REVISTA Mundi
Engenharia, Tecnologia e Gestão
INSTITUTO FEDERAL Paraná

MODELAGEM HIDRODINÂMICA DA INUNDAÇÃO DE MAIO 2024 NA CIDADE DE LAJEADO, RIO GRANDE DO SUL-BRASIL

HYDRODYNAMIC MODELING OF THE MAY 2024 FLOOD IN THE CITY OF LAJEADO, RIO GRANDE DO SUL-BRAZIL

Leonidas Arias Baltazar[1]
Daniela Buske[2]
Régis Sperotto de Quadros[3]
Claus Haetinger[4]
Sofia Royer Moraes[5]

Resumo: Mudanças climáticas com chuvas extremas são cada vez mais frequentes e intensas no Rio Grande do Sul (RS), causando enchentes e inundações que atingem áreas urbanas e rurais do Estado. Em maio de 2024, houve o maior desastre hidrológico do RS, com a maior inundação registrada na cidade de Lajeado, no Vale do Taquari (VT), tanto em magnitude, como em prejuízos materiais e perdas de vidas. O objetivo deste estudo foi avaliar o mapeamento desta inundação, por meio de simulações hidrodinâmicas, com uso do *River Analysis System do Hydrologic Engineering Center* - HEC RAS 1D e *RAS Mapper*, a partir de um modelo digital de terreno (DEM) de 12,5 m de resolução espacial e dados hidrológicos por telemetria do rio Taquari. A abordagem matemática é baseada nas equações de Saint-Venant e as perdas de energia avaliadas por atrito, segundo a equação de Manning; o passo de tempo computacional da simulação foi de 1min. A mancha de inundação simulada ficou próxima aos pontos de controle observados em campo, com média de 42,9 m de erro de distância horizontal. Esses resultados indicam uma performance adequada do modelo com HEC RAS 1D, podendo ser aplicado à previsão de inundações futuras para seu gerenciamento.

Palavras-chave: Modelagem Hidráulica. HEC RAS 1D. Enchentes. Manchas de Inundação. Bacia Hidrográfica Taquari-Antas.

Abstract: Climate change with extreme rainfall is becoming increasingly frequent and intense in Rio Grande do Sul (RS), causing floods that affect both urban and rural areas of the state. In May 2024, the largest hydrological disaster occurred in RS, with the highest flood recorded in the city of Lajeado, in the Taquari Valley (VT), both in magnitude, material damages, and loss of lives. The aim of this study was to assess the mapping of this flood through a hydrodynamic simulation using the Hydrologic Engineering Center's River Analysis System - HEC RAS 1D with RAS Mapper, based on a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 m and hydrological data via telemetry from the Taquari River. The mathematical approach is based on the Saint-Venant equations, and energy losses are evaluated by friction according to the Manning

[1] Dr. em Recursos Hídricos, UFPel, leonidasariasb@gmail.com
[2] Dra. em Engenharia Mecânica, UFPel, danielabuske@gmail.com
[3] Dr. em Matemática Aplicada, UFPel, quadros99@gmail.com
[4] Dr. em Matemática Pura, UFPel, claus.haetinger@gmail.com
[5] Mestre em Sensoriamento Remoto, UNIVATES, smoraes1@univates.br

equation; the computational time step of the simulation was 1 minute. The simulated flood extent was close to the control points observed in the field, with an average horizontal distance error of 42.9 m. These results indicate an adequate performance of the model with 1D HEC-RAS, and it can be applied for predicting future floods for management purposes.

Keywords: Hydraulic Modeling. HEC-RAS 1D. Floods. Flood plains. Taquari-Antas Watershed.

1 INTRODUÇÃO

O impacto das mudanças climáticas tem sido notável no mundo todo, resultando em eventos climáticos mais intensos, como as chuvas extremas, que frequentemente provocam enchentes e inundações (COLLISCHONN *et al*., 2025; SILVA *et al*., 2024) que podem causar devastações com perdas de vidas, afetando propriedades e infraestruturas (MEHTA *et al*., 2022). No Sul do Brasil, no Rio Grande do Sul (RS), esse fenómeno tem se tornado mais comum nos últimos anos, afetando tanto as áreas urbanas quanto as rurais (ALVALÁ *et al*., 2024). Um caso emblemático foi o desastre climático ocorrido em abril-maio de 2024 no RS, que gerou a maior inundação já registrada no município de Lajeado, no Vale do Taquari (VT), superando as enchentes de 2023 e 1941, tanto em termos de intensidade quanto em perdas de vidas e danos materiais (COLLISCHONN *et al*., 2025).

