

MAPEAMENTO DE MANCHAS DE INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CANOAS, RIO GRANDE DO SUL

*Nathacha Karoliny Nascimento Cavalcante¹; Karla de Lima Machado²; Bianca Maria Lima Cruz
Pereira³; Geraldo Arthur Teodozio Boia⁴; Eduarda Pinheiro Barbosa da Silva⁵; Alyne Carneiro
Mesquita Siffert Lemos⁶; Manoel Mariano Neto⁷*

RESUMO – Este estudo analisa a extensão das inundações no município de Canoas (RS) durante o evento hidrológico extremo de maio de 2024, em comparação ao mesmo período no ano de 2023, utilizando composições NDWI e RGB a partir de imagens do Sentinel-2. Foi realizado processamento radiométrico de imagens de 2023 e 2024 e a sobreposição espacial com dados do projeto MapBiomias. Os resultados revelaram que a área inundada, em 2024, totalizou 29,28 km², abrangendo 22,33% do território municipal, um incremento de aproximadamente 13 vezes em comparação a 2023. Em termos absolutos, a área urbanizada foi a classe de uso e cobertura do solo mais atingida (7,60 km²). Concluiu-se que as ferramentas de geoprocessamento, em especial a combinação de índices espectrais com dados de uso e cobertura do solo, são eficientes para o monitoramento de desastres em escala local, e que o método pode fornecer subsídios para o planejamento urbano e para a implementação de políticas públicas de mitigação de riscos.

Palavras-Chave – NDWI; Inundação; Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT– This study analyzes the extent of flooding in the municipality of Canoas (RS) during the extreme hydrological event of May 2024, compared to the same period in 2023, using NDWI and RGB composites from Sentinel-2 images. Radiometric processing of images from 2023 and 2024 was performed, and spatial overlay was conducted with data from the MapBiomias project. The results revealed that the flooded area in 2024 totaled 29.28 km², covering 22.33% of the municipal territory, an increase of approximately 13 times compared to 2023. In absolute terms, the urbanized area was the most affected land use and land cover class (7.60 km²). It was concluded that geoprocessing tools, especially the combination of spectral indices with land use and land cover data, are efficient for monitoring disasters on a local scale, and that the method can provide support for urban planning and the implementation of public policies for risk mitigation.

Key-words – NDWI; Flooding; Remote Sensing.

INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos extremos, com especial destaque para as inundações repentinas, configuram-se globalmente como um dos desastres hidrometeorológicos de maior frequência e potencial destrutivo para a sociedade contemporânea. A intensificação de anomalias climáticas tem provocado padrões de pluviosidade severos que, ao interagirem com a dinâmica das bacias

1) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, nathacha.cavalcante@ctec.ufal.br

2) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, karladelimachado@gmail.com

3) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, biancalima.p18@gmail.com

4) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, geraldo.boia@ctec.ufal.br

5) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, eduarda.silva@delmiro.ufal.br

6) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, alyne.lemos@ctec.ufal.br

7) Universidade Federal de Alagoas – UFAL, manael.mariano@ctec.ufal.br

hidrográficas, geram cheias súbitas em intervalos temporais de poucas horas, frequentemente superando a capacidade de resposta das infraestruturas existentes (Gouveia et al., 2026).

A gravidade desses fenômenos manifesta-se de forma multidimensional, acarretando não apenas danos severos ao patrimônio e risco iminente à vida humana, mas também impactos socioeconômicos profundos, como a devastação de sistemas agrícolas e o colapso urbano generalizado nas regiões ribeirinhas (Donoso et al., 2026).

O evento meteorológico de 2024 no estado do Rio Grande do Sul caracterizou-se como um desastre sem precedentes, apresentando índices pluviométricos que superaram 500 mm em determinadas localidades em um curto intervalo de dias. Conforme Gouveia et al. (2026), a magnitude do fenômeno decorre de que, em apenas 72 horas, o volume de chuva excedeu a média histórica esperada para todo o mês de maio, configurando uma anomalia climática extrema que resultou na elevação abrupta dos níveis fluviais.

