

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **APLICAÇÃO DO HEC-RAS NO MAPEAMENTO DE PERIGO DE INUNDAÇÃO NA ÁREA URBANA DE MURIAÉ-MG**

*Clávia Dias Coelho<sup>1</sup>; Rafael Petruceli Coelho Lima<sup>2</sup>; Leandro Antônio Roque<sup>3</sup>; Leonardo Andrade de Souza<sup>4</sup>; & Eduardo Antônio Gomes Marques<sup>5</sup>*

**Abstract:** This study aimed to use a hydraulic computational model to define flood risk areas in the urban area of the municipality of Muriaé, in the State of Minas Gerais. The hydrodynamic modeling was performed with the HEC-RAS software, using project hydrographs with a return period of 10 years as an upstream boundary condition. The flood risk was classified into four levels (very high, high, medium, and low) based on water depth and velocity. The simulation results allowed delimiting the urban areas most vulnerable to floods, identifying the neighborhoods with the highest risk and the roads that act as runoff corridors.

**Resumo:** O presente estudo teve como objetivo utilizar um modelo computacional hidráulico para a definição de áreas de perigo de inundaçāo na área urbana do município de Muriaé, no Estado de Minas Gerais. A modelagem hidrodinâmica foi realizada com o software HEC-RAS, utilizando hidrogramas de projeto com tempo de retorno de 10 anos como condição de contorno de montante. O perigo de inundaçāo foi classificado em quatro níveis (muito alto, alto, médio e baixo) com base na profundidade e velocidade da água. Os resultados da simulação permitiram delimitar as áreas urbanas mais propensas às inundações, identificando os bairros com maior perigo, bem como as vias que atuam como corredores de escoamento.

**Palavras-Chave** – Modelagem hidrodinâmica; Eventos extremos; HEC-RAS.

### **INTRODUÇÃO**

As inundações são fenômenos que fazem parte do ciclo hidrológico, ocorrendo quando o volume de água excede a capacidade de infiltração e escoamento de uma determinada região. Esses eventos estão entre os desastres mais prejudiciais à sociedade, devido à sua capacidade de provocar perdas humanas, deslocamentos populacionais e danos significativos à infraestrutura urbana, ao patrimônio histórico-cultural e aos ecossistemas locais (UNDRR, 2022; IPCC, 2023).

O crescimento desordenado das cidades superposição de ações antrópicas inadequadas contribuem para o agravamento da frequência e a severidade das inundações. A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, reduz drasticamente a infiltração da água no solo e aumenta o volume do escoamento superficial, favorecendo a rápida elevação dos

<sup>1</sup> Universidade Federal de São João Del-Rei, Rod. MG 443, Km 7 - Fazenda do Cadete, Ouro Branco, MG 36495-000, [clavia.coelho@ujsj.edu.br](mailto:clavia.coelho@ujsj.edu.br)

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, Fazenda do Meio Pé da Serra, s/nº, BR 367, Km 278, Araçuaí, MG, 39600-000, [petruceli@ifimg.edu.br](mailto:petruceli@ifimg.edu.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, [leandroroque1@hotmail.com](mailto:leandroroque1@hotmail.com)

<sup>4</sup> Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, [leonardo@zemlya.com.br](mailto:leonardo@zemlya.com.br)

<sup>5</sup> Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900, [emarques@ufv.br](mailto:emarques@ufv.br)

níveis dos cursos d'água e, consequentemente, a ocorrência de alagamentos e inundações (Müller et al., 2023).

Entre as premissas básicas para o desenvolvimento de um trabalho de gestão de riscos destaca-se à necessidade da elaboração de mapas considerando não apenas os limites das áreas de atingimento, mas, também, a profundidade e velocidade dos processos hidrológicos. Essas são de extrema importância, pois além de permitir a construção de um plano de emergência no caso de uma situação extrema, permitem guiar as futuras expansões urbanas da cidade e o planejamento de ações estruturais visando o controle das inundações (De Moel et. al, 2015).

Previsões de inundação de corpos d'água são tipicamente baseadas em um processo de duas etapas: (1) um modelo hidrológico é usado para determinar os hidrogramas de vazão esperados no local de interesse; e (2) o pico de vazão dessa análise é, então, inserido em um modelo hidráulico de fluxo permanente para determinar os níveis de inundaçāo correspondentes que seriam esperados ao longo do curso do rio, estendendo-se por áreas urbanizadas (Hicks e Peacock, 2005).

