

**CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA MAIS ATINGIDAS
PELA INUNDAÇÃO DE ABRIL/MAIO DE 2024 NO MUNICÍPIO
DE SÃO JOÃO DO POLÊSINE, RS**

**LAND USE AND LAND COVER CLASSES MOST AFFECTED BY
THE APRIL/MAY 2024 FLOOD IN THE MUNICIPALITY OF SÃO
JOÃO DO POLÊSINE, RS**

**CLASES DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA MÁS
AFECTADAS POR LA INUNDACION DE ABRIL/MAYO DE 2024
EN EL MUNICIPIO DE SÃO JOÃO DO POLÊSINE, RS**

Caroline Moro

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

morocaroline836@gmail.com

Lucian Armindo da Silva Brinco

Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

lucianbrinco@gmail.com

Destaques

- O Sensoriamento Remoto se destaca como uma ferramenta fundamental para a análise das transformações no uso e cobertura da terra e também em relação as questões ambientais e climáticas.
- Atualmente, tem-se uma nova ferramenta de análise de dados de sensoriamento remoto: o GEE. Ele é uma plataforma geoespacial baseada na nuvem, da qual é possível analisar e visualizar as imagens de satélites.
- (...) o Município obteve 1,844 km² ou 183,962 ha atingidos pelo desastre climático.
- (...) as principais classes afetadas foram o solo exposto (86,90%), que corresponde na maioria das vezes às áreas de agricultura na unidade territorial em estudo, e os corpos de água de forma direta (6,21%).
- (...) averiguou-se que a inundação afetou 3,66% da classe da vegetação arbórea, visto que as árvores próximas dos corpos de água foram arrastadas pela correnteza da   gua.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar as principais Classes de Uso e Cobertura da Terra (*Land Use and Land Cover* [LULC]) afetadas pela inundação de abril/maio de 2024 no município de São João do Polêsine, RS. Para tanto, na metodologia da pesquisa foram executados 3 procedimentos utilizando a plataforma do *Google Earth Engine*: (1) a classificação de uso da terra, com imagens do Landsat-8, em que foi aplicada uma mediana para aperfeiçoar o processo; (2) a avaliação da elevação da área de estudo, com o uso de dados a partir do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); (3) a delimitação da cota de inundação a partir do Sentinel-2, para identificar áreas suscetíveis a inundações e posterior o percentual de cada classe atingida. Os resultados indicaram que as principais classes afetadas pela inundação foram o solo exposto (86,90%) e os corpos de água (6,21%). Porém, todas as classes foram afetadas por este evento climático extremo, ocasionando perdas materiais, econômicas e vítimas fatais. Conclui-se que o uso das geotecnologias permitiu a análise das consequências e impactos deixados pelo fenômeno atmosférico que atingiu o estado, destacando a importância do planejamento e ordenamento territorial do Município e futuras tomadas de decisões.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Evento extremo. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the main Land Use and Land Cover (LULC) classes affected by the April/May 2024 flood in the municipality of São João do Polêsine, RS. For this purpose, three procedures were carried out using the Google Earth Engine platform: (1) land use classification, with Landsat-8 images, where a median was applied to enhance the process; (2) evaluation of the study area's elevation, using data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); (3) delimitation of the flood level based on Sentinel-2 data to identify flood-prone areas and later determine the percentage of each affected class. The results indicated that the most affected classes were exposed soil (86.90%) and water bodies (6.21%). However, all classes were impacted by this extreme weather event, causing material and economic losses as well as fatal victims. It is concluded that the use of geotechnologies allowed for an analysis of the consequences and impacts of the atmospheric phenomenon that affected the state, emphasize the importance of planning and territorial ordering of Municipality and future decision-making.

