ARTIGO DE PESQUISA

Uso de imagens Planet para mapear a inundação no Rio Grande do Sul no desastre climático de abril e maio de 2024

Use of Planet images to map flooding in Rio Grande do Sul from the climate disaster of April and May 2024

Uso de imágenes Planet para mapear las inundaciones en Rio Grande do Sul causadas por el desastre climático de abril y mayo de 2024

LETÍCIA FIGUEIREDO SARTORIO

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6936-9939

MARCOS WELLAUSEN DIAS DE FREITAS

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9879-2584

Recebido em: 28/11/2025.
Aprovado em: 13/08/2026.
Editora responsável: Grace Bungenstab Alves

Como citar (ABNT)
SARTORIO, Letícia Figueiredo; FREITAS, Marcos Wellausen Dias de. Uso de imagens Planet para mapear a inundação no Rio Grande do Sul no desastre climático de abril e maio de 2024. Revista da ANPEGE, [S. l.], v. 22, n. 48, e20929, 2026. DOI: 10.5418/ra2026.v22i48.20929. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/20929. Acesso em: XX mês abreviado 20XX.

Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional CC BY – permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.

A Revista da ANPEGE não se responsabiliza por opiniões, ideias e conceitos emitidos pelos autores dos textos, assim como por conflitos de interesse entre autores, financiadores, patrocinadores e outros eventualmente envolvidos e/ou citados nos textos. Os autores asseguram que atendem as políticas editoriais e que o artigo não viola direitos autorais e que não há plágio no trabalho, responsabilizando-se pela utilização de fotos, imagens, remissões e traduções, entre outros materiais.

RESUMO: O desastre climático de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul envolveu movimentos de massa, enxurradas e inundações prolongadas. O emprego de geotecnologias é essencial no monitoramento e gestão dos desastres, permitindo o acesso rápido a informações geoespaciais. Portanto, este trabalho teve como objetivo mapear a mancha de inundação e a área diretamente afetada (ADA) para a Região Hidrográfica do Guaíba (RHGB) a partir de imagens ópticas Planet. A metodologia incluiu a aplicação da Análise de Componentes Principais, GEOBIA, classificação com Random Forest, e pós-processamento. Os resultados indicaram que a mancha de inundação na RHGB possuiu uma área de 2.911,18 km² e a ADA de 4.137,06 km², com 4,85% da área total da RHGB atingida pela inundação. O mapeamento com imagens de alta resolução espacial permite detalhar a magnitude do evento e determinar com maior precisão as áreas atingidas, principalmente em áreas urbanas.

Palavras-chave: Random forest; GEOBIA; Evento extremo; Geotecnologias.

ABSTRACT: The climate disaster of April and May 2024 in Rio Grande do Sul involved mass movements, flash floods, and prolonged flooding. The use of geotechnologies is essential in disaster monitoring and management, allowing rapid access to geospatial information. Therefore, this study aimed to map the flooded area and the directly affected area (DAA) for the Guaíba Hydrographic Region (RHGB) using Planet optical images. The methodology included the application of Principal Component Analysis, GEOBIA, Random Forest classification, and post-processing. The results indicated that the flooded area in the RHGB covered 2,911.18 km² and the DAA covered 4,137.06 km², with 4.85% of the total area of the RHGB affected by the flood. Mapping with high-spatial-resolution images enables detailing the magnitude of the event and determining the affected areas with greater precision, especially in urban areas.

Keywords: Random forest; GEOBIA; Extreme event; Geotechnologies.

RESUMEN: El desastre climático de abril y mayo de 2024 en Rio Grande do Sul provocó movimientos de masas, riadas e inundaciones prolongadas. El empleo de geotecnologías es esencial en la monitorización y gestión de desastres, permitiendo un acceso rápido a la información geoespacial. Así, este trabajo tuvo como objetivo cartografiar la mancha de inundación y el área directamente afectada (ADA) de la Región Hidrográfica del Guaíba (RHGB) a partir de imágenes ópticas Planet. La metodología incluyó la aplicación del análisis de componentes principales, GEOBIA, la clasificación con Random Forest y el posprocesamiento. Los resultados indicaron que la zona inundada en la RHGB tenía una superficie de 2911,18 km² y la ADA de 4137,06 km², con un 4,85% de la superficie total de la RHGB afectada por inundación. El mapeo con imágenes de alta resolución espacial permite detallar la magnitud del evento y determinar con mayor precisión las áreas afectadas, principalmente en áreas urbanas.

Palabras clave: Random forest; GEOBIA; Evento extremo; Geotecnologías.

Introdução

A inundação de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul (RS) é considerada um dos mais significativos desastres ambientais já registrados no Brasil, envolvendo inundações, enxurradas e movimentos de massa, atingindo uma elevada quantidade de pessoas e causando um enorme impacto socioeconômico (Marengo et al., 2024; Andrades-Filho et al., 2025). Este evento extremo superou a inundação histórica de Porto Alegre (RS) no ano de 1941. Conforme Collischonn et al. (2025), o desastre hidrológico foi causado por eventos intensos e prolongados de precipitação sobre grandes áreas, que causaram inundação em diversos municípios do Rio Grande do Sul, os quais registraram 9 dias de chuvas ininterruptas (Marengo et al., 2024). Paiva et al. (2025) indicam que algumas regiões do Estado registraram uma precipitação acumulada superior a 1.000 mm entre os dias 25 de abril e 15 de maio de 2024, em que os maiores valores de chuvas acumuladas ocorreram nas bacias hidrográficas do Taquari-Antas, do Pardo e do Baixo Jacuí (Rathore et al., 2024; Collischonn et al., 2025; Neto et al., 2025). Esse evento de precipitação anômala foi relacionado com a presença de um anticiclone sobre o Brasil Central que impediu o avanço dos sistemas frontais, concentrando-os no sul do Brasil e intensificando a precipitação (Neto et al., 2025).

Houve, de forma associada, a ocorrência de movimentos de massa na Escarpa do Planalto Meridional, enxurradas nas áreas de fundos de vales e inundações lentas e prolongadas nas planícies de inundação mais baixas, como na bacia do Guaíba e nas margens da Laguna dos Patos. Em Porto Alegre, o nível da água se manteve elevado por 30 dias (Andrades-Filho et al., 2025; Collischonn et al., 2025). Nas bacias do Taquari-Antas e Caí, o pico da inundação ocorreu entre 01 e 03 de maio de 2024, já as demais bacias a jusante foram afetadas posteriormente (Marcuzzo et al., 2025). No cais Mauá, foi registrada uma cota de 5,37m e na Usina do Gasômetro de 4,59m, ambas se localizam em Porto Alegre (RS) (Marcuzzo et al., 2025).

Todas as regiões hidrográficas do Estado foram afetadas em algum grau, com maior impacto na Região Hidrográfica do Guaíba (Marengo et al., 2024). Além da inundação, Andrades-Filho et al. (2025) mapeou 15.376 movimentos de massa em mais de 150 municípios e o estudo de Egas et al. (2024) identificou 15.057 pontos de ruptura. Estes movimentos foram deflagrados pelos acumulados pluviométricos elevados e altas intensidades de precipitação registradas entre os dias de 27 de abril a 5 de maio de 2024 (Andrades-Filho et al., 2025). A inundação de grande magnitude entre abril e maio no Rio Grande do Sul afetou tanto áreas urbanas como rurais, com grandes danos à infraestrutura, vidas perdidas e milhares de desalojados (Neto et al., 2025). Segundo o relatório da Defesa Civil do Rio Grande do Sul, publicado em 24 de abril de 2025, foram afetadas 2.398.255 pessoas, com 806 pessoas feridas, ao total, os óbitos confirmados somam 184 pessoas e 25 seguem como desaparecidas (Rio Grande do Sul, 2025a).

Com o aumento da intensidade e frequência dos eventos de inundação, torna-se necessário o seu monitoramento visando a resposta e a mitigação de impactos. Neste contexto, o sensoriamento remoto disponibiliza ferramentas que auxiliam no mapeamento e tomada de decisões (Rathore et al., 2024). O Marco de Sendai (UNISDR, 2015) apresenta uma série de orientações visando a redução do risco de desastres nos países com enfoque no monitoramento, avaliação e compreensão do risco de desastres e o compartilhamento destas informações. Ressalta-se o papel de destaque que as geotecnologias assumem no processo de monitoramento e

gestão dos desastres, permitindo o acesso rápido a informações geoespaciais, que auxiliam no processo de tomada de decisões (UNISDR, 2015). Diversos estudos fizeram o uso das geotecnologias e do sensoriamento remoto para o mapeamento de áreas inundadas, como em Neto et al. (2025), Rathore et al. (2024), Possantti et al. (2024) e Billah et al. (2023). Dessa forma, as imagens de satélite são essenciais para o monitoramento de inundações, fornecendo resposta rápida a estes eventos (Lv et al., 2022). Panđa et al. (2024) ressaltam que a análise de inundações urbanas com imagens de alta resolução espacial e modelos digitais de elevação geram resultados mais precisos para produzir mapas de risco.

Este trabalho teve como objetivo mapear, para a Região Hidrográfica do Guaíba, a mancha de inundação (que engloba a lâmina d'água e as marcas da inundação oriundas das enxurradas), e a área diretamente afetada (ADA) (BRASIL, 2021), que representa um polígono homogêneo. O mapeamento observou o evento de inundação de abril e maio de 2024, exclusivamente com base em sensoriamento remoto, a partir de imagens ópticas *Planet*. Para tal, foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens, de *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA) e de geoprocessamento. Este mapeamento se desenvolveu em um contexto de cooperação voluntária entre o Laboratório de Mapeamento e Pesquisa Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Assessoria de Operações e Defesa Civil (AODC) do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS) durante a Operação Taquari 2 para fins de planejamento e gestão da operação.

2 Revisão da Literatura

Este tópico apresenta uma breve revisão da literatura, englobando o uso de imagens de sensoriamento remoto para análise e o mapeamento de inundações, com uso de técnicas de processamento digital de imagens, como Análise de Componentes Principais (ACP), GEOBIA e o classificador *Random Forest*.

Rathore et al. (2024) mapeou a inundação de abril e maio de 2024 nos entornos do Rio Jacuí no Rio Grande do Sul pela integração de imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 com o modelo digital de elevação do Copernicus (ESA, 2021). O dado SAR foi utilizado devido à parcial cobertura de nuvem presente na área, durante o evento. Para identificar a inundação com o Sentinel-2 foi aplicado o índice modificado da diferença normalizada da água. Os resultados apontam que áreas urbanas e agrícolas foram fortemente impactadas, principalmente na região metropolitana de Porto Alegre. Neto et al. (2025) analisou o evento climático extremo no Rio Grande do Sul, associando-o ao uso e ocupação da terra. Para tal, foram utilizados dados de uso e cobertura da terra do Projeto MapBiomas, o índice da diferença normalizada da água em imagens Sentinel-2, com 10 metros de resolução espacial, para identificar as áreas inundadas, imagens GOES-16 e dados do modelo ERA5. A análise de Neto et al. (2025) indica que o uso da terra influenciou o risco de inundação, devido a ocupações urbanas em áreas de risco e o desmatamento de vegetação nativa para a implementação da agricultura, reduzindo a capacidade de infiltração da água. O que ressalta a necessidade de um planejamento do uso e ocupação da terra que considere as fragilidades e potencialidades de cada área, avaliando as múltiplas suscetibilidades e riscos presentes.