Na modelagem hidráulica, um dos modelos mais conceituados para a simulação de inundações é o HEC-RAS, que é um software livre, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos. O HEC-RAS é atualmente capaz de realizar cálculos de perfis unidimensionais e bidimensionais de superfície de água em situações de fluxo permanente ou transitório, em regimes de fluxo subcrítico, supercrítico e misto (USACE, 2022).

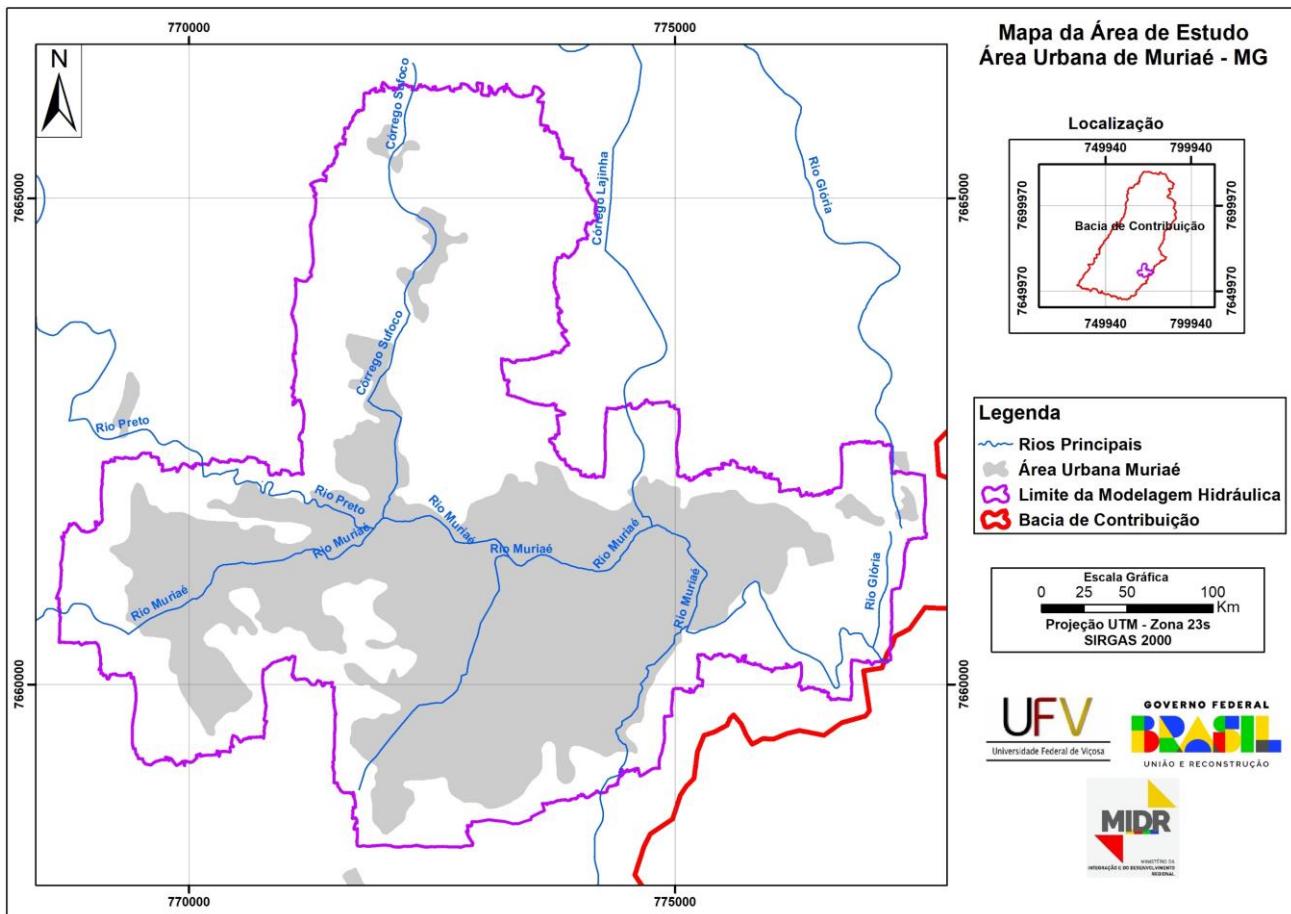
Dessa forma, o presente estudo visa utilizar um modelo computacional hidráulico para a definição de áreas de perigo de inundaçāo na área urbana do município de Muriaé, no Estado de Minas Gerais. Com essa modelagem será possível definir cenários de perigo a partir de diferentes tempos de recorrência, bem como propor soluções para reduzir os impactos e estruturar um possível sistema de alerta para a bacia.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

O município de Muriaé está localizado na zona da mata mineira, na região sudeste do Brasil, e possui área territorial de 841,69 km<sup>2</sup> e população de 104,11 mil habitantes (IBGE, 2022; CENSO, 2022). A sua área urbana está situada às margens das rodovias BR-116 e BR-393. A área de estudo do presente trabalho compreende aproximadamente 3.344,12 ha do perímetro urbano do município, como apresentado na Figura 1. O município está totalmente inserido na bacia do rio Paraíba do Sul e os principais cursos d'água que cortam o município são os rios Muriaé (afluente do rio Paraíba do Sul) e Glória (afluente do Muriaé).