Diante da rapidez característica desses eventos e da vasta extensão das áreas afetadas, torna-se essencial o emprego de tecnologias de monitoramento. O uso do sensoriamento remoto para o mapeamento preciso das manchas de inundação é, portanto, uma ferramenta vital para subsidiar tomadores de decisão na implementação de medidas de socorro e estratégias de gestão de crises em tempo hábil (Islam; Ahamed, 2023).

O Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI), proposto por McFeeters (1996), é empregado neste estudo como a ferramenta central para a delimitação das manchas de inundação, por meio do realce de feições de águas em imagens digitais. A aplicação do índice fundamenta-se na sua capacidade de maximizar a assinatura espectral da água na banda do verde visível e minimizar a reflectância no infravermelho próximo (NIR), região do espectro onde solos e vegetação terrestre apresentam altos índices de reflexão.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar a extensão das inundações em Canoas, Rio Grande do Sul, por meio do índice NDWI, contrastando um cenário hidrológico habitual (2023) com o cenário extremo de inundação ocorrido em 2024. Adicionalmente, foi realizada a sobreposição com dados de uso e ocupação do solo, a fim de mensurar os impactos gerados.

METODOLOGIA

Área de Estudo

A presente investigação delimita-se ao município de Canoas, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O município possui população de 347.657 habitantes, com elevado grau de urbanização e

população predominantemente concentrada na zona urbana. A área urbanizada corresponde a 74,43 km², equivalente a 56,91% do território municipal (IBGE, 2022).

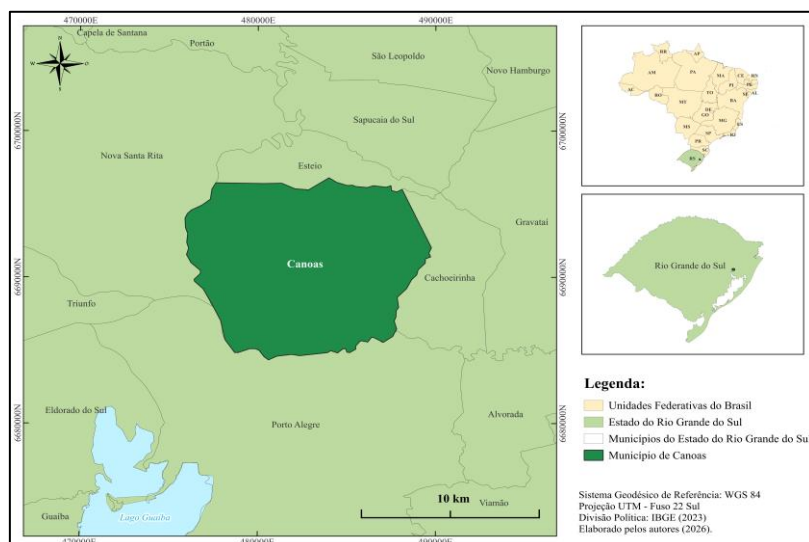


Figura 1 – Mapa de Localização do município de Canoas/RS

Fonte: Autores (2026)

Diante dos eventos extremos de cheias ocorridos em 2024, o município de Canoas foi severamente atingido, com aproximadamente 44% da população afetada. A localidade registrou o maior número de óbitos, totalizando 31 vítimas, e, em junho de 2024, ainda contabilizava 1.441 pessoas desabrigadas. Esses eventos têm se tornado mais frequentes, especialmente a partir de 2013 (Rehbein; Alves, 2025).

Procedimentos Metodológicos

A presente pesquisa foi desenvolvida em seis etapas sequenciais, sintetizadas no fluxograma da Figura 2.