O classificador *Random Forest* também foi amplamente utilizado em estudos na temática de inundação, produzindo bons resultados. Ganjirad e Decolar (2023) compararam o uso de *Random Forest* e *Support Vector Machine* para mapear o risco de inundação na Louisiana nos Estados Unidos a partir de variáveis topográficas e

índices espectrais. Os resultados indicaram que o classificador *Random Forest* produziu os melhores resultados. Zhu e Zhang (2022) avaliaram o risco e a profundidade de inundação a partir de dados de precipitação e elevação, aplicando *Random Forest* para construir o modelo que apresentou elevada acurácia. Farhadi e Najafzadh (2021) também empregaram o classificador *Random Forest* para mapear o risco de inundação no Irã. Para tal, derivaram diversos índices baseados em bandas espectrais, Modelo Digital de Elevação SRTM e imagens *Landsat* 8, além de dados de precipitação. O algoritmo apresentou bons resultados, mostrando eficiência para mapear o risco de inundação.

Além destes, Liao et al. (2023) utilizou uma metodologia baseada em *Random Forest* para a previsão de inundações urbanas, destacando que este modelo é mais rápido em termos de processamento e acurado para prever a profundidade da inundação. Billah et al. (2023) combinou imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 para o monitoramento e avaliação de inundações, e comparou os classificadores *Random Forest* e Máxima Verossimilhança no mapeamento da inundação nas imagens ópticas. Os resultados ressaltam que o *Random Forest* apresentou melhores resultados e destaca o uso de imagens de radar em momentos com elevada cobertura de nuvens (Billah et al., 2023).

Em relação às técnicas para o processamento digital das imagens destaca-se a Análise de Componentes Principais (ACP), que foi aplicada por diversos autores com intuito de produzir melhores resultados na classificação de imagens, como apresentado a seguir. Wang et al., (2021) aplicou ACP em uma rede generativa otimizada para melhorar o resultado da classificação de imagens. Zhao et al. (2022) aplicou ACP para reduzir a dimensionalidade dos dados e parâmetros da rede neural convolucional para classificação de imagens. Chang et al. (2022) integrou ACP e aprendizado de máquina para gerar uma previsão de inundação em áreas urbanas relacionadas a elevadas taxas de precipitação.

Panđa et al. (2024) e Shults et al. (2025) aplicaram GEOBIA para a classificação de imagens de alta resolução espacial, em que objetos homogêneos com características espectrais similares foram identificados (Shults et al., 2025). Mallinis et al. (2013) utilizaram GEOBIA para mapear a área inundada a partir de imagens *Landsat* e ENVISAT. A análise orientada a objetos no processo de classificação de imagens de alta resolução espacial comumente resulta em melhores resultados na identificação de alvos, além de permitir uma análise contextual (Zanotta et al., 2019). Portanto, observa-se que distintas técnicas podem ser aplicadas para alcançar resultados mais satisfatórios na classificação de imagens visando o mapeamento de áreas inundadas complexas.

3 Área de Estudo

A Região Hidrográfica do Guaíba (RHGB) é composta por 251 municípios e 9 bacias hidrográficas. Possui uma área de aproximadamente 85 mil km² e abriga uma população estimada de 5,9 milhões de pessoas, correspondente a 60% da população do Rio Grande do Sul, e ocupa cerca de 30% da área do estado (FEPAM, 2023). A **Figura 1** apresenta a localização da Região Hidrográfica do Guaíba e de suas bacias hidrográficas.

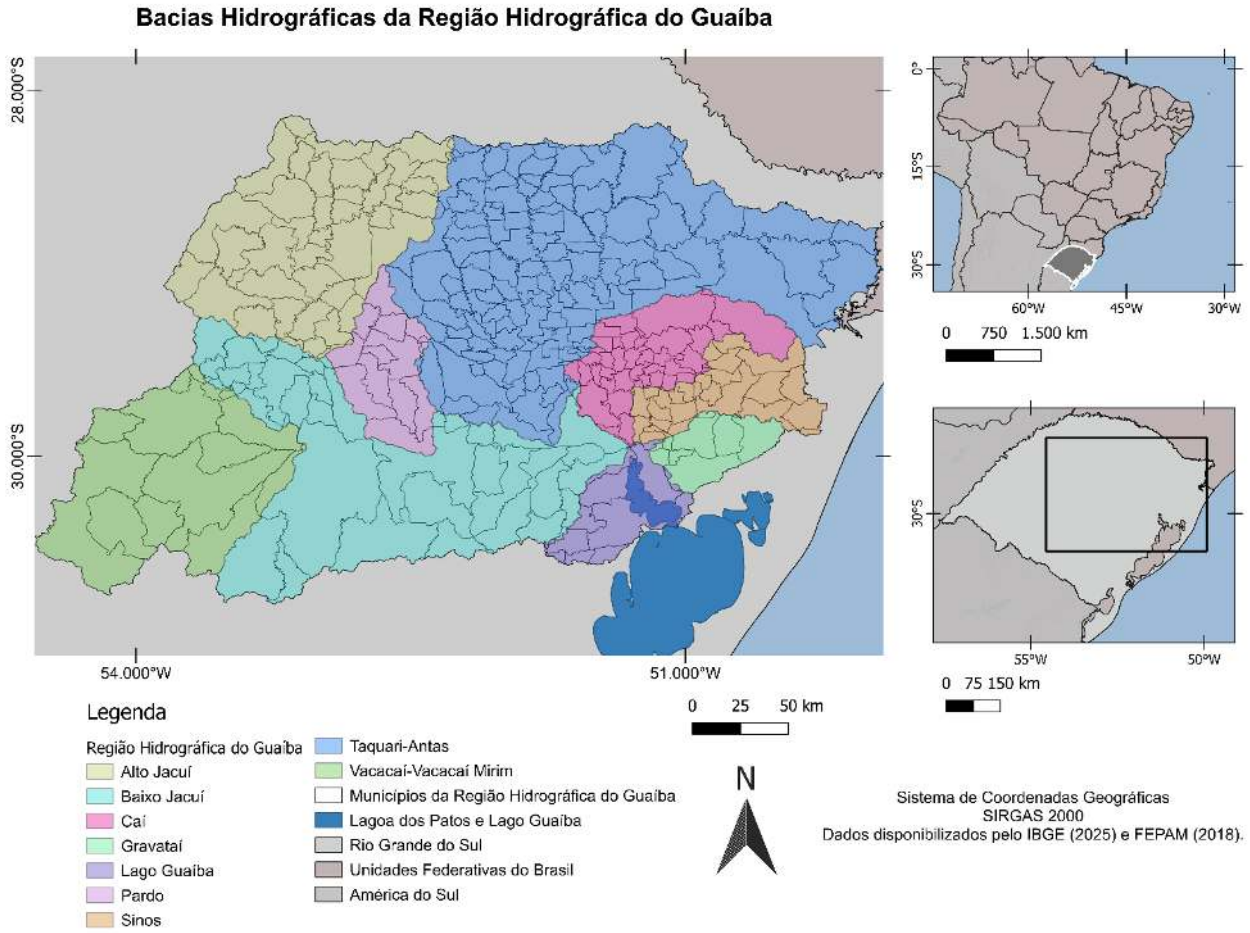


Figura 1. Localização da Região Hidrográfica do Guaíba. Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

4 Materiais e Métodos

4.1 Materiais

Para a Região Hidrográfica do Guaíba foram utilizadas imagens *Planet* (Image © 2024 Planet Labs PBC). As imagens foram adquiridas no site *Planet Explorer* (https://www.planet.com/explorer/) e foram filtradas para as datas entre 30 de abril de 2024 a 15 de maio de 2024. Os mosaicos foram selecionados conforme a disponibilidade e considerando a cobertura de nuvem das cenas de no máximo 30%, sendo necessário o emprego de datas distintas para cobrir a área de estudo.

As imagens *Planet* possuem três metros de resolução espacial e oito bandas espectrais. Importante destacar que foram utilizados produtos de mosaicos ortorretificados e calibrados em refletância de superfície fornecidos no *Planet Explorer* com este nível de processamento, estas foram devidamente separados em áreas de interesse (Planet Team, 2017). A **Tabela 1** apresenta as especificações técnicas das imagens *Planet*, em que a área imageada da cena é padrão do produto.

Tabela 1. Especificações técnicas das imagens *Planet*.

Banda	Comprimento de Onda	Resolução Espacial	Área Imageada da Cena
Azul Costeiro	431 - 452 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Azul	465 - 515 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Verde I	513 - 549 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Verde	547 - 583 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Amarelo	600 - 620 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Vermelho	650 - 680 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Borda Vermelho	697 - 713 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²
Infravermelho Próximo	845 - 885 nm	3 metros	32,5 x 19,6 km²

Fonte: Adaptado de Planet Labs (2026).

A **Tabela 2** apresenta a quantidade de mosaicos utilizados e as datas selecionadas para sua composição, ao total foram 37 mosaicos para cobrir a RHGB. A coluna "Detalhes" indica se o mosaico representa predominantemente a inundação (gradual e prolongada) ou marcas da inundação (associada a enxurradas), com presença significativa de lama no mosaico, como nas bacias hidrográficas do Alto Jacuí e do Taquari-Antas em que foram registradas a ocorrência de enxurradas (Collischonn et al., 2025). Em alguns mosaicos registrou-se a presença dos dois elementos.

Tabela 2. Data das imagens *Planet* por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Data dos mosaicos	Quantidade de Mosaicos	Detalhes
Alto Jacuí	05/05/2024 06/05/2024 07/05/2024 08/05/2024	3	Marcas da Inundação
Baixo Jacuí	06/05/2024 14/05/2024 15/05/2024	6	Inundação
Caí	15/05/2024	1	Inundação
Gravataí	06/05/2024	3	Inundação
Lago Guaíba	06/05/2024	3	Inundação
Pardo	06/05/2024 07/05/2024 14/05/2024	4	Inundação
Sinos	15 /05/2024 06/05/2024	3	Inundação
Taquari-Antas	06/05/2024 07/05/2024 08/05/2024	11	Marcas da Inundação
Vacacaí-Vacacaí Mirim	06/05/2024 14/05/2024	3	Inundação

Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

Para a validação foram utilizadas imagens MAXAR e *Pleiades* de alta resolução espacial (30 cm, 50 cm) disponibilizadas durante o desastre climático (MAXAR Technologies, 2024; Airbus Defense and Space, 2024). Também foram utilizados dados vetoriais das bacias hidrográficas da RHGB (FEPAM, 2018), da malha municipal do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2025), do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) (IBGE, 2022), da localização das escolas do Rio Grande do Sul disponibilizado pela Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais (IEDE) (Rio Grande do Sul, 2025b), e dos corpos hídricos (FEPAM, 2018) na escala 1:25.000.