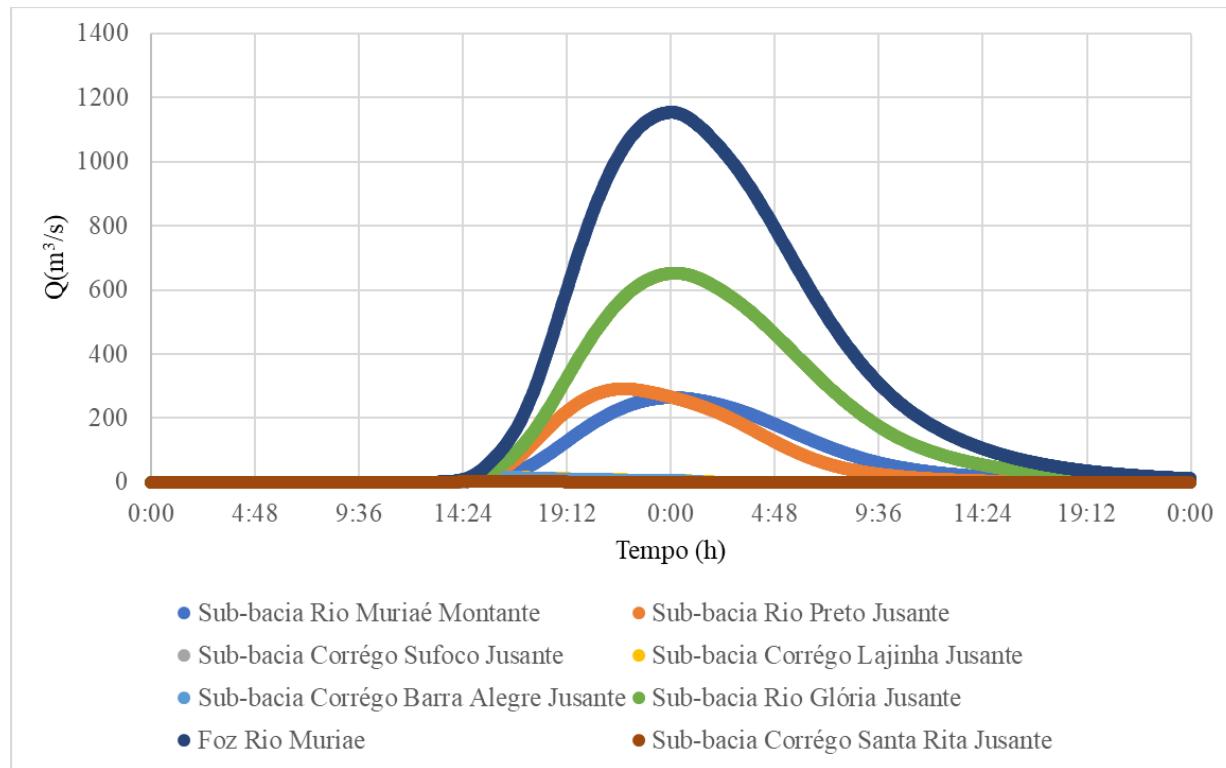
Figura 1 – Área de estudo: área urbana do município de Muriaé - MG



## Hidrogramas de Vazão

A modelagem hidrodinâmica desenvolvida neste estudo foi fundamentada nos resultados hidrológicos previamente obtidos por Coelho et al. (2025), os quais aplicaram o modelo conceitual e semi-distribuído HEC-HMS (versão 4.8) à bacia do rio Muriaé. Foram adotados os hidrogramas de projeto com tempo de retorno de 10 anos, gerados a partir dos hietogramas de 24 horas, conforme apresentado na Figura 2. Essa escolha se baseia no resultado da modelagem hidrológica, que indicou que as chuvas com duração de 24 horas produziram as maiores vazões de pico na bacia.