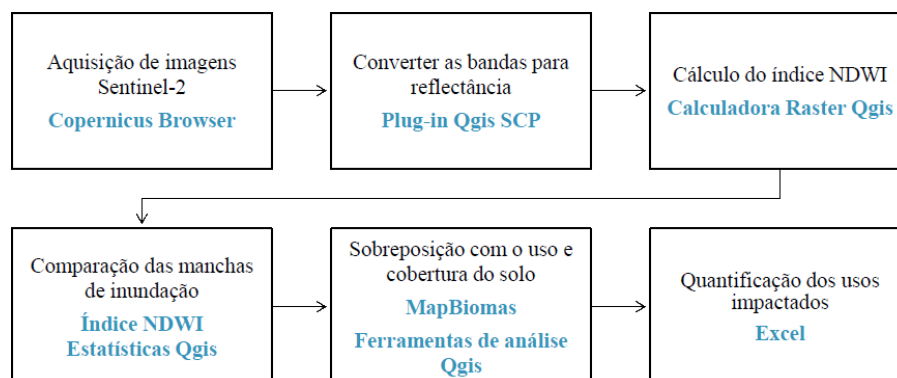


Figura 2: Fluxograma de execução dos procedimentos metodológicos

Fonte: Autores (2026)

As imagens utilizadas foram obtidas do satélite Sentinel-2, disponibilizada pela ESA, por meio da plataforma Copernicus Browser. Foram selecionadas duas cenas representativas: uma datada de 09 de maio de 2023, e outra correspondente ao evento extremo, datada de 06 de maio de 2024, quando o estado do Rio Grande do Sul foi atingido por chuvas excepcionais que provocaram inundações de grande magnitude no município de Canoas. As cenas foram selecionadas em datas próximas do ano para minimizar diferenças sazonais entre os cenários comparados, considerando os critérios de cobertura de nuvens inferior a 20% e nível de processamento L2A (reflectância de superfície já corrigida atmosféricamente).

O processamento radiométrico das bandas espectrais foi realizado no software QGIS por meio do plug-in Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), que executa as correções necessárias para conversão dos números digitais em valores de reflectância de superfície, padronizando os dados de entrada para o cálculo do índice espectral.

O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) foi calculado utilizando a calculadora raster do QGIS, aplicando-se a Equação 1 sobre as bandas do verde (B3) e do infravermelho próximo (B8) do Sentinel-2. Através dessa equação, o NDWI permite que as massas hídricas presentes na área de estudo assumam valores positivos, enquanto as feições terrestres são reduzidas a valores nulos ou negativos. Essa diferenciação matemática possibilita a retenção precisa das informações sobre a água superficial, fornecendo o suporte técnico necessário para mapear a extensão do evento hídrico analisado.

$$NDWI = \frac{Verde - NIR}{Verde + NIR} \quad (1)$$

Após a geração dos rasters de NDWI, foi adotada uma classificação em quatro categorias para representar diferentes condições de umidade superficial: Seca Extrema, Seca Moderada, Umidade no Solo/Inundação e Água Superficial, com limiares estabelecidos conforme o comportamento estatístico observado nas duas cenas analisadas.

Para identificar os usos do solo impactados pela inundação, o raster de NDWI da cena de maio de 2024 foi sobreposto ao mapa de uso e cobertura do solo do MapBiomas. Foram consideradas as classes: Formação Florestal, Campo Alagado e Área Pantanosa, Silvicultura, Formação Campestre, Mosaico de Usos, Área Urbanizada, Outras Áreas não Vegetadas, Rio Lago e Oceano, Soja, Arroz e Outras Lavouras Temporárias. A operação de sobreposição e o recorte espacial foram realizados com as ferramentas de análise vetorial e raster do QGIS.

A quantificação da área inundada por classe de uso e cobertura foi realizada por meio das estatísticas zonais geradas no QGIS, exportadas para planilha eletrônica (Microsoft Excel) para o

cálculo das áreas absolutas (em km²) e relativas (em %) afetadas pelo evento. A comparação entre os dois cenários (2023 e 2024) permitiu mensurar o incremento da área inundada e identificar os usos do solo mais vulneráveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta a composição em cor verdadeira (True Color) das duas datas. É possível identificar visualmente a presença extensiva de água e sedimentos sobre a área urbana no cenário de 2024, em contraste com a condição de normalidade observada em 2023.