Para o processamento e análise dos dados foram utilizados os *softwares* ArcMap 10.8 (Esri Inc, 2020), QGIS 3.40 (QGIS Development Team, 2024), RStudio (R Core Team, 2020), Erdas Imagine (Hexagon, 2015) e eCognition (Trimble, 2014).

4.2 Metodologia

A metodologia para o mapeamento da mancha de inundação e da área diretamente afetada com imagens *Planet* se divide em quatro fases: 1) Processamento de Imagens; 2) Análise Vetorial; 3) Validação; e 4) Análise Espacial. Estas etapas serão descritas a seguir. A **Figura 2** apresenta o fluxograma com as etapas metodológicas executadas:

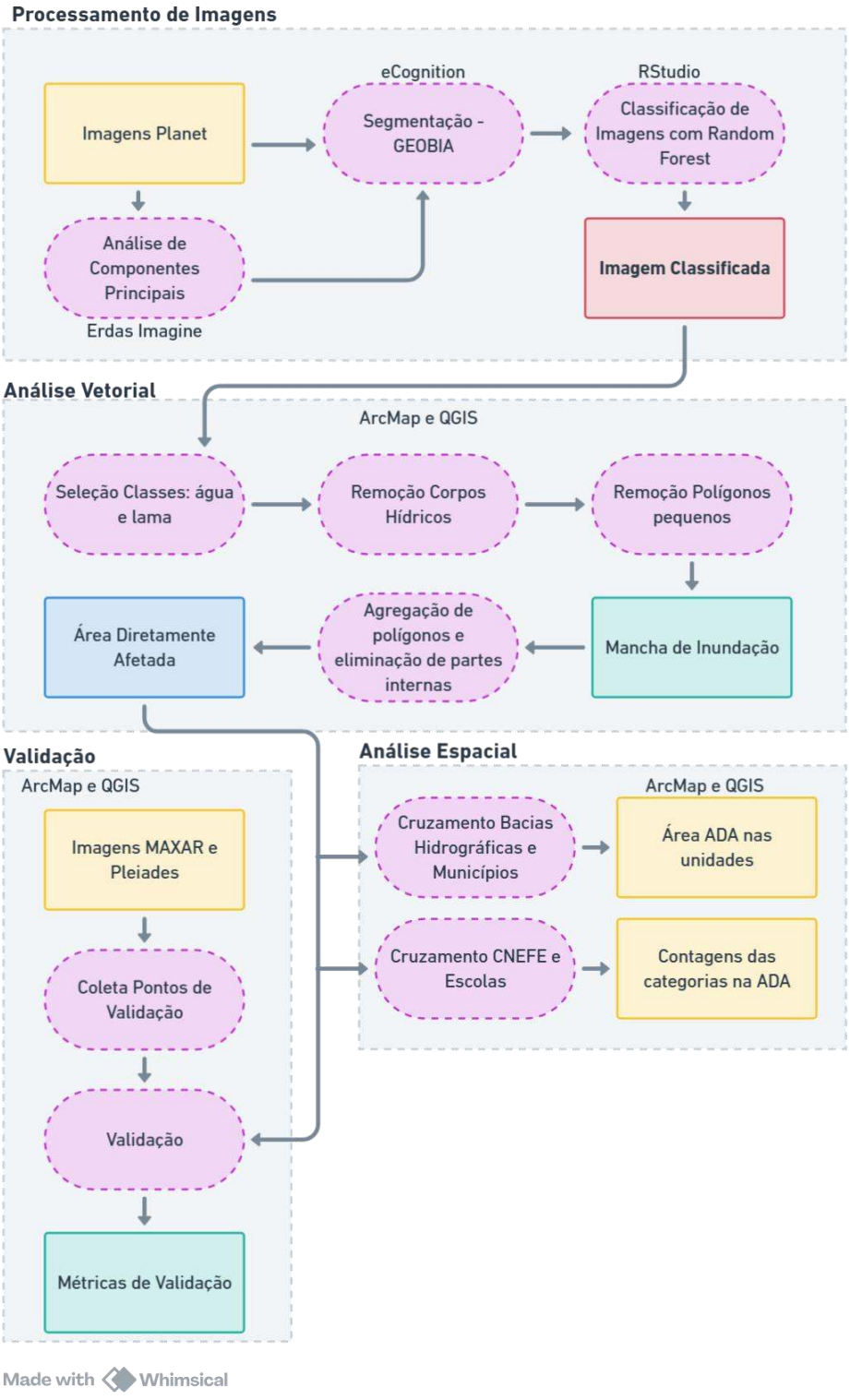


Figura 2. Fluxograma com as etapas metodológicas. Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

4.2.1 Processamento de Imagens

As imagens selecionadas foram processadas individualmente para atingir o objetivo do trabalho, devido à elevada demanda computacional. O alvo mapeado variou conforme a característica geral dos mosaicos em cada

bacia hidrográfica da área de estudo (**Tabela 2**). Para as imagens que representavam a inundação gradual foi mapeada a inundação observada, a lâmina d'água, como nas bacias hidrográficas do Lago Guaíba, Gravataí, Sinos, etc. Já para as imagens que representavam áreas com ocorrência de enxurradas foi mapeado a marca da inundação deixada após o evento, com predomínio de lama nos mosaicos, como na bacia hidrográfica do Taquari-Antas e do Alto Jacuí. Na **Figura 5** observa-se um exemplo para cada situação mapeada. Para cada mosaico selecionado foi aplicado o mesmo procedimento metodológico.

A primeira etapa para o mapeamento da mancha de inundação a partir dos mosaicos *Planet* correspondeu a aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) no *software* Erdas Image, com a seleção das três primeiras componentes principais. A ACP é tradicionalmente utilizada em imagens de sensoriamento remoto para diminuir a redundância de informação existente entre as bandas espectrais, descorrelacionando-as. Esse processamento realça os alvos existentes na cena, facilitando a sua identificação e posterior classificação (Gupta et. al, 2013; Jolliffe; Cadima, 2016; Sartorio et al., 2023). A ACP é amplamente aplicada para a redução de dimensionalidade e de ruídos, facilitando a extração de feições (*features*) e a interpretação dos dados (Bharadya, 2023; Wang et al., 2025). A ACP produz as componentes principais por meio de combinação linear dos dados de entrada. Estas reduzem a dimensionalidade dos dados enquanto mantém as componentes que explicam a maior porcentagem dos dados originais (Wang et al., 2021; Zhao et al., 2022).

As bandas espectrais e as três componentes principais foram inseridas conjuntamente no *software* eCognition, onde foi realizada uma GEOBIA através de uma segmentação multirresolução inicial, seguida da classificação dos objetos. A segmentação é um passo importante da GEOBIA, em que *pixels* similares foram agrupados para formar objetos geográficos, para tal são consideradas as características espectrais, geométricas, de textura e de contexto para formar os objetos (Chen et al., 2018; Kwenda et al., 2023).

Na etapa de segmentação multirresolução, foram utilizados parâmetros definidos por meio de testes empíricos baseados em análise visual e sugestões automática do próprio *software*. Para o parâmetro de escala foram testados os valores 36, 42 e 50, sendo selecionado o valor 42, por apresentar melhor delimitação dos alvos, considerando a resolução espacial de 3 metros e o emprego de uma área mínima mapeável de 36m². Para a compacidade definiu-se o valor igual a 0,5 para gerar objetos com bordas intermediárias, e para o parâmetro de forma o valor 0,8 para que seja atribuído maior peso a forma em relação ao valor espectral, considerando que se trata de uma imagem de alta resolução espacial com menor variação espectral.

Após a finalização da segmentação, foram coletadas amostras das classes de interesse identificadas: área urbana, agropecuária, formação florestal, água, água barrenta, lama e solo exposto. A coleta dessas classes variou conforme a cena analisada. No mínimo 30 amostras de cada classe foram coletadas somente por interpretação visual e distribuídas por todos os mosaicos, sem a realização de examinação in loco para a coleta de amostras. Em seguida, os objetos gerados foram exportados em formato vetorial, em conjunto com variáveis de média e desvio-padrão referentes as bandas espectrais e componentes principais adicionadas a tabela de atributos e a informação referente as classes das amostras. Em seguida foi realizada a etapa de classificação por meio do classificador *Random Forest*. Os objetos gerados, no processo da classificação, não são analisados individualmente, como na classificação *pixel*-a-*pixel* tradicional (Lang et al., 2019).

Este arquivo gerado foi importado no ambiente de programação R, onde a classificação dos mosaicos foi realizada utilizando o algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest*. Esse algoritmo se caracteriza por ser não paramétrico e utilizar diversas árvores de decisão aleatórias (1.000 neste trabalho), e, assim, produzindo resultados precisos (Breiman, 2001; Zanotta et al., 2019). Han, Kamber e Pei (2006) colocam que o *Random Forest* é eficiente e normalmente apresenta boa acurácia, sendo robusto para erros e *outliers*. Na classificação, 70% das amostras coletadas foram utilizadas para treinamento e 30% para a validação da performance do classificador.

4.2.2 Análise Vetorial

As etapas a seguir, de processamento vetorial e produção cartográfica, foram executadas nos *softwares* ArcMap 10.8 e no QGIS 3.40 Assim, com a classificação concluída, as classes de água e lama de cada mosaico processado foram selecionadas, extraídas e unidas em um único arquivo vetorial. Para delimitar a mancha de inundação observada foi necessário diferenciar a área de inundação nas planícies de inundação dos corpos hídricos existentes (calhas do rio). Para tal, a hidrografia existente de trecho da massa d'água disponibilizada pela FEPAM (2018) na escala 1:25.000 foi subtraída da área total mapeada, para não contabilizar os corpos hídricos existentes como área inundada. Após, os polígonos com área inferior a 36m² foram eliminados, considerando a área mínima mapeável superior a 4 *pixels*, eliminando polígonos pequenos e isolados.