Figura 2 – Hidrogramas de vazão máxima em confluências e foz do rio Muriaé, para o período de retorno de 10 anos



## Modelagem Hidrodinâmica

Para a simulação da propagação de vazões no trecho urbano do município de Muriaé, foi utilizado o modelo hidráulico HEC-RAS 6.3.1, que incorpora a formulação bidimensional das equações de Saint-Venant, permitindo a representação distribuída do escoamento superficial em superfícies complexas (USACE, 2022). Essa abordagem considera as direções potenciais de fluxo no plano horizontal, sendo adequada para áreas urbanizadas com múltiplos caminhos preferenciais de escoamento e interações entre canais e a planície de inundação. O HEC-RAS, desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers, é amplamente empregado em estudos de propagação de cheias, delimitação de áreas inundáveis e apoio ao planejamento de recursos hídricos.

Na modelagem bidimensional (2D), a superfície da área de estudo foi discretizada em uma malha computacional de células regulares com resolução espacial de  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ , sobre a qual foram resolvidas as equações de movimento e continuidade. Essa resolução permitiu representar adequadamente a topografia detalhada e as variações no escoamento, capturando os efeitos da ocupação urbana e da rugosidade local sobre o comportamento hidrodinâmico da bacia.

Além da topografia natural, representada por meio de um Modelo Digital do Terreno (MDT) obtido a partir de dados LiDAR com resolução espacial de 0,5 m, foram inseridas no modelo 12 estruturas hidráulicas representando trechos canalizados dos cursos d'água no perímetro urbano. Essas estruturas incluem bueiros e galerias subterrâneas, fundamentais para a condução da vazão em áreas densamente ocupadas. A localização das estruturas está indicada na Figura 3, e suas principais características geométricas e hidráulicas estão resumidas na Tabela 1. Essa representação foi essencial para assegurar o realismo hidrodinâmico da simulação, considerando os condicionantes físicos impostos pela infraestrutura urbana existente.

Figura 3 – Localização das estruturas hidráulicas inseridas no modelo hidrodinâmico