Keywords: Remote sensing. Extreme event. Climate change.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue analizar las principales Clases de Uso y Cobertura de la Tierra (*Land Use and Land Cover* [LULC]) afectadas por la inundación de abril/mayo de 2024 en el municipio de São João do Polêsine, RS. La metodología comprendió tres procedimientos utilizando la plataforma Google Earth Engine: (1) la clasificación del uso del suelo con imágenes del satélite Landsat-8, aplicando una mediana para optimizar el proceso; (2) la evaluación de la elevación del área de estudio, con base en datos de la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM); y (3) la delimitación de la cota de inundación a partir de imágenes Sentinel-2, con el fin de identificar áreas susceptibles de



inundación y calcular posteriormente el porcentaje de cada clase afectada. Los resultados indicaron que las principales clases afectadas fueron el suelo expuesto (86,90%) y los cuerpos de agua (6,21%). Sin embargo, todas las clases resultaron impactadas por este evento climático extremo, lo que provocó pérdidas materiales, económicas y víctimas fatales. Se concluye que el uso de geotecnologías permitió un análisis completo de las consecuencias e impactos del fenómeno atmosférico que afectó al estado, destacando la importancia de la planificación y ordenamiento territorial del Municipio para la toma de decisiones futuras.

Palabras clave: Teledetección. Evento extremo. Cambio climático.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são caracterizadas por alterações nos padrões meteorológicos, resultando em estiagens mais frequentes e com maior intensidade, inundações, deslizamentos de terra, temperaturas anormais e rajadas de vento intensas (IPCC, 2021). Em vista disso, estes desequilíbrios estão se tornando cada vez mais recorrentes e intensificados devido a vários fatores, como os gases de efeito estufa emitidos principalmente no Brasil pela supressão da vegetação (Fearnside, 2002). Vale ressaltar que as mudanças climáticas podem ocorrer por causas naturais ou pela ação do homem (Blank, 2015).

Nesse sentido, a inundação ocorrida em abril/maio de 2024 no Estado do Rio Grande do Sul (RS) é um evento extremo, que pode ser o resultado das mudanças climáticas, pois, segundo Marengo *et al.*, (2024), as alterações do clima contribuem para o aumento de desastres ambientais. Este ocorrido proporcionou diversos impactos negativos nessa unidade territorial, sendo alguns deles: danos materiais e econômicos, perda de biodiversidade, morte de pessoas, erosão do solo, assoreamento dos rios, acúmulo de resíduos e rejeitos nos recursos hídricos (Rio Grande do Sul, 2024).

Além do mais, a cobertura da terra representa tudo o que a cobre, ou seja, é a camada física que está sobre a mesma (Silva, 2023). Já o uso da terra são as funções e utilizações designadas para cada meio com base em aspectos econômicos, sociais e ambientais (Partido Verde, 2018). Atualmente, o modo de uso e cobertura da terra apresenta impactos negativos para o meio natural, causando, por exemplo, erosão do solo, degradação dos recursos hídricos e fragmentação de áreas de floresta (Santos; Santos, 2010).



Neste âmbito, as mudanças do uso e cobertura da terra são um dos fatores que contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, sendo que o aumento dessas emissões pode influenciar em eventos climáticos extremos (Sousa *et al.*, 2020). As condições climáticas podem mudar com a supressão da vegetação, solo desnudo e outras atividades relacionadas ao uso da terra, como a agricultura e a construção de grandes cidades (Marengo, 2007). Dessa forma, na busca pela mitigação dos impactos negativos e na compreensão das transformações da paisagem, foi criado o projeto *International Land Use and Land Cover Change* (LULC), elaborado e gerenciado pela *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change* (Santos; Santos, 2010). Esse projeto permite analisar e entender como as diferentes classes de uso e cobertura da terra são atingidas ou influenciadas pelos fenômenos climáticos, de forma temporal e espacial.

Tendo isso em vista, o Sensoriamento Remoto (SR) se destaca como uma ferramenta fundamental para a análise dessas transformações de uso e cobertura da terra e também em relação às questões ambientais e climáticas (Mascarenhas; Ferreira; Ferreira, 2009; Santos *et al.*, 2024). Ele é uma técnica que possibilita a captura de imagens, informações e outros dados da superfície terrestre (Cola; Bazan; Lopes, 2019). Sendo assim,

o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética (Maio *et al.*, 2008).

Nesse sentido, os dados são coletados a partir de sensores instalados em plataforma terrestre, aérea (aviões, drones) e orbital (satélites) (Florenzano, 2011). Para estudar dados de SR tem-se diferentes ferramentas como o ArcGIS, QGIS e *Google Earth Engine* (GEE).