No VT, as inundações são resultado de fatores naturais inerentes à bacia do rio Taquari-Antas, porém, conforme Diedrich *et al*. (2010), a ação antrópica tem agravado sua severidade, aumentando os impactos em áreas urbanizadas, causando prejuízos materiais e socioeconômicos expressivos, estimados em milhões de reais a cada evento. As cidades mais afetadas incluem Muçum, Encantado, Roca Sales, Colinas, Arroio do Meio, Lajeado, Estrela, Cruzeiro do Sul, Bom Retiro do Sul e Taquari, sendo Lajeado e Estrela os municípios com maiores danos, devido à elevada ocupação em áreas suscetíveis a inundações.

O monitoramento hidrológico da bacia do Taquari-Antas tem sido conduzido por meio de estações pluviométricas e fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA) desde a década de 1940. Em Lajeado e Estrela, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e seu órgão antecessor (DNAEE) registraram os níveis das inundações entre 1940 e 1986. A partir de 1980, com a instalação da Barragem Eclusa de Bom Retiro do Sul e do Porto Fluvial de Estrela, passaram a ser realizadas medições sistemáticas do nível do rio Taquari, inicialmente de forma manual e, posteriormente, com linígrafos automáticos. Entre 1940 e 2024, houve ocorrência de mais de 100 enchentes em uma média superior a um evento por ano (MORAES *et al*., 2024). Estudos hidrológicos

relevantes sobre a bacia do rio Taquari-Antas podem ser vistos em Eckhardt (2008); Diedrich *et al*. (2010); Oliveira *et al*. (2017); Moraes *et al*. (2023); dentre outros.

As inundações sem precedentes de abril a maio de 2024 no RS afetaram mais de 90% do estado, deslocando centenas de milhares de pessoas e causando 172 mortes humanas (MARENGO *et al*., 2024). O fenômeno El Niño Oscilação Sul foi considerado importante para explicar a variabilidade nas chuvas observadas, consistente com pesquisas que mostram que eventos anteriores de fortes chuvas na área ocorreram durante anos de El Niño. As frentes frias, que trazem chuvas, permaneceram estacionadas no sul do Brasil, uma vez que não puderam se mover para o centro, devido ao bloqueio atmosférico com ar quente e seco e às temperaturas mais altas naquela região (MARENGO *et al*., 2024; VAN *et al*., 2025).

A inundação na cidade de Lajeado foi desencadeada por fortes chuvas na Bacia do Taquari Antas, com acumulados de 529,8 mm em abril e 641,8 mm em maio, sendo que, entre 27 de abril e 02 de maio, o acumulado medido pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas da Univates (NIH), em Lajeado, foi de 538 mm, levando a níveis recordes de 33,66 m em 2 de maio, valores mais altos que de inundações anteriores, de 2023 e 1941 (MARCUZZO *et al*., 2024). As chuvas de abril e maio de 2024 na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas alcançaram registros na ordem de 1000 mm em muitos municípios à montante da bacia.

Diante da crescente ocorrência e severidade desses eventos, este estudo busca avaliar o mapeamento da inundação de maio de 2024 em Lajeado-RS, por meio de simulações hidrodinâmicas com uso do HEC RAS 1D e do RAS Mapper.

2 DESENVOLVIMENTO

O HEC RAS é um modelo numérico de simulação hidrodinâmica para escoamento permanente, quase-permanente e não permanente, uni e bidimensional, com regimes subcríticos, críticos e supercríticos, o qual tem sido amplamente utilizado para simular cheias e inundações, além do uso em outras

aplicações hidráulicas. Modelos unidimensionais (1D) são usualmente aplicados a simulações de escoamento em rios, enquanto modelos bidimensionais (2D), a águas rasas. Já os modelos tridimensionais (3D) permitem a análise com a variação da profundidade da água (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2024).