A mancha de inundação observada apresenta somente a inundação visível na imagem óptica, a lâmina d'água, identificando, por exemplo, ruas inundadas nos centros urbanos. Por esse motivo apresenta descontinuidades espaciais e fragmentações, não contabilizando as áreas internas das quadras, pois por meio da imagem *Planet* a inundação ali presente encontra-se encoberta por telhados de construções, copas de árvores, sombras, etc. Assim, não engloba toda a área atingida pela inundação e as infraestruturas afetadas. Portanto, torna-se necessário gerar um polígono contínuo e homogêneo espacialmente, nomeado de área diretamente afetada (ADA), que possibilite sua aplicação para fins de contabilização de endereços atingidos, como os do CNEFE (IBGE, 2022). Abordagem similar foi empregada pelo Governo do Estado do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2024a) que produziu um polígono homogêneo internamente do desastre para fins de cruzamentos com bases de dados espaciais. O termo ADA é utilizado também nos trabalhos de Paiva et al. (2025) e Possantti et al. (2024). Além disso, a área diretamente afetada (ADA) é um termo na legislação ambiental que indica toda a área afetada por uma determinada ação (BRASIL, 2021), sendo utilizado neste estudo para representar as áreas afetadas pela inundação de abril e maio de 2024.

Para gerar a área diretamente afetada (ADA) (BRASIL, 2021), foi realizado o processo de agregação dos polígonos próximos utilizando uma distância de 200 metros, seguido pela eliminação de partes internas do polígono para fins de preenchimento, gerando um polígono homogêneo internamente. A distância de 200 metros foi estabelecida considerando o tamanho médio de um quarteirão urbano, com o objetivo de conectar fragmentos da mancha de inundação observada sem produzir extrapolações desproporcionais. Esse procedimento de generalização espacial amplia a área mapeada em relação à mancha de inundação sendo uma limitação metodológica do estudo. Entretanto, parte-se do princípio que é preferível, em contextos de desastres, superestimar

áreas do que omitir uma área atingida. Ademais, o uso da ADA como um polígono homogêneo e contínuo permite a contabilização e cruzamento com demais bases de dados espaciais de forma precisa.

Após, foi calculada a área em quilômetros quadrados (km²) da mancha de inundação observada e da área diretamente afetada usando a projeção cônica de Albers, que mantém a área.

4.2.3 Validação

Com a ADA concluída, foi executado o processo de validação dela. Para isso, utilizaram-se imagens MAXAR e *Pleiades* de alta resolução espacial (30 cm a 50 cm) disponibilizadas durante o desastre climático (MAXAR Technologies, 2024; Airbus Defense and Space, 2024). A imagem *WorldView* cobre parte da bacia hidrográfica do Lago Guaíba em que houve inundação gradual, enquanto as demais imagens se concentram na bacia hidrográfica do Pardo e do Taquari-Antas. Assim, as imagens para validação não estão distribuídas uniformemente na Região Hidrográfica do Guaíba, concentrando-se em áreas com predomínio das enxurradas. A partir destas imagens disponíveis, foram coletados pontos de validação para analisar a ADA produzida. Assim, as imagens passaram por uma interpretação visual utilizando uma composição cor natural RGB, sendo coletados pontos que representam áreas atingidas pela inundação (positivo) e áreas não atingidas pela inundação (negativo).

Estes pontos foram cruzados com a ADA para gerar métricas de acurácia, precisão e *recall* seguindo a análise de avaliação proposta em Han et al. (2006) e Fawcett (2006). Estas são amplamente utilizadas para a avaliação de classificações, como em Billah et al. (2023). Assim, foram identificados os verdadeiros positivos (TP), os verdadeiros negativos (TN), os falsos positivos (FP) e os falsos negativos (FN), sendo construída uma matriz de confusão (Han et al., 2006; Fawcett, 2006; Zanotta et al., 2019; Billah et al., 2023). A Equação 1 é da acurácia, que representa a porcentagem do conjunto avaliado que foi corretamente classificado na classificação (Han et al., 2006):

$$Acurácia = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN) \quad \text{Equação 1}$$

A equação da precisão, que representa a exatidão da classificação, ou seja, o quanto dos dados classificados como positivos realmente são positivos, também conhecida como acurácia do usuário (Han et al., 2006; Zanotta et al., 2019), está na Equação 2:

$$Precisão = TP/(TP + FP) \quad \text{Equação 2}$$

O *recall*, representado na Equação 3, indica a porcentagem de dados verdadeiramente positivos classificados corretamente como positivos, é também conhecido como acurácia do produtor e mede a capacidade do modelo de identificar o alvo de interesse (Han et al., 2006; Zanotta et al., 2019):

$$Recall = TP/(TP + FN) \quad \text{Equação 3}$$

4.2.4 Análise Espacial

Com a etapa de validação concluída, a ADA foi cruzada com às bacias hidrográficas da RHGB (FEPAM, 2018) e com os municípios (IBGE, 2025) pertencentes, visando mensurar a área e a porcentagem de cada bacia hidrográfica e município afetado pelo evento utilizando a projeção cônica de Albers. Ademais, a ADA também foi

cruzada com os dados do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) (IBGE, 2022) para contabilizar os endereços afetados, em que foram utilizadas as categorias de residências, estabelecimentos de saúde, estabelecimentos agropecuários e estabelecimentos religiosos. Por fim, a localização das escolas do Rio Grande do Sul também foi cruzada com a ADA para contabilizar a quantidade afetada (Rio Grande do Sul, 2025c).

5 Resultados

5.1 Desempenho da classificação

Na fase de processamento digital de imagens, o classificador *Random Forest* obteve acurácia global aproximada de 90% na classificação geral dos mosaicos. Posteriormente, foi realizada a avaliação específica da ADA de forma independente. Para validar a área diretamente afetada foram coletados 1.342 pontos de validação, sendo que 746 indicam áreas de inundação e 596 de não-inundação. A validação da ADA a partir dos pontos coletados indicou que esta possui uma acurácia global de 81,2%, uma precisão de 80,3% e um *recall* de 87,5%. Estes resultados se demonstram satisfatórios, mas ressalta-se que os pontos de validação não estão distribuídos uniformemente na cena, devido à baixa disponibilização de imagens em escala de detalhe. A **Tabela 3** apresenta os dados utilizados na validação da ADA.

Tabela 3. Dados de validação da Área Diretamente Afetada.

	Realidade: Positivo	**Realidade: Negativo**	**Total**	**Precisão**
Previsão: Positivo	Verdadeiro Positivo (TP) (Acerto): 653	Falso Positivo (FP) (Erro): 160	813	653/(653+160) =80,32%
Previsão: Negativo	Falso Negativo (FN) (Erro): 93	Verdadeiro Negativo (TN) (Acerto): 436	529	
Total	746		1342	
Recall	653/(653+93) =87,53%			**Acurácia Global:** 81,2%

Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

5.2 Resultados Espaciais

A área diretamente afetada em toda Região Hidrográfica do Guaíba mapeada por meio das imagens *Planet* pode ser visualizada na **Figura 3**. A partir do mapa observamos a magnitude do evento na RHGB, com ocorrência em todas as bacias hidrográficas observadas. A mancha de inundação observada apresentou uma área de 2.911,18 km² e a ADA uma área de 4.137,06 km² para toda a RHGB. Esta diferença ocorre, pois, a mancha de inundação indica a área visível atingida pela água, em que as partes cobertas por construções e vegetação não são contabilizadas.

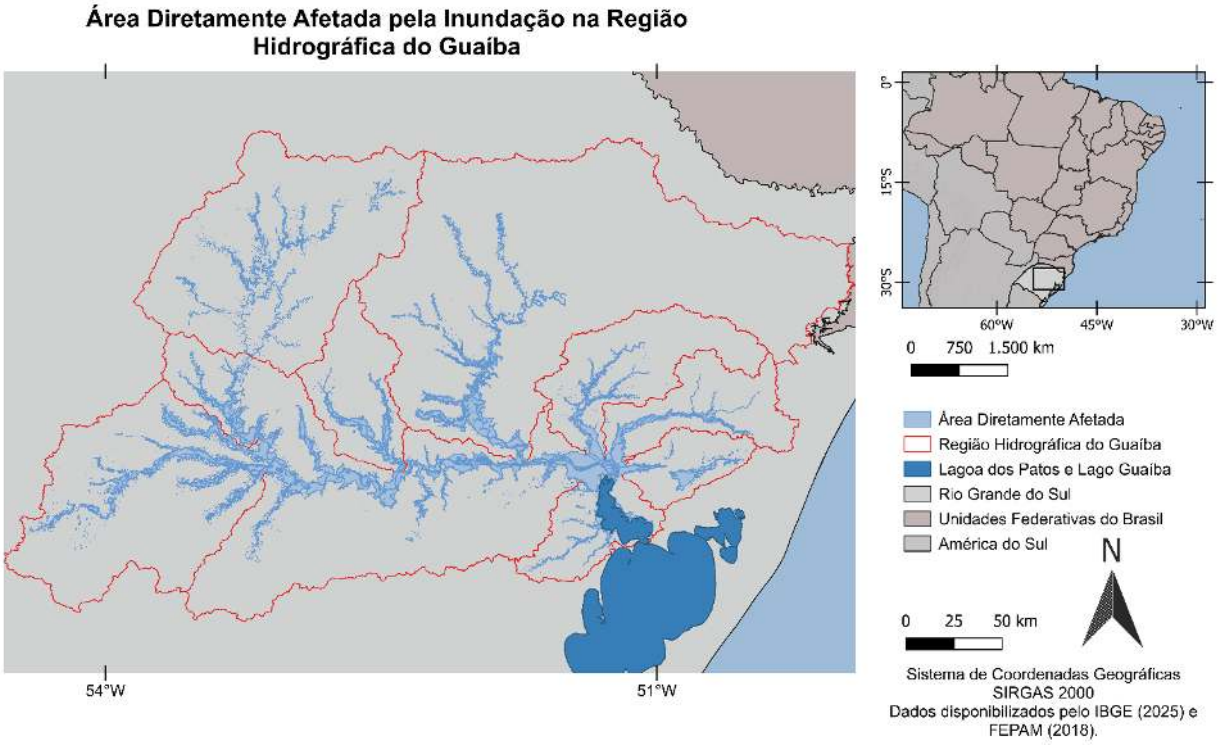


Figura 3. Área Diretamente Afetada na Região Hidrográfica do Guaíba. Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

A **Tabela 4** apresenta a área diretamente afetada pela inundação nas bacias hidrográficas que compõem a Região Hidrográfica do Guaíba em quilômetros quadrados, a área da bacia e a porcentagem coberta pela ADA. Ao total, 4,85% (4.137,06 km²,) da área da RHGB foi afetada pelo evento extremo, sendo que às bacias hidrográficas mais atingidas foram a do Baixo Jacuí (9,18%), a do Lago Guaíba (8,94%) e a do Gravataí (8,88%). Também se destaca a expressiva área afetada pela inundação na bacia hidrográfica do Taquari-Antas com 637,94 km², que pode ser visualizada na **Figura 3**.