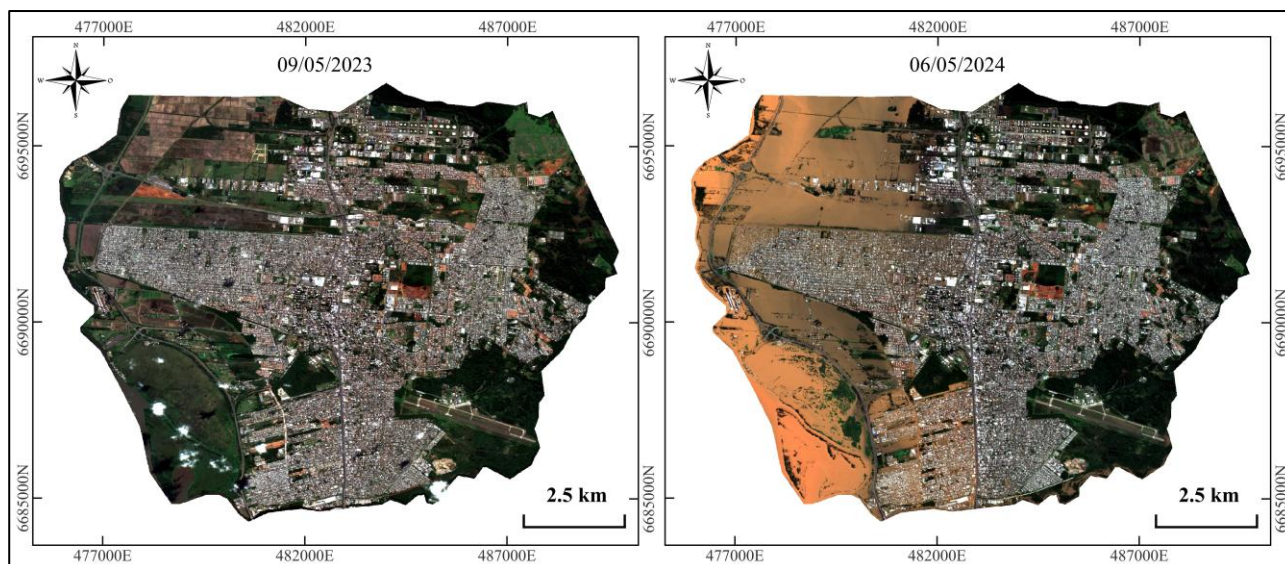


Figura 4: Composição RGB para 2023 e 2024
Fonte: Autores (2026).

A comparação entre as imagens evidencia uma alteração expressiva na dinâmica hídrica do município de Canoas, associada aos eventos extremos de cheia registrados no Rio Grande do Sul em 2024. Enquanto a cena de 2023 representa uma condição hidrológica habitual, sem presença significativa de áreas alagadas, a imagem de 2024 demonstra a expansão generalizada da lâmina d'água, sobretudo nos setores oeste e sudoeste do município.

As inundações acompanharam principalmente as planícies adjacentes aos corpos hídricos e áreas de menor altitude, avançando sobre setores urbanos densamente ocupados. Esse comportamento evidencia a elevada suscetibilidade das áreas urbanizadas implantadas em cotas baixas e próximas às várzeas naturais. A análise espacial também sugere que os setores periféricos e mais próximos aos cursos d'água apresentaram maior exposição às cheias, reforçando a necessidade de planejamento urbano integrado à gestão de riscos.

A Figura 4 apresenta os mapas de classes de cobertura derivados do NDWI para as datas. Em maio de 2023, os pixels classificados como Água Superficial restringem-se a feições hídricas permanentes (leitos de rios e corpos d'água lacustres), configurando o padrão de referência da área urbanizada em condições hidrológicas normais.