A abordagem matemática deste estudo é baseada nas equações de Saint-Venant (1D) e nas equações de águas rasas (SWEs - 2D). As de Saint-Venant (1D) são um modelo matemático que descreve o fluxo de um fluido em canais abertos, largamente utilizadas para prever o comportamento de ondas de cheia. São resolvidas por métodos numéricos, em geral, diferenças finitas, e derivadas dos princípios de conservação de massa e quantidade de movimento, e deduzidas a partir das equações bidimensionais de águas rasas, que também são conhecidas como equações de Saint-Venant (2D) (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2024). Elas consistem em duas equações: a equação da continuidade $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$ e a equação da quantidade de movimento (Equação 1).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A} + g\frac{A^2}{2B}\right) + gA\frac{\partial z}{\partial x} + gS_f = 0 \quad (1)$$

sendo: A a área molhada (secção transversal do fluxo), Q a vazão volumétrica (Q = A · v), onde v é a velocidade média do fluxo, t o tempo, x a coordenada ao longo do comprimento do canal, g a aceleração gravitacional, B a largura da superfície livre do fluxo, z a elevação do leito do canal e S_f a declividade de energia devido às perdas por atrito.

As perdas de energia foram avaliadas por atrito, segundo a equação de Manning e o coeficiente de contração/expansão na secção, que é multiplicado pela mudança na carga de velocidade. A equação de Manning é $V = \frac{1}{\eta}R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}$, em que: v é velocidade média do escoamento (m/s), η é o coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional), R é o raio hidráulico (m), definido como $R = \frac{A}{P}$, onde A é a área molhada e P é o perímetro molhado, e S é a declividade da linha de energia (adimensional), é amplamente utilizada na hidráulica para estimar a velocidade média de escoamento em canais abertos, com base na rugosidade, declividade e dimensões do canal.

Para situações do perfil da superfície da água rapidamente variado, é utilizada a equação do momento (também conhecida como a equação da quantidade de movimento).

Esta Equação (2), em canais abertos, é uma forma fundamental da segunda lei de Newton, aplicada ao escoamento de fluidos.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\frac{\partial z}{\partial x} + gA(S_f - S_0) = 0 \quad (2)$$

Nesta equação, os termos $\frac{\partial Q}{\partial t}$ indicam a variação temporal da inércia local, $\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)$ a variação espacial por convecção, $gA\frac{\partial z}{\partial x}$ a força devido à pressão hidrostática, e $gA(S_f - S_0)$ a diferença entre forças resistivas (perdas) e forças de gravidade (declividade do fundo) (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2024).

Para evitar a instabilidade no modelo em relação ao passo de tempo computacional, foi utilizada a equação do número de Courant (C) (Equação 3) formulada por Courant, Friedrichs e Lewy (1928), expressada na seguinte forma:

$$C = V\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 1 \quad (3)$$

onde Δt representa a variação temporal (em segundos) e Δx a variação espacial (em metros).

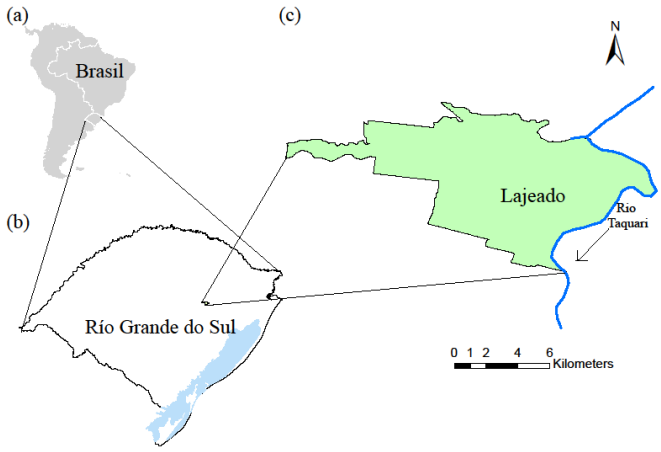
2.1 Área de estudo

O município de Lajeado constitui a área de estudo desta pesquisa, situando-se na região centro-leste do RS. Insere-se na região geopolítica do VT e está localizado na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas (Figura 1). A população é de 97.432 habitantes (IBGE, 2023).