Tabela 4. Área em quilômetros quadrados e a porcentagem (%) das bacias hidrográficas atingidas.

Bacia Hidrográfica	**Área ADA (km²)**	**Área Total Bacia (km²)**	**% ADA**
Baixo Jacuí	1.593,11	17.359,2	9,18
Lago Guaíba	260,9	2.919,34	8,94
Gravataí	178,93	2.014,62	8,88
Pardo	296,33	3.637,91	8,15
Sinos	244,98	3.693,66	6,63
Vacacaí-Vacacaí Mirim	608,15	11.177,18	5,44
Caí	226,21	4.982,79	4,54
Taquari-Antas	637,94	26.429,88	2,41
Alto Jacuí	90,52	13.063,86	0,69
Total	**4.137,06**	**85.278,45**	**4,85 %**

Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

Na **Figura 4**, observamos porção da área urbana no município de Porto Alegre (RS) atingida pela inundação por um longo período. Nota-se a diferença entre a mancha de inundação e a ADA, para mensurar e indicar as áreas afetadas pelo desastre. Ademais, é possível visualizar o nível de detalhe da mancha de inundação, ao delimitar as vias afetadas, devido à alta resolução espacial das imagens *Planet*. A ADA como um polígono homogêneo facilita o cruzamento com demais dados espaciais e sua contabilização, especialmente em áreas urbanas.

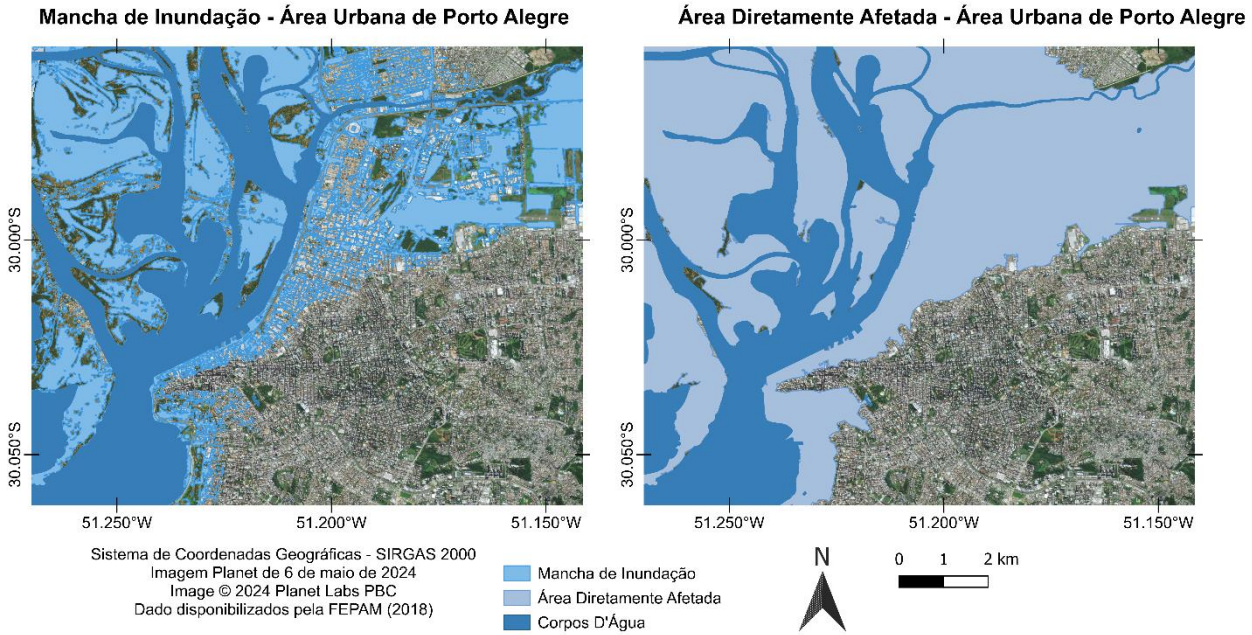


Figura 4. Área Diretamente Afetada e Mancha de Inundação na área urbana de Porto Alegre (RS). Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

A **Figura 5** apresenta a mancha de inundação e a ADA para os municípios de Rio Pardo (RS) e Cachoeira do Sul (RS), localizados na porção da bacia hidrográfica do Baixo Jacuí, em que a inundação ocorreu de maneira gradual. Destaca-se a extensão da inundação e a ADA que abrange todas às áreas, exceto o curso hídrico original. Na parte inferior da **Figura 5**, a aproximação se concentra nos municípios de Marques de Souza (RS) e Travesseiro (RS) na bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, onde ocorreram enxurradas devido a inundações bruscas. Nestas áreas, a classificação da imagem se tornou mais complexa pela presença de lama devido à enxurrada, podendo este alvo ser confundido com demais áreas de solo exposto. Nestas, a etapa de análise vetorial auxiliou no refinamento da mancha de inundação pela remoção de polígonos pequenos e isolados.

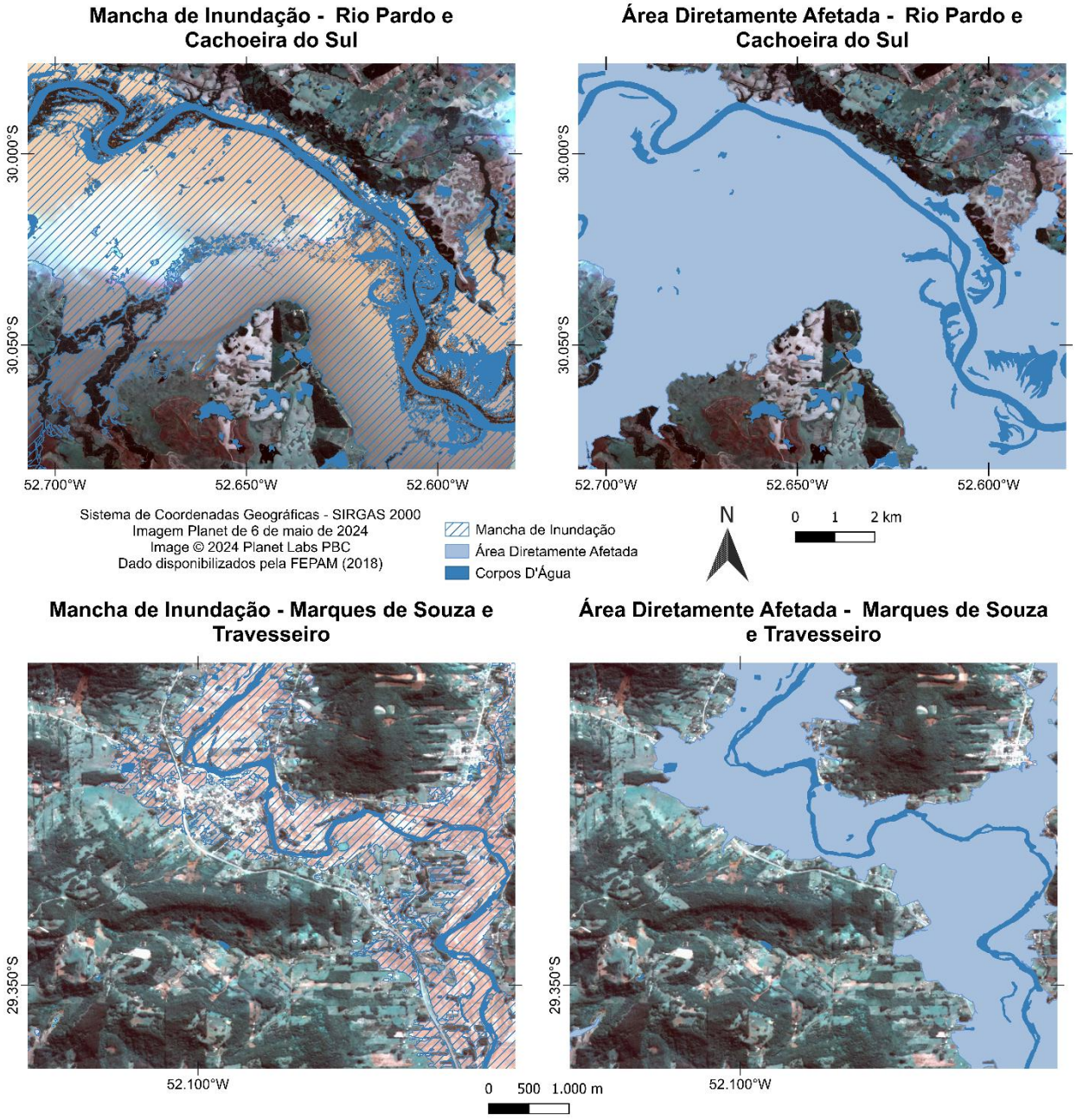


Figura 5. Área Diretamente Afetada e Mancha de Inundação em Rio Pardo (RS), Cachoeira do Sul (RS), Marques de Souza (RS) e Travesseiro (RS). Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

A **Tabela 5** apresenta a área em quilômetros quadrados e a porcentagem de área de intersecção com a ADA. Esta tabela apresenta somente os municípios que apresentaram mais de 15% de sua área afetada pela inundação. Os municípios de Esteio (RS), Nova Santa Rita (RS) e Canoas (RS) foram afetados em mais de 45% de sua totalidade espacial. A **Figura 6** apresenta um gráfico comparando visualmente a porcentagem do munícipio coberto pela ADA, tornando mais evidente a distribuição. Porto Alegre (RS) teve 23,98% da sua área afetada pela inundação, como se visualiza na **Figura 4**. O município de Rio Pardo (RS), com a ADA apresentada na **Figura 5**, foi atingido em 17,46% da sua área total.

Tabela 5. Área em quilômetros quadrados e a porcentagem (%) dos municípios atingidos.

Município	Área ADA (km²)	Área Total Município (km²)	% ADA
Esteio	13,67	27,68	49,40
Nova Santa Rita	105,76	218,10	48,49
Canoas	61,02	130,78	46,66
Charqueadas	67,08	217,37	30,86
São Leopoldo	30,85	103,01	29,95
Eldorado do Sul	147,86	509,65	29,01
General Câmara	146,63	510,03	28,75
Cruzeiro do Sul	44,44	155,48	28,58
Colinas	15,99	60,73	26,34
Restinga Sêca	247,72	968,64	25,57
Campo Bom	15,44	60,56	25,50
Porto Alegre	118,92	495,98	23,98
Arroio do Meio	37,37	157,09	23,79
Taquari	82,41	349,98	23,55
Triunfo	185,48	817,83	22,68
Vera Cruz	68,32	309,99	22,04
Capela de Santana	36,79	182,76	20,13
Formigueiro	115,05	578,90	19,87
Agudo	103,51	534,63	19,36
Dona Francisca	21,73	114,15	19,04
Alvorada	13,11	71,70	18,29
Venâncio Aires	139,96	772,70	18,11
Rio Pardo	358,19	2.051,18	17,46
Estrela	31,64	185,03	17,10
Bom Retiro do Sul	17,36	102,54	16,93
Vale Verde	55,76	329,73	16,91
São Sebastião do Caí	18,80	113,10	16,62
Minas do Leão	67,30	424,35	15,86

Fonte: Sartorio e Freitas (2026).