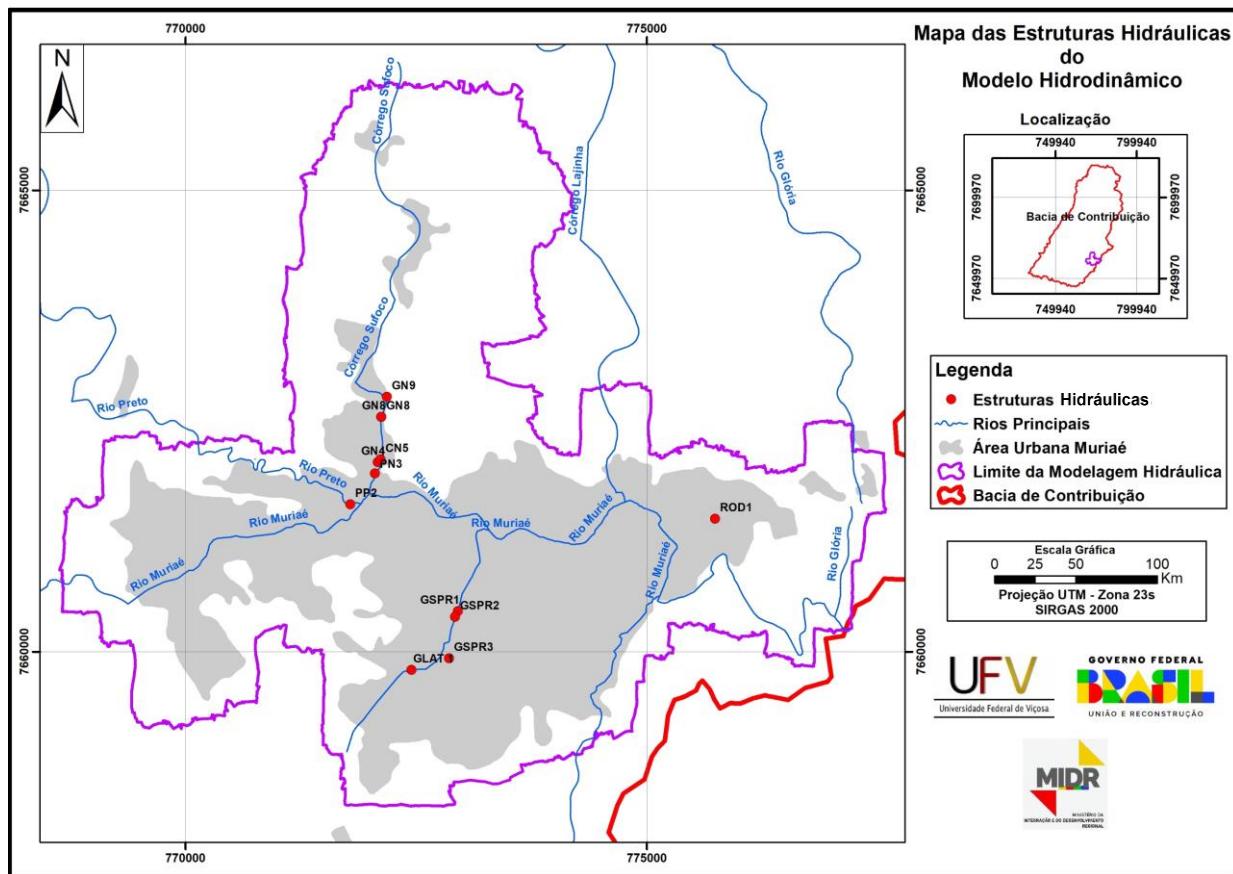


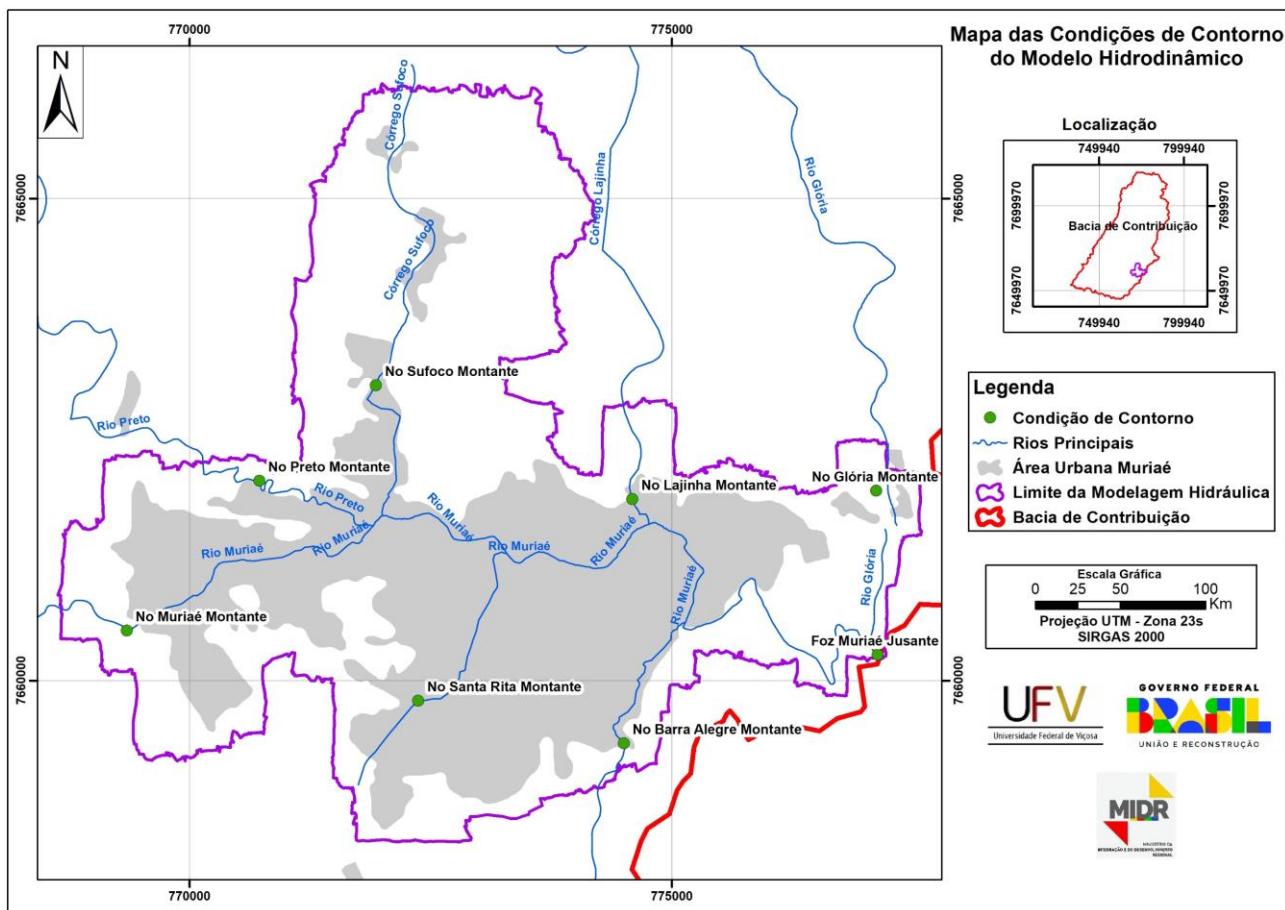
Tabela 1 – Características das estruturas hidráulicas inseridas no modelo hidrodinâmica