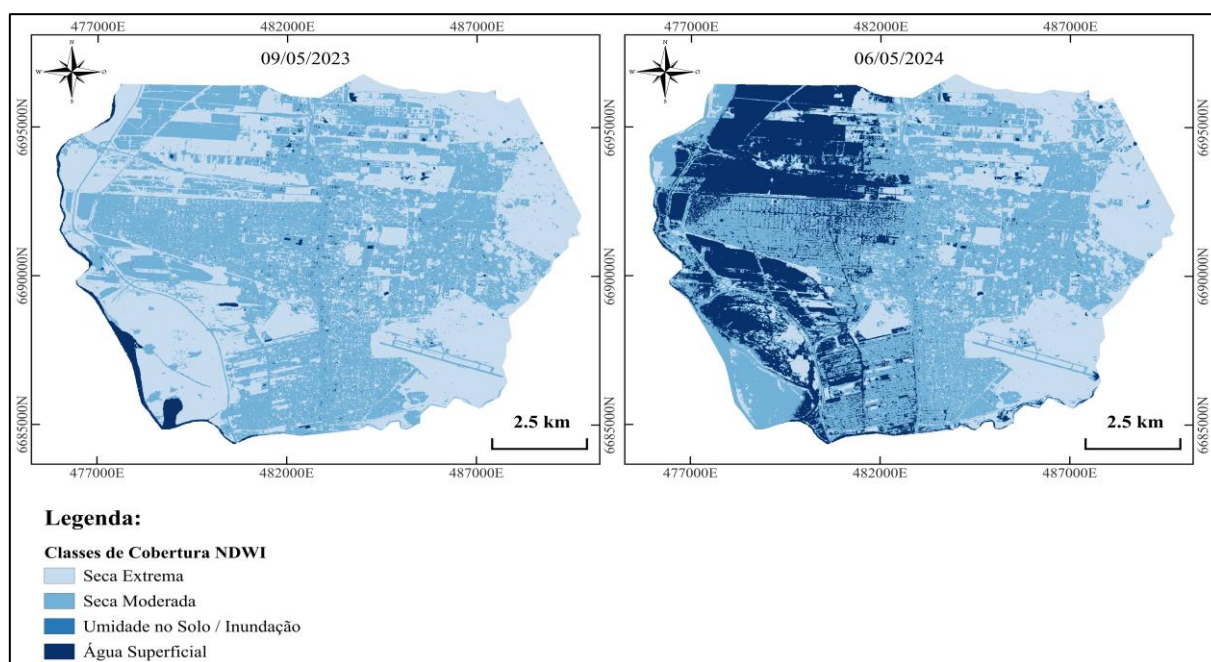


Figura 4: NDWI para 2023 e 2024

Fonte: Autores (2026).

Já em maio de 2024, observa-se expressiva expansão das classes Umidade no Solo/Inundação e Água Superficial, especialmente na porção noroeste do município, evidenciando a abrangência do evento de inundação. A análise das estatísticas zonais indica que, no evento extremo, a área inundada totalizou 29,28 km², o que corresponde a 22,33% da área territorial total do município de Canoas. Esse resultado é coerente com os relatos oficiais de calamidade pública que afetaram a região metropolitana de Porto Alegre no referido período (Rehbein; Alves, 2025).

A sobreposição da mancha de inundação com o mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5) permitiu identificar quais classes foram mais afetadas pelo evento de maio de 2024. Os usos mais impactados foram a zona urbanizada e as plantações de arroz, o que reflete tanto a localização das áreas de ocupação humana em porções ribeirinhas do município quanto a presença significativa de lavouras temporárias em planícies de inundação naturais.