Figura 6. Municípios que apresentaram mais de 15% de sua área afetada pela inundação. Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

A ADA também foi cruzada com os dados de endereços do CNEFE e das escolas do Rio Grande do Sul. A **Tabela 6** apresenta os resultados, destaca-se o elevado número de residências atingidas (249.170), o que resultou em um enorme número de pessoas que tiveram que sair de suas residências e irem para abrigos. Ademais, o elevado número de escolas e estabelecimentos de saúde atingidos pela inundação dificulta o acesso da população à educação e a saúde no momento da crise. Com o uso da ADA, como um polígono homogêneo, facilita-se a contabilização de dados pontuais como os do CNEFE.

Tabela 6. Endereços do CNEFE e Escolas na área da Área Diretamente Afetada.

CNEFE - Categoria	Contagem ADA
Escolas (Estado RS)	384
Residências	249.170
Religioso	1.135
Saúde	591
Agropecuários	2.578

Fonte: Sartorio e Freitas (2026).

6 Discussão

A produção de uma ADA em alta resolução espacial (3 metros) para a Região Hidrográfica do Guaíba fornece dados essenciais para planejar ações de prevenção e mitigação, ao indicar com detalhe as áreas afetadas pelo desastre de abril e maio de 2024. Tal dado ganha maior importância ao considerar que grandes áreas urbanas foram atingidas pela inundação no Rio Grande do Sul em abril e maio de 2024, ressaltando a necessidade de mapeamentos em alta resolução espacial. A maioria dos atingidos pelo evento se localizam em Porto Alegre (RS), onde o sistema de defesa contra cheias falhou (Collischonn et al., 2025), e que teve 23,98% de sua área afetada.

Conforme Rathore et al. (2024), o evento de inundação de abril e maio de 2024 foi o mais severo registrado em Porto Alegre (RS), atingindo áreas densamente povoadas, destacando a necessidade urgente da execução de um planejamento urbano eficaz, com melhoramento do sistema de defesas de cheias e do sistema de drenagem. Portanto, o emprego de uma ADA com alta resolução espacial é adequada para a construção do planejamento urbano com maior eficiência e precisão. Ademais, o evento também atingiu construções, rodovias e milhares de propriedades rurais no Estado, afetando a economia de comunidades de agricultores, principalmente os pequenos, com grandes perdas no setor agropecuário (Rathore et al., 2024; Neto et al., 2025). O elevado impacto do evento também foi observado pelos resultados aqui obtidos, em que o cruzamento da ADA produzida com o CNEFE indica que mais de 2.500 estabelecimentos agropecuários foram afetados na RHGB, e 249.170 residências, ressaltando a magnitude do impacto do evento.

O Governo do Estado do Rio Grande do Sul produziu o Mapa Único do Plano Rio Grande (MUP) (Rio Grande do Sul, 2024a), para guiar as ações de reconstrução, este mapa foi produzido a partir da conjunção de distintos mapeamentos e bases de dados de diversas instituições. O MUP indica que em todo o Rio Grande do Sul uma área de 16.387 km² foi diretamente afetada pelo evento, equivalendo à cerca de 6,1% do território do Estado. Detalhes sobre a elaboração do MUP podem ser visualizadas na nota técnica (Rio Grande do Sul, 2024b). Ao comparar a área diretamente afetada de alguns municípios aqui mapeados com o dado oficial do Governo do Estado do Rio Grande do Sul, nota-se uma concordância em termos de área, com algumas discordâncias, pois se trata de abordagens distintas com dados de entradas diferentes.

Neto et al. (2025) identificaram que 10.744 km² foram afetados pela inundação em porção do Rio Grande do Sul no evento de abril e maio de 2024 por meio de imagens Sentinel-2. A área de estudo ultrapassa a Região Hidrográfica do Guaíba e utiliza uma divisão espacial distinta, englobando as bacias hidrográficas da Lagoa dos Patos e da Lagoa Mirim. Nota-se expressiva similaridade visual com o mapeamento aqui produzido para a RHGB (**Figura 3**), contudo, a abordagem aqui desenvolvida com imagens *Planet* identificou áreas na bacia hidrográfica do Alto Jacuí e no Taquari-Antas, que não estão presentes no mapeamento de Neto et al. (2025). Tal diferença justifica-se pelo emprego de imagens de alta resolução espacial e pela inclusão das marcas da inundação deixadas por enxurradas no propósito do mapeamento. Ademais, é importante destacar as similaridades encontradas com Neto et al. (2025), que identificaram uma área inundada de 136,8 km² no município de Venâncio Aires, e no estudo aqui desenvolvido identificou-se um valor próximo de 139,96 km² (**Tabela 5**).

O mapeamento da inundação de abril e maio de 2024 produzido por Rathore et al. (2024) ao longo do Rio Jacuí apresenta semelhança espacial com os resultados aqui encontrados, os autores indicam que 1.481,64 km² de

áreas agrícolas e 76,2 km² de áreas urbanas foram inundadas. Valores distintos dos encontrados aqui pela mancha de inundação com imagem *Planet* (2.911,18 km²). Esta diferença justifica-se pelo método adotado pelos autores que majoritariamente utilizaram imagens Sentinel-1 e Sentinel-2 com 10 metros de resolução espacial, havendo diferença de escala, e pelo fato de estes valores não considerarem demais classes de uso e cobertura da terra que foram inundadas.

Paiva et al. (2025) realizaram uma modelagem hidrológica para produzir a mancha de inundação para o evento de abril e maio de 2024, a mancha gerada pela modelagem possui similaridade espacial com a aqui produzida com sensoriamento remoto ao longo do Rio Jacuí e as principais diferenças concentram-se na bacia hidrográfica do Alto Jacuí e Taquari-Antas. Os distintos mapeamentos propostos por Possantti et al. (2024) foram utilizados nos estudos de Paiva et al. (2025) e Collischonn et al. (2025), e também na elaboração do MUP (Rio Grande do Sul, 2024a). Um dos mapeamentos produzido por Possantti et al. (2024) com base em sensoriamento remoto utilizou imagens Sentinel-2 para mapear a inundação de abril e maio de 2024 e apresenta similaridades espaciais significativas com o mapeamento aqui elaborado (**Figura 3**). Os trabalhos mencionados demonstram o potencial e a importância do uso de imagens de sensoriamento remoto para o mapeamento de inundações, principalmente em momentos de desastres de grande magnitude espacial, corroborando com o evidenciado pelo mapeamento da inundação de abril e maio de 2024 com imagens *Planet* aqui desenvolvido.

Além disso, a ocorrência de inundações graduais e enxurradas tornou os mosaicos analisados mais complexos, com elevada mistura de alvos, o que dificulta o processo de classificação de imagens. Entretanto, o emprego da ACP neste estudo permitiu realçar os alvos de interesse, considerando que se tratava de uma área complexa, com presença de lama e de águas com distintas tonalidades, relacionada à carga de sedimentos. O que resultou em resultados mais acurados no processo de classificação de imagens, situação similar é destacada por Wang et al., (2021) e Sartorio et al., (2023).

O classificador *Random Forest* se apresentou eficiente para identificar os distintos alvos e formar a mancha de inundação, corroborando com os resultados de Ganjirad e Decolar (2023), Zhu e Zhang (2022) e Farhadi e Najafzadh (2021). Assim, a combinação das técnicas de ACP, de GEOBIA e de aprendizagem de máquinas contribuíram para a melhor separabilidade dos alvos, considerando a complexidade presente na cena, produzindo resultados satisfatórios no processo de classificação de imagens para a identificação da mancha de inundação, que posteriormente formou a ADA por meio de técnicas de geoprocessamento.

As limitações do trabalho desenvolvido colocaram-se pelo desafio de mapear a inundação e suas marcas em uma área tão extensa com baixa disponibilidade de imagens livres de nuvens, tornando necessário o uso de mosaicos de datas distintas. Este mesmo desafio foi também enfrentado por Rathore et al. (2024), que optou pelo uso de imagens de radar do Sentinel-1 combinadas a imagens ópticas do Sentinel-2, para superar o problema da elevada cobertura de nuvens. Também destaca-se a elevada demanda computacional para processar todos os mosaicos utilizados para cobrir a RHGB.

Por outro lado, a baixa disponibilidade de imagens de alta resolução espacial para coleta de pontos para validação e sua concentração espacial é uma limitação ao método utilizado, por não permitir uma distribuição espacial homogênea dos pontos de validação sobre a área de estudo. Este desafio se coloca pela grande extensão

da área e pela necessidade de recursos financeiros para a obtenção de imagens de elevada resolução espacial, sendo necessário utilizar as cedidas gratuitamente. Além disso, a não realização de visitação in loco para coletas de amostras não permite a obtenção da verdade de campo, se tratando de um resultado obtido somente por meio de sensoriamento remoto, porém deve-se considerar que diversas localidades da área de estudo ficaram inacessíveis por longos períodos.

Apesar de apresentar limitações metodológicas inerentes ao uso exclusivo de sensoriamento remoto, como a não realização de saídas de campo e a não integração com dados hidrológicos, o estudo permitiu delimitar espacialmente a mancha de inundação e a ADA para fins de gestão territorial rápida e com baixo custo operacional e logístico para sua execução, foco deste trabalho. Entretanto, reconhece-se a importância da realização de saídas de campo para fins de validação e a integração com dados hidrológicos, como desenvolvido por Paiva et al. (2025) que modelou o fenômeno e aprofundou a compreensão. Estudos desenvolvidos por Rathore et al. (2024), Neto et al. (2025) e Collischonn et al. (2025) também produziram análises hidrológicas e climatológicas para compreender a inundação de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul.

7 Considerações Finais

A RHGB testemunhou movimentos de massa, enxurradas e inundações prolongadas ao decorrer do desastre. Tais inundações nas planícies, seguidas de movimentos de massa nas encostas íngremes, foram considerados o maior desastre climático ocorrido no Rio Grande do Sul. Portanto, este trabalho teve como objetivo produzir a mancha de inundação e a área diretamente afetada do desastre climático de abril e maio de 2024 no Rio Grande do Sul para a Região Hidrográfica do Guaíba a partir de imagens ópticas de alta resolução espacial *Planet*, para tal fez uso de técnicas de processamento digital de imagens e geoprocessamento.