Estrutura Hidráulica	Diâmetro (m)	Altura (m)	Largura (m)	Extensão (m)	Coef. de Manning	Lat	Long
PP2	-	4,6	16,0	41,3	0,015	21°7'36"S	42°23'00"W
SAD1	-	3,5	3,0	94,4	0,015	21°7'28"S	42°22'52"W
PN3	-	4,0	2,0	12,7	0,015	21°7'25"S	42°22'51"W
GN4	-	3,4	3,0	44,1	0,015	21°7'21"S	42°22'50"W
GN5	-	3,5	3,5	157,8	0,015	21°7'20"S	42°22'49"W
GN8	-	2,0	3,0	132,8	0,015	21°7'5"S	42°22'49"W
GN9	-	2,0	3,0	76,6	0,015	21°6'58"S	42°22'47"W
GSPr1	-	5,0	3,5	1055,6	0,015	21°8'13"S	42°22'19"W
GSPr2	-	2,8	3,0	44,05	0,015	21°8'15"S	42°22'20"W
GSPr3	-	2,0	3,0	36,68	0,015	21° 8' 30"S	42° 22' 22"W
GLAT 1	1,5	-	-	243,1	0,015	21°8'34"S	42°22'36"W
ROD1	1,0	-	-	67,9	0,015	21°7'39"S	42°20'43"W

23 a 28 de novembro de 2025 - Vitória - ES

A condição de contorno de montante utilizada na simulação hidrodinâmica corresponde aos hidrogramas de vazão máxima previamente apresentados no tópico *Hidrogramas de Vazões*, gerados por meio da modelagem hidrológica no HEC-HMS para as sub-bacias de cabeceira dos principais afluentes do rio Muriaé, considerando um tempo de retorno de 10 anos. Esses hidrogramas foram inseridos como entradas no modelo HEC-RAS, representando os eventos de cheia críticos no domínio analisado. Para a condição de contorno de jusante, adotou-se a profundidade normal, calculada com base em uma declividade média do talvegue natural de aproximadamente 0,001 m/m, valor representativo das características geomorfológicas do trecho inferior da bacia. A localização das condições de contorno inseridas no modelo está ilustrada na Figura 4.

Figura 4 – Localização das condições de contorno



## Perigo de Inundação

O perigo de inundação foi estimado com base em uma metodologia que considera a probabilidade de ocorrência e a intensidade dos eventos, classificando o perigo em quatro níveis. Entre os impactos associados às inundações, os afogamentos se destacam como a principal causa de mortes, especialmente durante eventos extremos. Dessa forma, torna-se essencial compreender como os seres humanos reagem a diferentes condições de escoamento superficial.

Para essa avaliação, foram utilizados dois parâmetros hidráulicos: profundidade (d) e velocidade (v) da água. Estudos indicam que indivíduos de porte médio podem perder a estabilidade em lâminas d'água com aproximadamente 0,9 m de profundidade e 0,6 m/s de velocidade (FEMA, 1979). A partir desses parâmetros, foi adotada uma abordagem adaptada de Aleotti et al. (2024), a qual permite a classificação do perigo de inundaçāo em quatro categorias, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do perigo de inundaçāo (adaptado de Aleotti et al., 2024).

Perigo de Inundaçāo	Condição
Baixa	$d < 0,50$ ou $v < 0,5$
Média	$0,5 \leq d < 1,0$ ou $0,5 \leq v < 1,0$
Alta	$1,0 \leq d < 2,0$ ou $1,0 \leq v < 2,0$
Muito alta	$d \geq 2,0$ ou $v \geq 2,0$

(Legenda: d = profundidade [m]; v = velocidade [m/s])

A classificação foi aplicada a partir dos valores simulados de profundidade e velocidade da água para o cenário de cheia com período de retorno de 10 anos. A análise foi conduzida em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio de funções condicionais aplicadas aos mapas raster gerados pelo modelo hidráulico. Os resultados possibilitam a identificação de áreas críticas sujeitas a inundações, contribuindo para ações de prevenção, planejamento urbano e gestão de riscos.