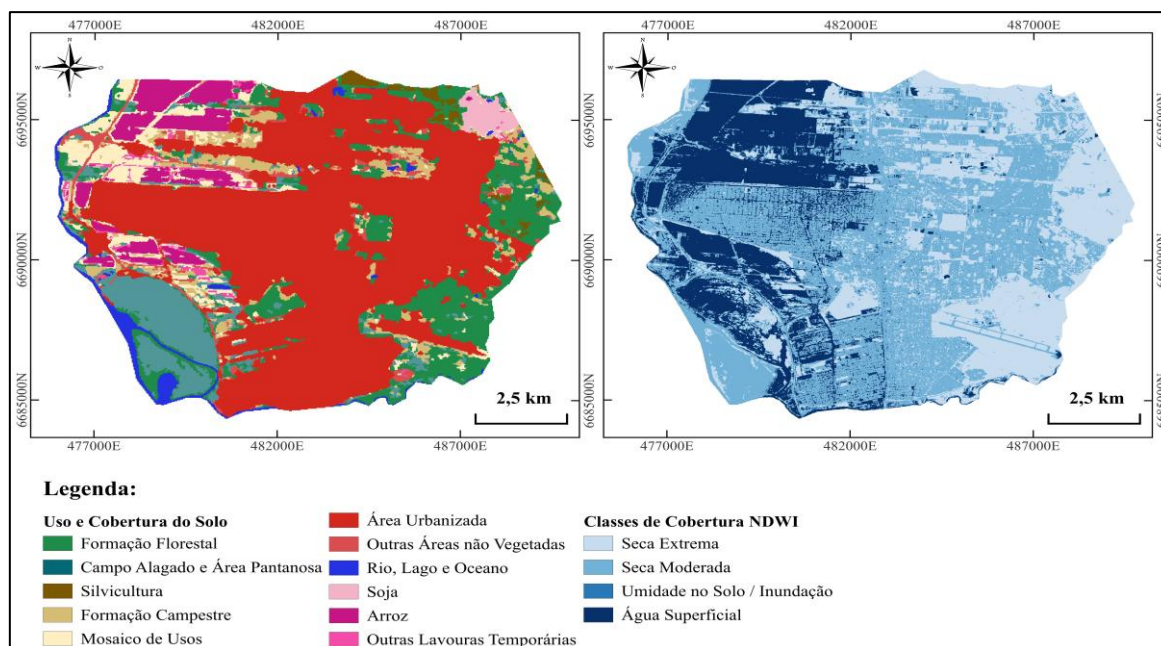


Figura: Comparação entre uso e cobertura do solo e o produto do NDWI, para o ano de 2024

Fonte: Autores (2026).

O impacto sobre a área urbanizada é particularmente preocupante, visto que envolve risco direto à vida humana, ao patrimônio construído e à infraestrutura urbana. Já o impacto sobre as plantações de arroz, embora de natureza econômica, evidencia a ocupação produtiva de áreas naturalmente sujeitas a alagamentos.

Na Tabela 1 é mostrada a síntese da distribuição das classes de cobertura NDWI por uso e cobertura do solo nos dois cenários analisados.

Tabela 1: Distribuição da área (km²) por classe de cobertura NDWI e uso do solo, em maio de 2023 e maio de 2024

Classes	2023		2024	
	Inundação	Água superficial	Inundação	Água superficial
Formação Florestal	0,01	0,00	0,46	0,00
Silvicultura	0,00	0,00	0,00	0,00
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,00	0,00	3,92	0,00
Formação Campestre	0,00	0,00	2,52	0,00
Mosaico de Usos	0,01	0,00	4,44	0,00
Área Urbanizada	0,47	0,00	7,60	0,01
Outras Áreas não vegetadas	0,02	0,00	1,33	0,00
Rio, Lago e Oceano	1,71	0,00	0,77	0,00
Soja	0,00	0,00	0,07	0,00
Arroz	0,00	0,00	6,98	0,00
Outras Lavouras Temporárias	0,00	0,00	1,21	0,00
Área Total (km ²)	2,22	0,00	29,28	0,01

Fonte: Autores (2026).

O impacto sobre a área urbanizada é particularmente preocupante, visto que envolve risco direto à vida humana, ao patrimônio construído e à infraestrutura urbana, principalmente no que diz respeito aos sistemas viários, habitações, redes de saneamento e equipamentos públicos. Já o impacto sobre as plantações de arroz, embora de natureza econômica, evidencia a ocupação produtiva de áreas naturalmente sujeitas a alagamentos.