Em Lajeado, a cota de referência ou nível de água zero do rio Taquari é estabelecida em 13 m, sendo que um evento de inundação é caracterizado quando o nível do rio ultrapassa a cota altimétrica de 19 m, isto é, um acréscimo de 6 m em relação ao nível base (DIEDRICH *et al*., 2010; MORAES, 2015). Embora não exista uma série histórica contínua das vazões observadas, o município conta com um registro histórico das inundações, que abrange medições não sistemáticas (níveis históricos) e dados sistemáticos obtidos por meio de réguas linimétricas e linígrafos automáticos. Esses registros

documentam tanto a data de ocorrência quanto o nível máximo atingido em cada inundação desde 1940 (MORAES, 2024).

Figura 1. (a) Localização da área de estudo no Brasil e na América do Sul, (b) no RS, (c) no município de Lajeado.

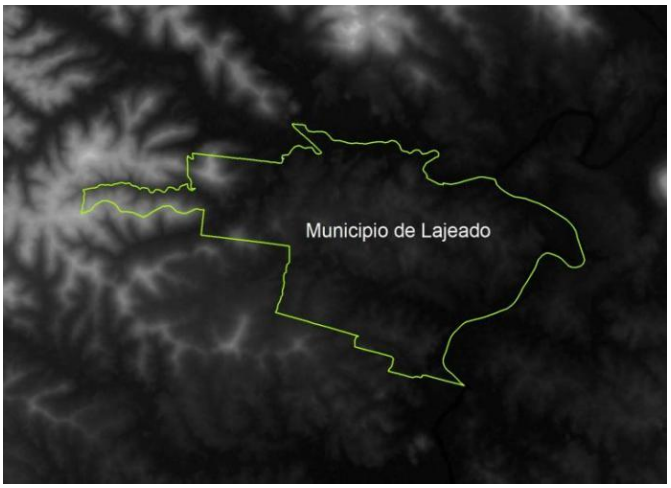


Fonte: Dos Autores.

2.2 Metodologia

Para o mapeamento da inundação foi utilizado o HEC RAS 1D v6.5, a partir de um modelo digital de terreno (DEM) da imagem satelital de ALOS PALSAR (JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY; MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, 2011) com 12,5 m de resolução espacial (Figura 2), e dados de vazão da Estação Estrela no Rio Taquari, da rede telemétrica de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025) com variação de tempo de 15 min (Figura 3). Observou-se uma vazão pico de 23.472,37 $m^3 s^{-1}$ e nível da água de 33,66 m em 02 de maio, às 14h, além de ter acesso aos dados de cotas rastreadas ou niveladas na cidade de Lajeado, como pode se observar na Tabela 1 (MARCUZZO *et al.*, 2024).

Figura 2. Modelo digital de terreno DEM do Municipio de Lajeado-RS.



Fonte: JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY; MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY (2011).

Figura 3. Hidrograma da Estação Fluviométrica Estrela, Rio Taquari (cód. 86879300).

Fonte: ANA (2025).

Primeiramente, criou-se a geometria do trecho do rio Taquari e suas secções transversais no RAS Mapper do HEC RAS, utilizando coeficientes de rugosidade de Manning η = 0.030 (Chow, 1973). Com dados de fluxo não permanente do hidrograma da ANA, foi realizada a simulação hidrodinâmica entre 25 de abril e 7 de maio de 2024, com passo de tempo computacional fixo de 1 min.

Tabela 1. Dados de cotas rastreadas e/ou niveladas, no município de Lajeado/RS.

Nº	Direção UTM E	Direção UTM N	Marcas de cheia
1	408182,31	6743318,38	MCL04
2	408084,39	6742894,36	MCL05
3	408587,80	6741898,82	MCL06
4	409127,27	6742237,06	MCL07
5	408553,06	6741312,93	MCL08
6	408281,48	6740825,11	MCL09
7	406408,51	6740410,55	MCL10
8	406439,19	6740341,24	MCL11
9	406378,75	6740226,23	MCL12
10	406450,67	6740168,03	MCL13
11	406588,16	6740128,42	MCL14
12	406546,82	6740002,97	MCL15

Fonte: MARCUZZO *et al*. (2024).

2.3 Resultados e discussões

Após a simulação hidráulica do rio Taquari no trecho de Lajeado (Figura 4 (a)), foi obtida a mancha de inundação que afetou áreas rurais e urbanas do município na margem direita do rio (Figuras 4 (b), 5 (a) e (b)), e no centro da cidade, perto da Prefeitura Municipal, além da ponte que liga as cidades de Estrela a Lajeado, na BR 386 (Figura 6 (a) e (b)). Os mesmos pontos que foram contrastados com os das cotas rastreadas ou niveladas no município de Lajeado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) (MARCUZZO *et al*., 2024) (Tabela 1) indicados com pontos de cor verde no mapa. Observa-se nas Figuras 5 (a) e (b) e 6(a) e (b), que a inundação máxima atingida no dia 02 de maio ficou próxima às cotas registradas pelas equipes de campo do SGB no decorrer da inundação.