O mapeamento com imagens de alta resolução espacial permitiu detalhar a magnitude do evento e determinar com maior precisão as áreas atingidas, principalmente em áreas urbanas, as quais foram severamente afetadas. Os resultados indicaram que a mancha de inundação na RHGB possuiu uma área de 2.911,18 km² e a ADA de 4.137,06 km², com 4,85% da área total da Região Hidrográfica do Guaíba atingida pela inundação. Sendo as bacias hidrográficas do Baixo Jacuí, do Lago Guaíba e do Gravataí as mais afetadas. A validação da ADA indica uma acurácia global de 81,2%, uma precisão de 80,3% e um *recall* de 87,5%. Resultado considerando satisfatório, considerando a extensa área mapeada, a dificuldade de obtenção de cenas com baixa cobertura de nuvens e a complexidade dos alvos presentes nas imagens de satélite.

A elaboração de uma área diretamente afetada a partir de imagens de alta resolução espacial fornece uma base precisa e de detalhe para a compreensão do evento, colaborando para a construção de planos de prevenção e mitigação. A bacia hidrográfica do Lago Guaíba teve 8,94% de sua área diretamente afetada pela inundação, com concentração nas porções urbanas, e os municípios de Esteio (RS), Nova Santa Rita (RS) e Canoas (RS) tiveram mais de 45% de sua área atingida pela inundação. Neste contexto, o mapeamento pós-evento preciso destas áreas afetadas é essencial para a avaliação dos impactos do evento nos municípios mais atingidos. Especialmente em áreas urbanas densamente povoadas, como na região metropolitana de Porto Alegre, que necessitam elaborar planejamentos urbanos que considerem a crise climática em curso.

Destaca-se a importância do emprego de geotecnologias, como imagens de satélite e técnicas de processamento digital de imagens, em momento de desastres. Estas técnicas e ferramentas possibilitam a execução de análises de forma eficiente e eficaz, fornecendo um retorno rápidas às forças de primeira resposta. A identificação das áreas afetadas pela inundação é extremamente importante para mensurar a magnitude do dano, sua distribuição espacial e temporal, bem como o planejamento e execução de planos de mitigação e adaptação. O emprego da ADA como um polígono homogêneo, por englobar a área afetada pelo evento, permite o cruzamento com dados espaciais e sua compatibilização, auxiliando na mensuração do dano e subsidiando ações de gestão e planejamento. Conclui-se que o uso do sensoriamento remoto em momentos de desastres para mapear a área afetada possui grande valor, pois torna possível a produção de mapeamentos precisos de forma eficiente, gerando dados com menor custo operacional. Considerando a dificuldade de acesso à muitas localidades durante o evento e os custos logísticos para cobrir grandes áreas.

Dentre as limitações do estudo destaca-se a dificuldade para obter imagens da mesma data sem cobertura de nuvens que cobrissem a extensa área de estudo, o que tornou necessário o emprego de mosaico de datas distintas e que representavam tanto a inundação como as marcas do evento. Por fim, entre as limitações também há a não validação dos dados em campo do mapeamento e a concentração espacial das imagens de alta resolução espacial disponibilizadas para validação. Estudos futuros podem buscar empregar o uso do sensoriamento remoto aliado a coleta de pontos de validação em campo, bem como o uso de imagens de radar para superar o problema da elevada cobertura de nuvens. Propostas futuras podem expandir o mapeamento com imagens *Planet* para demais regiões do Estado, como no estuário da Laguna dos Patos, bem como a integração com dados hidrológicos.

Contribuições das pessoas autoras (CRediT): Concepção: Letícia Figueiredo Sartorio e Marcos Wellausen Dias de Freitas; metodologia: Letícia Figueiredo Sartorio e Marcos Wellausen Dias de Freitas; coleta/produção de dados: Letícia Figueiredo Sartorio e Marcos Wellausen Dias de Freitas; escrita (primeira versão): Letícia Figueiredo Sartorio e Marcos Wellausen Dias de Freitas; escrita (revisão e edição): Letícia Figueiredo Sartorio e Marcos Wellausen Dias de Freitas; supervisão: Marcos Wellausen Dias de Freitas. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

Disponibilidade de dados: Os dados que subsidiam os resultados deste estudo estão disponíveis em: Mancha de Inundação e Área Diretamente Afetada para a Região Hidrográfica do Guaíba - 2024, https://doi.org/10.17605/OSF.IO/9GU5S".

Financiamento: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradecimentos: Agradecimentos à Assessoria de Operações e Defesa Civil (AODC) do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul (CBMRS).

Declaração do uso de inteligência artificial: As pessoas autoras declaram não ter utilizado ferramentas de inteligência artificial em nenhuma etapa da elaboração do manuscrito ou da realização da pesquisa.

Conflito de interesses: As pessoas autoras declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência na concepção do estudo; na coleta/produção, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito; ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

AIRBUS DEFENCE AND SPACE. Pléiades-Neo 3 (VNIR) imagery. Toulouse: Airbus Defence and Space, 2024. Imagem fornecida via International Charter Space and Major Disasters.

ANDRADES-FILHO, C. O.; MEXIAS, L. F. S.; QUEVEDO, R. P.; HERRMANN, P. B.; OLIVEIRA, G. G.; CREMON, É. H.; CARGNIN, B. R.; REIS, M. S.; NOVAKOSKI, K. R.; SANTOS, D. C.; SLUTER, C. R.; IESCHECK, A. L.; GUASSELLI, L. A.; RIBEIRO JUNIOR, M.; GRUBER, N. L. S.; PHILIPP, R. P.; MICHELIN, C. R. L.; VIERO, A. P.;

GONZATTI, C.; ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA-PINZON, E.; SCHUMACHER, R. G.; CÁRDENAS, S. M. M.; SOARES, V. M.; NÚÑEZ, W. P.; MENDONÇA, R. R.; SILVA, M. O. R.; SILVA, M. C.; BRESSANI, L. A.; PERES, L. D. S.; MEVEL, L. B.; DORNELES, J. I.; CACCIATORE, J. A.; JACQUES, F. M.; DUARTE, L. C.; DINIZ, F. C.; PETRY, L.; SCHWARZER, G.; CARNEIRO, M.; GIACCOM, B. The biggest landslide event in Brazil: preliminary analysis of the Rio Grande do Sul mega disaster in May 2024. Landslides, v. 22, p. 3615–3624, 2025. https://doi.org/10.1007/s10346-025-02587-8

BHARADIYA, J. P. A tutorial on principal component analysis for dimensionality reduction in machine learning. International Journal of Innovative Science and Research Technology, v. 8, n. 5, p. 2028-2032, 2023.

BILLAH, M.; ISLAM, A. S.; MAMOON, W. B.; RAHMAN, M. R. Random forest classifications for landuse mapping to assess rapid flood damage using Sentinel-1 and Sentinel-2 data. Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 30, art. 100947, 2023. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100947

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria nº 924, de 22 de abril de 2021. Estabelece a utilização do Procedimento Operacional Padrão Nº 1, de 22 de abril de 2021, registrado no SEI sob o nº 9769545, que constitui a Estrutura para Termo de Referência para elaboração de Estudo de Impacto Ambiental-EIA e o respectivo Relatório de Impacto Ambiental-Rima, no âmbito da DILIC e dos Núcleos de Licenciamentos Ambiental. Brasília, DF: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2021. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138957>. Acesso em: 15 fev. 2026.

BREIMAN, L. Random forests. Machine Learning, v. 45, p. 5-32, 2001. http://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324

CHEN, G.; WENG, Q.; HAY, G. J.; HE, Y. Geographic object-based image analysis (GEOBIA): emerging trends and future opportunities. GIScience & Remote Sensing, v. 55, n. 2, p. 159-182, 2018. https://doi.org/10.1080/15481603.2018.1426092

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; POSSANTTI, I.; DORNELLES, F.; PAIVA, R.; MEDEIROS, M.; MICHEL, G.; MAGALHÃES FILHO, F.; MORAES, S.; MARCUZZO, F.; MICHEL, R.; BESKOW, T.; BESKOW, S.; FERNANDES, E.; SANTOS, L.; RUHOFF, A.; KOBIYAMA, M; COLLARES, G.; BUFFON, F.; DUARTE, E.; LIMA, S.; MEIRELLES, F.; PICCILLI, D. The exceptional hydrological disaster of April-May 2024 in southern Brazil. RBRH, Porto Alegre, v. 30, e1, 2025. https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119

EGAS, H. M.; STABILE, R. A.; ANDRADE, M. R. M.; MICHEL, G. P.; ARAÚJO, J. P. C.; MICHEL, R. D. L.; MENDES, T. S. G.; NERY, T. D.; PAULA, D. S.; RECKZIEGEL, E. W. Comprehensive inventory and initial assessment of landslides triggered by autumn 2024 rainfall in Rio Grande do Sul, Brazil. Landslides, v. 22, p. 579-589, 2025. https://doi.org/10.1007/s10346-024-02410-w

ESA - Agência Espacial Europeia. Copernicus Modelo Digital de Elevação Global. 2021. Distribuído por OpenTopography. https://doi.org/10.5069/G9028PQB

Esri Inc. ArcMap (versão 10.8). Redlands, Estados Unidos, 2020.

FARHADI, H.; NAJAFZADEH, M. Flood risk mapping by remote sensing data and random forest technique. Water, v. 13, n. 21, art. 3115, 2021. https://doi.org/10.3390/w13213115

FAWCETT, Tom. An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters, v. 27, n. 8, p. 861-874, 2006. 10.1016/j.patrec.2005.10.010

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessle. Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul – BCRS25. Porto Alegre: FEPAM, 2018. Escala 1:25.000.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessle. Qualidade da água superficial nas regiões hidrográficas do RS (Guaíba, Litoral e Uruguai): Relatório Técnico. Porto Alegre: FEPAM, 2023. 52p.

GANJIRAD, M.; DELAVAR, M. R. Flood risk mapping using random forest and support vector machine. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 10, p. 201-208, 2023. https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W1-2022-201-2023

GUPTA, R. P.; TIWARI, R. K.; SAINI, V.; SRIVASTAVA, N. A simplified approach for interpreting principal component images. Advances in Remote Sensing, v. 2, n. 2, p. 133-143, 2013. https://doi.org/10.4236/ars.2013.22015

HAN, J.; KAMBER, M; PEI, J. Data mining: concepts and techniques. Waltham: Morgan Kaufmann, 2006. 740p. ISBN 978-0-12-381479-1.

Hexagon. ERDAS IMAGINE (versão 15). Madison, Estados Unidos, 2015. Disponível em: <https://hexagon.com>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos: CNEFE. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha territorial digital do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2025.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202.