O SR possui variados objetivos. Um deles é o de distinguir e identificar os diferentes materiais na superfície terrestre, tais como vegetação, solo exposto, cultivos agrícolas/pastagem, áreas edificadas, corpos de água (Crósta, 1992). O mesmo autor ressalta que a distinção desses materiais ocorre por meio da identificação de comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, em um processo denominado como classificação digital de imagens. Nessa conjuntura, Crósta (1992)



ressalta que a classificação digital de imagens consiste em “associar cada pixel da imagem a um ‘rotulo’ descrevendo um objeto real” (p. 107). Eles são definidos pela refletância dos materiais. Nesse sentido, áreas edificadas, por exemplo, possuem pixels de cor branca, já a água azul escuro.

Segundo Bernardes, Alves e Vieira (2007), a classificação digital de imagens automática proporciona a extração rápida de informações, das quais utiliza-se para a definição de ocupações das superfícies. Esta classificação pode ser considerada supervisionada ou não supervisionada. A primeira consiste em um conjunto de áreas representativas selecionadas para treinar o classificador, tais como amostras de vegetação, corpos de água, dentre outros (Bernardes; Alves; Vieira, 2007). Já a classificação não supervisionada é aquela em que não é possível definir áreas de representatividade para o treinamento (Bernardes; Alves; Vieira, 2007). Nela, algoritmos fazem o reconhecimento por meio de regras estatísticas das classes presentes na imagem.

Atualmente, tem-se uma nova ferramenta de análise de dados de SR: o GEE. Ele é uma plataforma geoespacial baseada na nuvem, que permite analisar e visualizar as imagens de satélites. Nesta plataforma é possível obter informações por meio do catálogo de dados e importar para o espaço de trabalho do GEE. Este catálogo possui diferentes tipos de dados, tais como de pluviosidade, temperatura da superfície, elevação, além de dados e produtos derivados dos satélites Landsat, *Aqua/Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e Sentinel (Becker *et al.*, 2019; Lobo; Ramalho; Sinotti, 2020).

O GEE é executado a partir da linguagem de programação *JavaScript*. Com essa plataforma é possível analisar diferentes dados de cunho social, econômico e ambiental, dentre as quais pode-se destacar as inundações, secas, desmatamento, velocidade do vento, temperatura, dentre outras (Prado *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2020). Assim, ressalta-se que a classificação digital de imagens pode ser realizada na plataforma do GEE, da qual possui velocidade no processo, tratamento de grande quantidade de dados e variadas análises em uma mesma área (Carvalho; Magalhães Filho; Santos, 2021).

Nesse contexto, destaca-se que a classificação e análise do uso e cobertura da terra de um determinado lugar é necessária para o desenvolvimento sustentável e territorial desse local. Pesquisas com essa problemática tem potencial para contribuir com

