas (FACE)	275	113	162	9%	15
Faculdade de Letras (FALE)	150	0	150	63%	95
Faculdade De Filosofia E Ciências Humanas (FAFICH)	227	0	227	44%	100
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	205	0	205	100%	205
Praça de Serviços	73	0	73	90%	66
Reitoria	195	83	112	24%	27

Em relação ao risco dos automóveis estacionados no campus, a estimativa realizada com base na capacidade de vagas avaliada por Saadi e Machado (2011), e aplicação das curvas profundidade-dano desenvolvidas por USACE (2009), resultou na maior possibilidade de danos para os veículos estacionados no Instituto de Ciências Exatas (ICEX), que apresentou 205 veículos expostos para o cenário analisado, alcançando um dano estimado em 74% do valor exposto (Tabela 6). Apesar da alta quantidade de vagas expostas para a Escola de Engenharia, em função da profundidade máxima atingida, o dano estimado é de 38%. A Praça de Serviços apresentou a maior profundidade dentre os estacionamentos, com dano estimado em 62%.

Tabela 6 - Estimativa do dano nos veículos dos estacionamentos potencialmente atingidos pela inundação.

Unidade	Vagas atingidas	Profundidade máxima atingida (m)	Dano (%)
ASSUFEMG	22	0,76	48%
Antigo CPDEE	12	1,03	60%
Departamento de Logística (DLO)	7	0,09	0%
Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI)	30	0,71	46%
Departamento de Química Anexo 3 Bloco A	54	0,96	58%
Departamento de Química	70	0,64	42%
Escola de Belas Artes	58	0,33	24%
Escola de Engenharia	459	0,87	38%
Faculdade de Ciências Econômicas (FACE)	15	0,01	0%
Faculdade de Letras (FALE)	95	0,37	27%
Faculdade De Filosofia E Ciências Humanas (FAFICH)	100	0,95	52%
Instituto de Ciências Exatas (ICEX)	205	1,55	74%
Praça de Serviços	66	1,62	62%
Reitoria	27	0,86	53%

CONCLUSÕES

A análise de exposição e vulnerabilidade material no Campus Pampulha da UFMG revelou a significativa ameaça representada pela mancha de inundação do Córrego Engenho Nogueira considerada no estudo (SUDECAP, 2022). Na área inundável, foram identificadas 19 edificações, com área total de 123.997,24 m², 14 estacionamentos passíveis de abrigar, segundo Saadi e Machado (2011), 1220 veículos em um horário de pico, 129 salas administrativas, 104 salas de aulas, 6 bibliotecas, 77 laboratórios, 58 banheiros, 11 copas, 14 auditórios de seminários, 14 salas de professores, 3 lanchonetes, 18 ambientes recreativos, 4 galpões e 47 depósitos. Os bens inventariados nos locais que possuíam acervo cadastrado foram classificados segundo tipo de material e sensibilidade à água, demonstrando grande vulnerabilidade material na área de estudos: itens de alta sensibilidade (57%), sensibilidade moderada (39%) e de baixa sensibilidade (4%). Os valores monetários totais expostos apresentaram um risco de depreciação ou perda de 58% para o caso da inundação analisada, atingindo 4,84% do acervo patrimonial da UFMG. Ressalva é feita que esse valor representa uma perda direta de patrimônio, que certamente subestima consideravelmente o valor necessário para uma reparação e substituição material. Além disso, não foram considerados danos intangíveis, como perdas e interrupção de dados, patrimônio cultural e pesquisas, que pode ser objeto de pesquisas futuras. Face à grande quantidade e qualidade de dados apresentada no acervo disponibilizado no inventário da UFMG, destaca-se a viabilidade, com base nos resultados apresentados nesse estudo, de se desenvolver curvas profundidade-dano típicas para algumas categorias de ambientes de uma universidade para o contexto nacional em estudos futuros. Essa proposta contribui para reduzir incertezas em estudos futuros e melhorar a gestão de riscos. Ferramentas como SIG e curvas profundidade-dano podem fundamentar medidas de mitigação, como reforço estrutural, realocação de bens sensíveis e planos de contingência, protegendo o patrimônio da UFMG e garantindo sua resiliência. Por fim, ressalta-se que também é importante se analisar a exposição e vulnerabilidade humana a inundações. O trabalho apresentado em Assis et al. (2025) faz uma análise detalhada desse aspecto para o mesmo estudo de caso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L.V.Q. Construção e avaliação a priori de curvas de danos residenciais diretos tangíveis relacionados a inundações para Minas Gerais. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia, UFMG, Belo Horizonte, 2020.

ASSIS, T.A. et al. Análise da variabilidade espacial e temporal de ocupação humana de um território complexo a risco de inundações: o Campus da UFMG. ABRHydro - ANAIS, 2025.

ELEUTÉRIO, J. C.; HATTEMER, C.; ROZAN, A. A systemic method for evaluating the potential impacts of floods on network infrastructures. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Strasbourg, v. 13, n. 4, p. 983-998, 18 abr. 2013. DOI: 10.5194/nhess-13-983-2013.

Fekete, A. (2019). Critical infrastructure and flood resilience: Cascading effects beyond water. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(5), 1–13. DOI: 10.1002/wat2.1370.

SAADI, A.; MACHADO, M. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG, dez. 2011.

Martínez-Gomariz, E.; Gómez, M.; Russo, B.; Sánchez, P.; Montes, J.A. Methodology for the damage assessment of vehicles exposed to flooding in urban areas. *J Flood Risk Managment*. 2019; 12:e12475. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12475>.

MERZ, B.; KREIBICH, H.; SCHWARZE, R.; THIEKEN, A. (2010). “Review article 'Assessment of economic flood damage’”. *NHESS* 10(8), pp. 1697-1724.

Messner, F.; Meyer, V. (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research. *Flood Risk Management*, 1(2), 82-89.

MIGUEZ, M., GREGÓRIO, L., VERÓL, A. *Gestão de riscos e desastres hidrológicos*, 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2018. 332 p.

SAADI, A.; MACHADO, M. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG, dez. 2011.

SILVA, M. R.; MENDES, T. A importância do patrimônio móvel e imóvel nas universidades públicas brasileiras. *Revista Patrimônio e Memória*, 18(2), 123-140. 2022.

SILVA, T. Z. et al. ABRHydro - ANAIS - HEC-LIFESIM: Revisão teórica e aplicações para estimativa de perda de vida no cenário brasileiro. 2021.

SINDIPEÇAS. Frota circulante de automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus em 2023. São Paulo: Sindipeças, 2023.

SUDECAP. PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS – VOLUME V – BACIA DE DETENÇÃO ENGENHO NOGUEIRA. Belo Horizonte, 2021.

SUDECAP. PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL – PAE Barragem Engenho Nogueira. Belo Horizonte, 2022.

TIMES HIGHER EDUCATION. World University Rankings. 2025.

UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais). Pró-reitoria de Administração: DLO – Departamento de Logística e Serviços. Manual de Patrimônio. UFMG, 2008.

USACE (2009). Economic guidance memorandum, 09-04, generic depth-damage relationships for vehicles. Washington, DC. 9p.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem à CNPq, à CAPES, à FAPEMIG, e à PRPq/UFMG pelo apoio e incentivo à pesquisa. Também agradecem aos órgãos da UFMG e da Prefeitura de Belo Horizonte pelo fornecimento das bases de dados utilizadas nessa pesquisa.