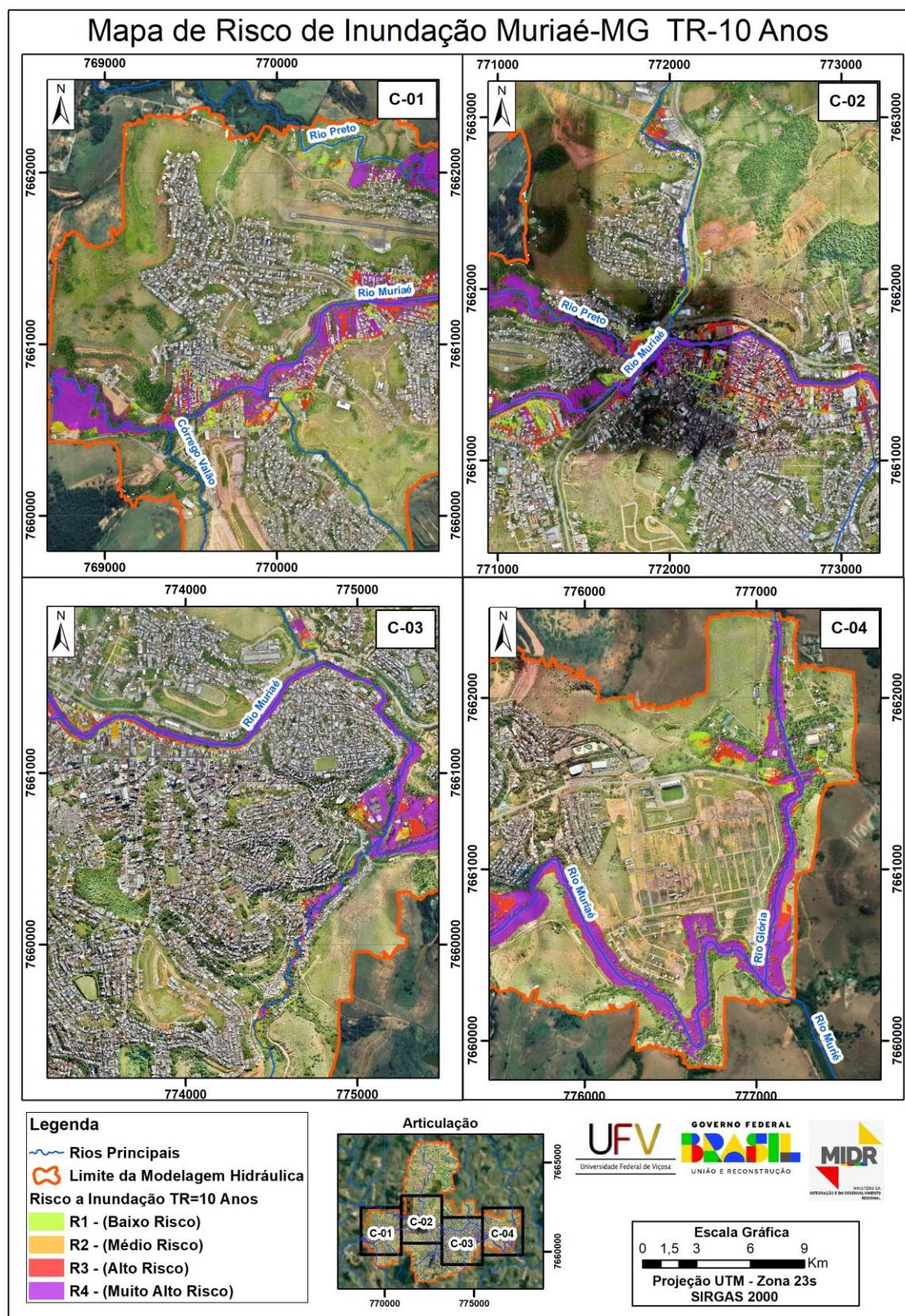
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mancha de inundaçāo obtida abrangeu uma área total de aproximadamente 2,0 km<sup>2</sup>. A partir da variação dos parâmetros de profundidade e velocidades de escoamento obtidos com a modelagem, foi possível classificar 64% da área afetada como de muito alto perigo, 17% como de alto perigo, 10% como de médio perigo e 9% como de baixo perigo. A Figura 4 retrata a espacialização dessas zonas de perigo, evidenciando os setores urbanos mais propensos à ocorrência de inundações severas. Para facilitar a interpretação e proporcionar uma visualização mais detalhada, o mapeamento foi dividido em quatro cenas, correspondentes a diferentes trechos do perímetro urbano analisado.

As áreas mais próximas ao leito do rio Muriaé, especialmente nos bairros Dornelas, Napoleão, José Cirilo, Barra e partes do Centro, foram as mais impactadas. Nessas regiões, a água alcançou profundidade de inundaçāo maiores que 2,0 m ou velocidade de escoamento maiores que 2,0 m/s, configurando muito alto perigo de inundaçāo, com potencial para danos materiais e riscos à vida. Os mapas de perigo (Figura 4) mostram claramente que esses setores urbanos concentram a maior severidade dos impactos.