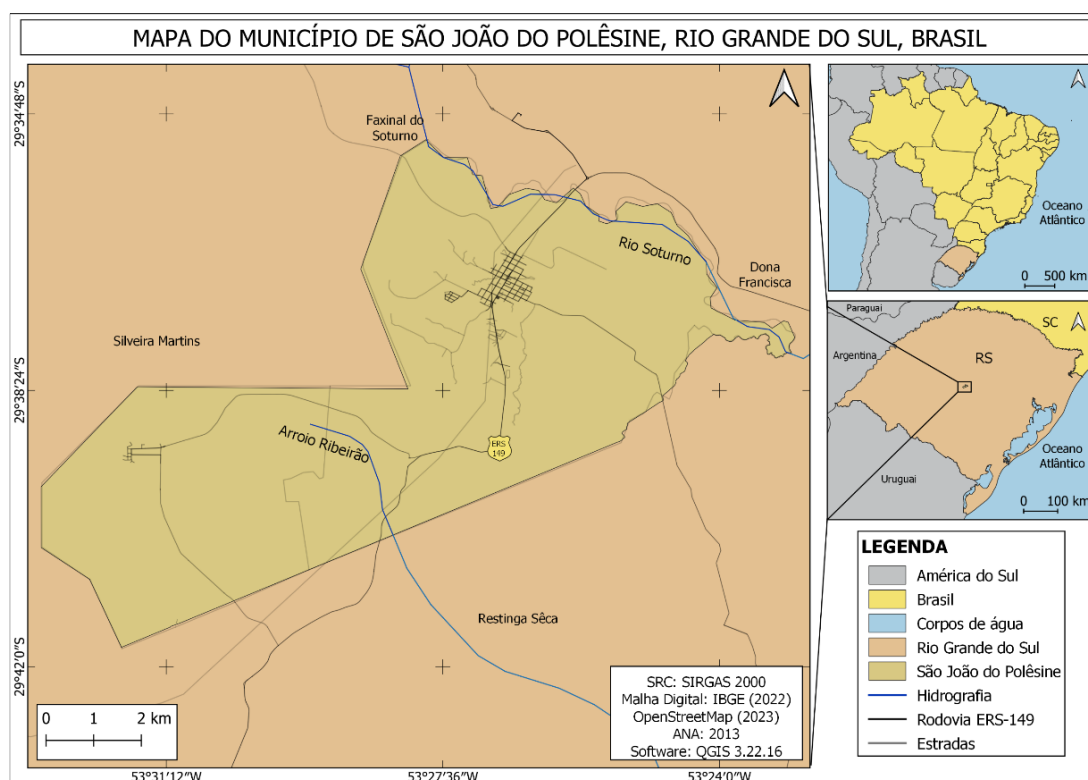


o planejamento e ordenamento territorial e para as futuras tomadas de decisões (Araújo Filho; Meneses; Sano, 2007). Também é fundamental para a ocupação ordenada do espaço físico, monitoramento ambiental, zoneamento, ferramenta de análise para diagnóstico ambiental e sistemas de gestão ambiental (SGA). Por isso, o objetivo do presente artigo foi determinar quais classes de uso e cobertura da terra que foram mais afetadas pela inundação de abril/maio de 2024 no município de São João do Polêsine, RS.

ÁREA DE ESTUDO

O município de São João do Polêsine está localizado no RS e foi emancipado em 1992. Atualmente abrange 3 distritos, sendo eles: Sede, Recanto Maestro e Vale Vêneto (Prefeitura Municipal de São João do Polêsine, 2024). De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022a; 2023), São João do Polêsine (Figura 1), possui 2.649 habitantes, área territorial de 78,320 km² e densidade demográfica de 33,82 habitantes por km². Segundo o IBGE (2021), o PIB *per capita* é de R\$ 41.347,83.

Figura 1 - Localização do município de São João do Polêsine em relação ao RS e ao Brasil



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

Conforme matéria divulgada pelo Diário de Santa Maria (2023), São João do Polêsine faz parte dos municípios considerados da Quarta Colônia e também pertence ao Geoparque Quarta Colônia pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Este Município possui na sua origem a forte cultura de imigração italiana. Também apresenta diferentes pontos turísticos e eventos tradicionais, sendo alguns deles: Museu do Imigrante Italiano, Igreja Matriz São João Batista, Festival Nacional do Arroz, Centro de Apoio à Pesquisa Paleontológica da Quarta Colônia (CAPPA), Painele Os Tropeiros, Monumento Máquina a Vapor, Monumento Nossa Senhora da Salette, Gruta Nossa Senhora de Lourdes, Festival Internacional de Inverno em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Museu Casa Diácono João Luiz Pozzobon, dentre outros (Prefeitura Municipal de São João do Polêsine, 2024).

Segundo os dados do IBGE (2019), o município de São João do Polêsine possui 2,24 km² de área urbanizada, ou seja, contém uma pequena parcela de área urbana. Isto ocorre porque a área da unidade territorial em estudo, de acordo com o IBGE (2022a), abrange 78,320 km². Dessa forma, percebe-se que dispõe de uma porção de 76,08 km² de Município contendo apenas 2,24 km² de área urbana.

Atualmente, o Município pertence ao Corredor Ecológico da Quarta Colônia. Este corredor abrange 124.947 ha de Zona Núcleo, da qual contempla São João do Polêsine (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2024). O Município está quase todo incluído na Zona de Transição, englobando a sua porção sul e sudoeste. Tendo isso em vista, é fundamental para a permanência da biodiversidade de fauna e flora característica da região central (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2024).