A mancha de inundação foi validada comparando com 12 pontos de controle (MCL04 a MCL15), observados em campo (Figura 5 (b)), medindo em metros cada ponto georreferenciado ao limite mais próximo da mancha máxima (Tabela 2), obtendo-se em média 42,9 m de erro de distância horizontal e um desvio padrão de 22,5 em torno de sua média.

Figura 4. Território do município de Lajeado, antes da inundação (a) e com a mancha simulada da inundação (b).

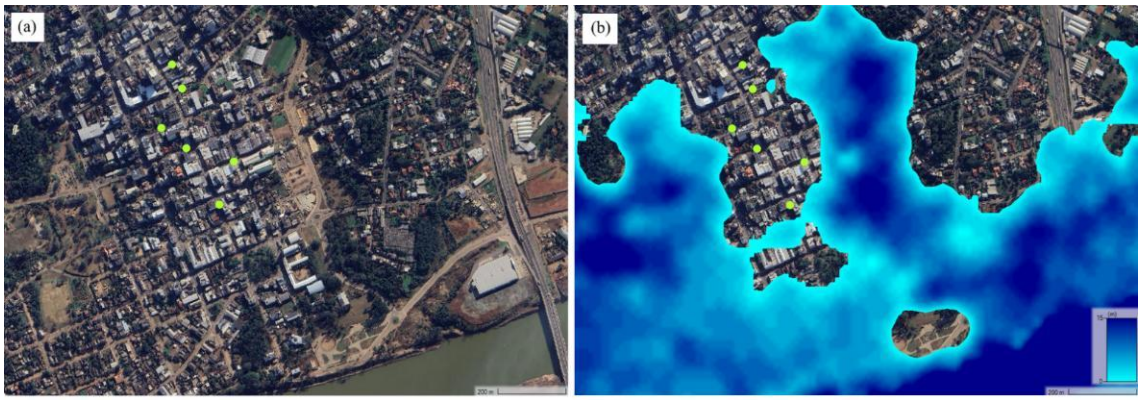
Fonte: Dos Autores.

Figura 5. Margens do rio Taquari em Lajeado, DEM ALOS PALSAR 2011 (a) e com a mancha simulada da inundação (b).

Fonte: Dos Autores.

Os resultados indicam um desempenho adequado do modelo HEC RAS 1D para o hidrograma utilizado na simulação hidrodinâmica. Ressalta-se, contudo, que a vazão de pico observada de 23.472,37 m^3/s pode ter sido subestimada, devido às incertezas associadas à extrapolação da curva-chave nos valores que ultrapassaram os limites da calha do rio.

Figura 6. Centro urbano de Lajeado e localização da ponte sobre o Rio Taquari na BR 386, antes da inundação (a) e após da inundação (b).



Fonte: Dos Autores.

Tabela 2. Validação dos pontos de controle com a mancha de inundação simulada.

Ponto de controle	Erro horizontal (m)
MCL04	44,1
MCL05	71,1
MCL06	62,3
MCL07	37,9
MCL08	19,3
MCL09	18,6
MCL10	53,5
MCL11	32,3
MCL12	45,3
MCL13	62,8
MCL14	39,4
MCL15	27,6

Fonte: Dos Autores.

2.4 Conclusões

A modelagem hidrodinâmica com HEC-RAS 1D desenvolvida neste estudo demonstrou viabilidade técnica para o mapeamento da inundação histórica de maio de 2024 na cidade de Lajeado. O modelo, fundamentado nas equações de Saint-Venant e utilizando dados de telemetria do rio Taquari, apresentou erro médio de distância horizontal de 42,9 m na delimitação da mancha de inundação quando comparado aos pontos de controle observados

em campo. A resolução espacial de 12,5 m no modelo digital de terreno, combinada ao passo de tempo computacional de 1 minuto, mostrou-se ferramenta robusta para análise de eventos extremos na região.