Nas áreas planas da cidade, mesmo onde a velocidade do escoamento foi menor, identificaram-se zonas suscetíveis ao acúmulo de água, principalmente em trechos com pouca declividade e drenagem limitada. Esse comportamento é característico de regiões com topografia suavemente ondulada, nas quais o escoamento superficial tende a ser mais lento e disperso, favorecendo a concentração de lâminas d'água. Nessas condições, ainda que a profundidade simulada seja moderada, a baixa capacidade de escoamento pode intensificar os impactos, especialmente em zonas residenciais e comerciais.

Figura 4 – Mapa de perigo a inundações em Muriaé-MG, associado ao TR de 10 anos (Cenas 01 a 04)



Outro aspecto relevante foi a atuação das estruturas hidráulicas urbanas, como galerias pluviais e bueiros, representadas no modelo por 12 elementos. Algumas delas, como a galeria GSPR1, com mais de 1 km de extensão, auxiliaram na condução do escoamento, porém demonstraram sinais de saturação frente ao volume simulado. Isso indica que, embora a infraestrutura urbana contribua para reduzir os efeitos da cheia, há limitações na capacidade atual de drenagem, especialmente em cenários de eventos extremos.

Por fim, a simulação revelou que muitas vias urbanas funcionam como corredores naturais de escoamento, canalizando a água superficial em direção a pontos mais baixos da cidade. Essa dinâmica reforça a necessidade de integrar a topografia urbana ao planejamento de drenagem, bem como de considerar essas rotas preferenciais no desenvolvimento de sistemas de alerta e evacuação em caso de inundações severas.

## CONCLUSÕES

A modelagem hidrodinâmica aplicada a área urbana do município de Muriaé permitiu delimitar as áreas urbanas mais propensas às inundações, identificando bairros de alto perigo próximos ao rio e vias que canalizam o escoamento superficial. Os resultados fornecem um diagnóstico para o planejamento urbano e a gestão de riscos, orientando ações para proteger a população e a infraestrutura.

A análise também revelou que, embora as estruturas de drenagem existentes auxiliem no escoamento, sua capacidade é limitada em eventos extremos. Isso aponta para a necessidade de aprimorar a infraestrutura urbana considerando a potencial intensificação dos eventos pelas mudanças climáticas.

Este estudo oferece subsídios técnicos para políticas públicas e medidas de mitigação de inundações no município de Muriaé. Os mapas de perigo podem orientar a expansão urbana, o uso do solo e a implementação de sistemas de alerta, aumentando a resiliência da cidade frente a eventos de inundações.

## REFERÊNCIAS

CANÇADO, V.; BRASIL, L.; NASCIMENTO, N.; GUERRA, A. *Flood risk assessment in an urban area: Measuring hazard and vulnerability*. In: 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK. Proceedings... Edinburgh: [s.n.], 2008. p. 1–10.

COELHO, C. D.; LIMA, R. P. C.; ROQUE, L. A.; SOUZA, L. A.; MARQUES, E. A. G. Aplicação do modelo HEC-HMS na análise hidrológica de eventos extremos na bacia do rio Muriaé. In: XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025, Vitória-ES. Anais... Porto Alegre: ABRHidro, 2025. 13 p.

DE MOEL, H.; JONGMAN, B.; KREIBICH, H.; MERZ, B.; PENNING-ROSELL, E.; WARD, P. J. Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 20, n. 6, p. 865–890, 2015.

EXCIMAP. *Handbook on good practices for flood mapping in Europe. European Exchange Circle on Flood Mapping*. Bruxelas: [s.n.], 2007.

FEMA. *The floodway: a guide for community permit officials*. Federal Emergency Management Agency: US Federal Insurance Administration, Community Assistance Series, No. 4, 1979.

HICKS, F. E.; PEACOCK, T. Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. *Canadian Water Resources Journal*, v. 30, n. 2, p. 159–174, 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha Municipal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 20 maio 2025.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Genebra: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-synthesis-report/>. Acesso em: 20 maio 2025.

MÜLLER, A.; SILVA, C. M.; ROCHA, L. F. Urbanização e risco de inundaçao: impactos da impermeabilização na bacia hidrográfica urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 28, n. 1, p. 1–15, 2023.

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022*. Genebra: UNDRR, 2022. Disponível em: <https://www.undrr.org/gar2022>. Acesso em: 20 maio 2025.

USACE – United States Army Corps of Engineers. *HEC-RAS River Analysis System: 2D Modeling User's Manual, Version 6.0*. Davis, CA: USACE, 2022.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR) pelo apoio financeiro ao projeto sob o qual esta pesquisa foi realizada.