CONCLUSÃO

A aplicação do índice NDWI a partir das imagens Sentinel-2 permitiu identificar e delimitar com clareza as áreas inundadas no município de Canoas-RS. A comparação entre os anos de 2023 e 2024 permitiu quantificar a expansão das áreas inundadas e identificar os setores mais vulneráveis do município. Durante o evento extremo ocorrido em maio de 2024, a área inundada correspondeu a aproximadamente 22,33% da área total de Canoas, equivalente a cerca de 29,28 km².

As classes de uso e cobertura da terra mais afetadas pelo evento foram as áreas urbanizadas e as plantações de arroz. Em termos absolutos, a área urbanizada concentrou a maior extensão inundada, refletindo riscos diretos à população, às edificações e à infraestrutura urbana, incluindo sistemas viários, redes de saneamento e equipamentos públicos.

Já em termos proporcionais, as áreas agrícolas apresentaram os maiores níveis de comprometimento, indicando elevada vulnerabilidade das atividades produtivas instaladas em planícies naturalmente sujeitas a alagamentos. Observou-se ainda que áreas associadas a ambientes úmidos e sazonalmente inundáveis apresentaram expansão significativa das manchas de inundação.

O as ferramentas de geoprocessamento, em especial a combinação de índices espectrais com dados de uso e cobertura do solo, mostraram-se importantes para auxiliar o planejamento urbano e ambiental, contribuindo para ações de prevenção e redução dos impactos causados por eventos hidrológicos extremos. A identificação das áreas mais suscetíveis pode apoiar a definição de políticas públicas voltadas ao controle da ocupação em áreas de risco, à melhoria dos sistemas de drenagem urbana e ao fortalecimento de medidas de monitoramento e alerta.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pelo apoio financeiro e pelo fomento à pesquisa científica, fundamentais para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- DONOSO, V. G.; BÖHRKIRCHER, L.; SANTOS JUNIOR, E. R.; LEUCHNER, M. (2026). "Uncovering the 2024 Rio Grande do Sul floods: land use change, extreme rainfall, and the urgent need for local adaptation in south Brazil". *Natural Hazards*, [S.l.], v. 122, n. 66, pp. 1-36. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07776-1>. Acesso em: 10 maio 2026.
- ESA - EUROPEAN SPACE AGENCY. (2024) "Copernicus Sentinel-2 Level-2A". [S. l.: s. n.]. [Dataset] processado pela ESA. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/>. Acesso em: 13 maio 2026.
- GOUVEIA, T. A. F.; AZEVEDO, H. B.; ALBUQUERQUE, A. M.; POMPEI, M. J. S.; MARRA, A. B.; SANTOS, V. A.; ALVES, D. B. M.; MONICO, J. F. G. (2026). "Analysis of atmospheric variations using GNSS signal as atmospheric sensor (PWV-GNSS) in the extreme rainfall events in Rio Grande do Sul (Brazil) in 2024". *Natural Hazards*, [S. l.], v. 122, n. 212, pp. 1-25. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-02507748-5>. Acesso em: 11 maio 2026.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2026). "Canoas: panorama". IBGE Cidades, [S.l.]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/canoas/panorama>. Acesso em: 17 maio 2026.
- ISLAM, M. M.; AHAMED, T. (2023). "Development of a near-infrared band derived water indices algorithm for rapid flash flood inundation mapping from sentinel-2 remote sensing datasets." *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, [S. l.], v. 7, pp. 615-640. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s41685023-00288-5>. Acesso em: 09 maio 2026.
- MCFEETERS, S. K. (1996) "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features". *International Journal of Remote Sensing*, [S. l.], v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>. Acesso em: 09 maio 2026.
- PROJETO MAPBIOMAS (2024). "Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil". Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 30 abril. 2026.
- REHBEIN, Katiele Daiana da Silva; ALVES, Felipe Dalenogare (2025). "Mudanças climáticas, vulnerabilidade e moradia digna: o caso da enchente de 2024 em Canoas/RS". *Revista de Investigações Constitucionais*, [S.l.], v. 12, n. 1, pp. 1-31. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rinc/a/g7PWD6QdtcHCPqCfwFsVNbM/?lang=pt>. Acesso em: 17 maio 2026.