O evento de maio de 2024 atingiu cota de 33,66 m, superando todos os registros históricos das últimas oito décadas, incluindo as severas inundações de 1941 e 2023. Isso evidencia a crescente vulnerabilidade de Lajeado e dos demais municípios do Vale do Taquari frente à intensificação dos eventos hidrológicos extremos. A região apresenta uma frequência de ocorrência de cheias superior a um evento por ano. Fatores naturais inerentes à bacia hidrográfica do Taquari-Antas sempre estiveram presentes, no entanto, a urbanização em áreas de risco expõe as famílias à suscetibilidade de ocorrência de desastres naturais.

A fragilidade das áreas urbanas no Vale do Taquari resulta principalmente da elevada ocupação em zonas de planície de inundação. Lajeado e Estrela concentram os maiores danos, mas municípios como Muçum, Encantado, Roca Sales, Colinas, Arroio do Meio, Cruzeiro do Sul, Bom Retiro do Sul e Taquari também experimentam impactos recorrentes. Os acumulados pluviométricos de 529,8 mm, em abril, e 641,8 mm, em maio de 2024, com 538 mm concentrados em apenas seis dias, ilustram a relação com mudanças climáticas globais e fenômenos como El Niño.

A metodologia desenvolvida transcende o caso específico de Lajeado, constituindo referencial replicável a outros municípios da bacia do Taquari-Antas e demais bacias hidrográficas brasileiras. A modelagem hidrodinâmica possibilita não apenas a reconstituição de eventos históricos, mas fundamentalmente a simulação prospectiva de cenários futuros, viabilizando elaboração de mapas de risco e identificação de áreas críticas. Essa capacidade preditiva torna-se essencial para subsidiar políticas públicas de prevenção e mitigação de desastres, orientando decisões sobre zoneamento urbano, dimensionamento de sistemas de drenagem, rotas de evacuação e localização de abrigos emergenciais.

Os resultados obtidos têm aplicação direta em sistemas de alerta precoce, permitindo que autoridades municipais e defesas civis tenham maior tempo de

resposta para implementar medidas preventivas quando há detecção de chuvas intensas à montante da bacia. O mapeamento detalhado de eventos extremos fornece subsídios para o planejamento de infraestrutura urbana resiliente, com investimentos adequadamente dimensionados para eventos extremos.

Sociedades resilientes exigem abordagem transdisciplinar, que integre conhecimento hidrológico, planejamento urbano, gestão ambiental e participação comunitária. A modelagem hidrodinâmica constitui pilar tecnológico dessa estratégia, porém precisa ser complementada por educação ambiental, sistemas de comunicação de risco, protocolos de resposta a emergências e fortalecimento institucional dos órgãos de monitoramento e defesa civil.

Diante das projeções de intensificação dos eventos extremos associados às mudanças climáticas, a aplicação sistemática de ferramentas de modelagem hidrodinâmica em diferentes municípios torna-se imperativa. A replicação desta metodologia permitirá criar uma base de dados robusta sobre o comportamento de inundações, subsidiando estratégias adaptativas específicas para diferentes configurações de bacias hidrográficas. A modelagem da inundação de maio de 2024 em Lajeado, demonstra capacidade técnica essencial para transformar o paradigma de gestão de desastres hidrológicos, deslocando o foco da resposta reativa para a preparação proativa, caminho necessário para a construção de territórios resilientes frente aos desafios contemporâneos das mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo reforça a relevância da modelagem matemática aplicada à hidráulica fluvial, sobretudo no contexto de mudanças climáticas, que têm intensificado a frequência e magnitude dos eventos hidrometeorológicos extremos. A simulação realizada fornece subsídios valiosos para o planejamento urbano, a gestão de riscos e a tomada de decisão em emergências, contribuindo para mitigar os impactos das inundações sobre a população e a infraestrutura urbana. Como perspectiva futura, recomenda-se realizar outras simulações

hidrodinâmicas 1D e 2D com outros hidrogramas de entrada e validação do modelo com dados adicionais, para maior detalhamento das áreas inundáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERGS pelo apoio à pesquisa. Agradecem também ao GDISPEN – Grupo de Dispersão de Poluentes e Engenharia Nuclear da Universidade Federal de Pelotas – pelo suporte institucional.