KWENDA, C.; GWETU, M. V.; FONOU-DOMBEU, J. V. A critical survey of GEOBIA methods for forest image detection and classification. Geocarto International, v. 38, n. 1, art. 2256302, 2023. https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2256302

LANG, S.; HAY, G. J.; BARALDI, A.; TIEDE, D.; BLASCHKE, T. Geobia achievements and spatial opportunities in the era of big earth observation data. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 8, n. 11, art. 474, 2019. https://doi.org/10.3390/ijgi8110474

LIAO, Y.; WANG, Z.; LAI, C.; XU, C. Y. A framework on fast mapping of urban flood based on a multi-objective random forest model. International Journal of Disaster Risk Science, v. 14, n. 2, p. 253-268, 2023. https://doi.org/10.1007/s13753-023-00481-2

LV, S.; MENG, L.; EDWING, D.; XUE, S.; GENG, X.; YAN, X. H. High-performance segmentation for flood mapping of Hisea-1 SAR remote sensing images. Remote Sensing, v. 14, n. 21, art. 5504, 2022. https://doi.org/10.3390/rs14215504

MALLINIS, G.; GITAS, I. Z.; GIANNAKOPOULOS, V.; MARIS, F.; TSAKIRI-STRATI, M. An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. International Journal of Digital Earth, v. 6, p. 124-136, 2013. https://doi.org/10.1080/17538947.2011.641601

MARCUZZO, F. F. N.; BAO, R.; MENDES, D. V.; TRÄSEL, L.; KENUP, R. E. Inundação de maio de 2024 no Rio Grande do Sul: levantamento dos níveis máximos da inundação em estações fluviométricas do Serviço Geológico do Brasil. In: XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 21, 2025, Salvador. Anais eletrônicos... Campinas: Galoá, 2025. ISBN 978-65-80968-29-9.

MARENGO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇALVES, D.; LUIZ, R.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MORAES, O. L. L.; ALVALÁ, R. C. S.; SELUCHI, M. E.; CUNHA, A. P. M. A.; NOBRE, C. A. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. Estudos Avançados, São Paulo, v. 38, n. 112, p. 203-228, 2024. https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240119

MAXAR TECHNOLOGIES. Maxar Open Data Program: Brazil-Flooding-May24. Westminster: Maxar Technologies, 2024.

NETO, J. B. F.; FREITAS, M. S.; SIMÕES, P. S. M.; PEREIRA, G.; LEÃO, H. S.; CALMON, A. V. V.; GÜCKER, B. Impact of April and May, 2024 extreme precipitation on flooding in Rio Grande do Sul, Brazil. Urban Climate, v. 61, art. 102487, 2025. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2025.102487

PAIVA, R. C. D.; FAN, F.M; COLLISCHONN, W.; MEDEIROS, M, S.; OLIVEIRA, R.C.; LIMA, S.G.; CAMARGO, P.; MEDEIROS, P.M. Caracterização e modelagem das cheias de 2023 e 2024 no Rio Grande do Sul em escala regional. Porto Alegre: IPH, 2025. 223p.

PANĐA, L.; KRVAVICA, N.; ŠILJEG, A.; DOMAZETOVIĆ, F.; MARIĆ, I.; ŠILJEG, S.; MILOŠEVIĆ, R. Pluvial flood hazard analysis in the sub-catchment of the Metković City. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ENVIRONMENTAL REMOTE SENSING AND GIS, 2024. Proceedings..., 2024. p. 43-47. https://doi.org/10.5281/zenodo.11643586

PLANET LABS. PlanetScope. Disponível em: <https://docs.planet.com/data/imagery/planetscope/#psbsd>. Acesso em: 2 abr. 2026.

PLANET TEAM. Planet Application Program Interface: in space for life on earth. San Francisco: Planet, 2017.

POSSANTTI, I.; AGUIRRE, A.; ALBERTI, C.; ANDRADES FILHO, C.; AZEREDO, L.; BALBON, J.; BARBEDO, R.; BARCELOS, M.; BECKER, F.; BEDIN, M.; BREGALDA, N.; CACCIATORE, J.; CAMANA, M.; CAMARGO, P.; CANTOR, G.; CARDOZO, T.; CARGNIN, B.; CARRARD, G.; CASTILHOS, M.; CAZANOVA, R.; CHIARELLI, F.; COLLISHONN, W.; CORNELY, A.; CREMON, É.; CUNHA, L.; CUNHA, R.; CÁRDENAS, S.; DORNELES, J.; DORNELLES, F.; ECKHARDT, R.; FAN, F.; FRONER, M.; GIACCOM, B.; GIASSON, S.; GOLDENFUM, J.; GONZÁLEZ-ÁVILA, I.; GONÇALVES, C.; GONÇALVES, G.; GUASSELLI, L.; GUIMARÃES, E.; GUIMARÃES, E.; HELLMANN, A.; HERRMANN, P.; HORSTMANN, G.; IABLONOVSKI, G.; IESCHECK, A.; KIPPER, P.; KOBYAMA, M.; KRASNER, M.; KROB, L.; KUELE, P.; LAIPELT, L.; LUTZ, V.; MACIEL, J.; MAGALHÃES, F.; MALLET, J.; MARQUES, B.; MARQUES, G.; MEIRELLES, F.; MEXIAS, L.; MICHEL, G.; MICHEL, R.; MINCARONE, M.; MOURA, E.; MÜLLER, J.; NEVES, É.; NICOLINI, I.; NONNEMACHER, L.; NOVAKOSKI, K.; OLIVEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; OTT, P.; PAIVA, R.; PERES, L.; PETRY, L.; QUEVEDO, R.; QUINTELA, R.; RAMOS, M.; RAUBER, A.; REIS, M.; RIBEIRO, M.; RIGHI, M.; RISSO, A.; RODRIGUES, R.; ROITMAN, A.; RORATO, G.; ROYER, S.; RUHOFF, A.; RUOSO, E.; SAMPAIO, M.; SCHABBACH, L.; SCHIAFFINO, M.; SCHMITT, H.; SCHUMACHER, R.; SCHWARZER, G.; SERRANO, N.; SIGALLIS, A.; SILVA, M.; SILVA, S.; SLUTER, C.; SOARES, L.; SOARES, V.; SOUSA, L.; SOUZA, A.; TSCHIEDEL, A.; UCHA, L.; UMBELINO, G.; UTZIG, E.; ZAMBRANO, F. 2024. Banco de dados das cheias na Região Hidrográfica do Lago Guaíba em Maio de 2024 (versão 1.2) [Data set]. Zenodo. https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.11164049

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System (versão 3.40). 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

RATHORE, J.; KUMARI, S.; TRIPATHY, P.; MAHTO, S. S.; LAL, P. 2024 Brazil floods: mapping the extent and impacts in Eastern Rio Grande do Sul using geospatial techniques. Natural Hazard Research, v. 5, n. 4, p. 851-861, 2025. https://doi.org/10.1016/j.nhres.2025.03.011

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena, Áustria, 2020. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). Mapa Único do Plano Rio Grande (MUPRS). Porto Alegre: SPGG, 2024a.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Economia e Estatística. Elaboração do Mapa Único do Plano Rio Grande (MUPRS). Porto Alegre: SPGG/DEE, 2024b. 16p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Painel mapa escolar: escolas do RS. In: INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO RIO GRANDE DO SUL. Porto Alegre: SPGG, 2025b.

RIO GRANDE DO SUL. Defesa Civil atualiza balanço das inundações no RS 24/04/2025. Porto Alegre: Defesa Civil, 2025a. Disponível em:< https://defesacivil.rs.gov.br/defesa-civil-atualiza-balanco-das-enchentes-no-rs-10-7-66b67813ba21f-66c4eed627af9-680aa31f76e02>. Acesso em: 27 out. 2025.

ROBAINA, L. E. S. Áreas de risco por processos de dinâmica geomorfológica: introdução ao tema. In: GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; ALVES, R. C. M. Eventos Extremos no Rio Grande do Sul: Inundações e Movimentos de Massa. Porto Alegre: Evangraf, 2013. p. 11-24. ISBN 978-85-7727-619-6.

SARTORIO, L. F.; VARNIER, M. J.; FELIPPE, L. D. S.; ZANOTTA, D. C.; FREITAS, M. W. D. de; GRONDONA, A. E. B. Análise Comparativa Entre o Uso de Bandas Espectrais e o Uso da Análise de Componentes Principais (ACP) na Classificação de Uso e Cobertura da Terra. Revista Brasileira de Cartografia, v. 75, 2023. https://doi.org/10.14393/rbcv75n0a-68010

SHULTS, R.; FARAHAT, A.; USMAN, M.; RAHMAN, M. M. Multi-Temporal Remote Sensing Satellite Data Analysis for the 2023 Devastating Flood in Derna, Northern Libya. Remote Sensing, v. 17, n. 4, p. 616, 2025. https://doi.org/10.3390/rs17040616

Trimble. eCognition (versão 9). Munique, Alemanha, 2014. Disponível em: <https://geospatial.trimble.com>.

UNISDR - UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. Geneva: UNISDR, 2015. 32p.

WANG, C.; WU, P.; YAN, L.; YE, Z.; CHEN, H.; LING, H. Image classification based on principal component analysis optimized generative adversarial networks. Multimedia Tools and Applications, v. 80, n. 6, p. 9687-9701, 2021. https://doi.org/10.1007/s11042-020-10137-8

WANG, M.; ZHENG, B.; WANG, G.; YANG, J.; LU, J.; ZHANG, W. A principal component analysis-based feature optimization network for few-shot fine-grained image classification. Mathematics, v. 13, n. 7, art. 1098, 2025. https://doi.org/10.3390/math13071098

ZANOTTA, D. C.; FERREIRA, M. P.; ZORTEA, M. Processamento de imagens de satélite. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 320p. ISBN 978-85-7975-316-9.

ZHAO, B.; DONG, X.; GUO, Y.; JIA, X.; HUANG, Y. PCA dimensionality reduction method for image classification. Neural Processing Letters, v. 54, n. 1, p. 347-368, 2022. https://doi.org/10.1007/s11063-021-10632-5

ZHU, Z.; ZHANG, Y. Flood disaster risk assessment based on random forest algorithm. Neural Computing and Applications, v. 34, n. 5, p. 3443-3455, 2022. https://doi.org/10.1007/s00521-021-05757-6

SOBRE A AUTORIA

Letícia Figueiredo Sartorio

É doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Mestra em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2023) e graduada em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande (2022). Atua e desenvolve pesquisas sobre estudos integrados da paisagem, com ênfase em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6936-9939
E-mail: leticia.sartorio98@gmail.com

Marcos Wellausen Dias de Freitas

É professor no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Doutor em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2013), mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2006) e graduado em Geografia pela Universidade Federal Fluminense (2003). Atua e desenvolve pesquisas sobre Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Geossistemas, Ecologia da Paisagem, modelagem da dinâmica da paisagem e mudanças de uso e cobertura da terra.
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9879-2584
E-mail: mfreitas@ufrgs.br