REFERÊNCIAS

ALVALÁ, R. C. de S.; RIBEIRO, D. F.; MARENGO, J. A.; et al. Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: vulnerabilities and risk management capabilities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 110, n. 104645, p. 1–18, 2024.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO). **Dados hidrológicos por telemetria – Estação Fluviométrica Estrela, Rio Taquari (cód. 86879300)**. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/. Acesso em: 5 maio 2025.

CHOW, V. T. **Hidráulica dos canais abertos**. Trad. de E. J. Arantes. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1973. 680 p.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; et al. The exceptional hydrological disaster of April–May 2024 in southern Brazil. **Brazilian Journal of Water Resources**, v. 30, n. e1, p. 1–35, 2025. ISSN 2318-0331. DOI: 10.1590/2318-0331.302520240119.

COURANT, R.; FRIEDRICHS, K.; LEWY, H. Über die partiellen Differenzengleichungen der mathematischen Physik. **Mathematische Annalen**, v. 100, p. 32–74, 1928.

DIEDRICH, V. L.; ECKHARDT, R. R.; FERREIRA, E. R.; HAETINGER, C. Mapeamento e previsão das áreas urbanas inundáveis na cidade de Lajeado – RS – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA 2010, Aracaju, SE: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2010. p. 1459–1465.

ECKHARDT, R. R. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, 2008.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; DIAS DE PAIVA, R. C.; RUHOFF, A. **A cheia de 2024 no Rio Grande do Sul**. In: RS: resiliência e sustentabilidade, reflexões para a reconstrução do RS. Porto Alegre: Libretos, 2025. p. 47–63.
IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). Censo Demográfico 2022: resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/resultados/preliminares.html. Acesso em: 5 maio 2025.
JAPAN AEROSPACE EXPLORATION AGENCY; MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY. ALOS PALSAR: **High-Resolution Terrain Corrected (RTC) SAR Data**, 2011. Fairbanks: Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center (ASF DAAC), 2011. Disponível em: https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/ Acesso em: 5 maio 2025.
MARCUZZO, F. F. N.; KENUP, R. E.; ZANETTI, H. E. et al.. **Aferição direta e avaliação indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024**. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil, Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial, 2024. Relatório técnico, 31 p.
MARENGO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A. et al. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. Mudanças Climáticas. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 201–227, 2024.
MEHTA, D. J.; ESLAMIAN, S.; PRAJAPATI, K. Flood modelling for a data-scarce semi-arid region using 1-D hydrodynamic model: a case study of Navsari Region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 8, p. 2675–2685, 2022. DOI: 10.1007/s40808-021-01259-5.
MORAES, S. R. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015. Disponível em: http://hdl.handle.net/10737/997. Acesso em: 05 maio 2025.
MORAES, S. R.; COLLISCHONN, W.; ECKHARD, R. R.; MONTE, B. **Retromodelagem do evento extremo de inundação do rio Taquari no HEC-RAS, ocorrido em 09 de julho de 2020, no município de Lajeado/RS**. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, v. 42, p. 104–132, 2023.
MORAES, S. R.; COLLISCHONN, W.; BUFFON, F. T.; ECKHARDT, R. R. **Revisão e consolidação da série histórica dos níveis das cheias do rio Taquari em Lajeado de 1939 a 2023**. Porto Alegre, 2024, 50 p. Nota técnica. Disponível em: www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001199403&loc=2024&l=7818d897802ef3c6 Acesso em: dez. 2024
OLIVEIRA, G. G. de; FLORES, T.; BRESOLIN JUNIOR, N. A.; HAETINGER, C.; ECKHARDT, R. R.; QUEVEDO, R. P. Associação entre modelos hidrológicos e geotecnologias para identificação de áreas suscetíveis a inundações e

enxurradas em locais com baixa disponibilidade de dados altimétricos e hidrológicos. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. XVIII, p. 1210–1217, 2017.
SILVA, A. de; RUDORFF, C. O. A. et al. Mapeamento de inundações usando modelagem hidráulica com dados de sensoriamento remoto de alta resolução: um estudo de caso na Bacia do Rio Acre, Brasil. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 10, p. 3051–3066, 2024.DOI: 10.1007/s40808-024-01972-x
US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual**. Versão 6.5. Davis, CA: Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, 2024. Disponível em: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-AS_Hydraulic_Reference_Manual_v6.5.pdf. Acesso em: 05 maio 2025.