São João do Polêsine está situado na região central do RS, ou seja, na Depressão Central do Vale do Jacuí (Prefeitura Municipal de São João do Polêsine, 2024). Nesse âmbito, o lugar está posicionado na “zona de transição entre o Planalto e a Depressão Central, denominada de Rebordo do Planalto do RS, com 90 km². O relevo da área de estudo oscila de ondulado a montanhoso” (Franco *et al.*, 2015, p. 1). Ademais, ele pertence ao clima subtropical úmido (*Cfa*) (Pedron; Rosa; Dalmolin, 2012).



METODOLOGIA

A metodologia do presente artigo teve como referência o trabalho desenvolvido por Carvalho, Magalhães Filho e Santos (2021). Para analisar as principais classes afetadas pela inundação nos meses de abril e maio de 2024 foram realizados três procedimentos na plataforma do GEE: o primeiro utilizando o Landsat para realizar a classificação supervisionada de imagens digitais dos usos e coberturas da terra, o segundo o SRTM para analisar a elevação do Município de estudo e o terceiro o Sentinel-2 para verificar as áreas afetadas pela inundação.

A escolha do Landsat para a classificação de uso e cobertura da terra deve-se à sua longa série temporal, consistência espectral e a utilização do mesmo em diversos estudos de uso e cobertura da terra, como os de Araújo Filho, Meneses e Sano (2007), Becker *et al.*, (2019) e Bernardes, Alves e Vieira (2007). Nesse contexto, por mais que o Sentinel-2 tenha melhores imagens multiespectrais pelo aprimoramento da resolução espacial e temporal em comparação ao Landsat, não pode-se dizer que ele é mais eficaz no mapeamento de uso e cobertura da terra, visto que, os dois satélites são importantes ferramentas para a classificação da terra e ambos apresentam resultados de classificação semelhantes e satisfatórios (Calixto *et al.*, 2017; Machado, 2020; Pereira *et al.*, 2023).

Para realizar a classificação de uso e cobertura da terra, foi utilizado dados de satélite do Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, disponível na coleção “LANDSAT/LC08/C02/T1_L2” no período de 01 de janeiro de 2016 a 21 de abril de 2024, disposto no catálogo de dados do GEE. A escolha deste intervalo temporal se deve ao fato de abranger um período anterior à inundação e favorecer a identificação, de forma nítida, dos pixels que abrangem cada classe, visto que, quanto maior é o intervalo temporal, maior será a precisão da classificação (Crósta, 1992). A partir disso, foram obtidas 226 imagens, nas quais foi considerada uma cobertura de nuvens de até 10% para garantir uma classificação de melhor qualidade, conforme orientam Salgado *et al.* (2019).

No decorrer da classificação, foi realizada a função de máscara de imagens para remover os *pixels* com baixa nitidez ou que estiverem saturados para melhorar o produto (Crósta, 1992). Nesta função foi utilizada as bandas de qualidade QA_PIXEL e QA_RADSAT para descartar as nuvens e sombras dos *pixels*. Posterior à filtragem das imagens, aplicou-se a função mediana sobre a coleção para cada *pixel*. Tal procedimento



resulta em uma imagem composta que representa a mediana de cada banda espectral do período de estudo. Em vista disso, a aplicação da mediana na classificação de uso e cobertura da terra reduz distorções no processo, minimizando o impacto de valores atípicos como nuvens e sombras (Rosa, 2018). Assim, junto com um período mais longo, proporciona uma classificação mais precisa e aumenta a acurácia do mapeamento.

Ademais, foram calculados os seguintes índices: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); *Enhanced Vegetation Index* (EVI); *Normalized Difference Water Index* (NDWI); NDWI_VEG e o *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Esses índices são utilizados para melhorar a classificação de uso e cobertura da terra e aprimorar a separação entre as classes, pois destacam diferentes tipos de superfícies terrestres, facilitando a distinção, por exemplo, da vegetação arbórea e/ou dos corpos de água (Dias; Machado; Beltrão, 2023; Oliveira; Candeias; Tavares Júnior, 2019).

Para a classificação, utilizou-se o modelo “*Random Forest*”. Ele é um algoritmo que consiste em diversas árvores de decisão baseadas em subconjuntos de uma base de dados (Favieiro, 2019). Assim sendo, o *Random Forest* foi selecionado por ser o mais indicado para mapeamentos com maior precisão de áreas com características diferentes (Cruz; Oliveira, 2021). Ele é um método considerado preciso, eficiente e que possui bom desempenho (Girolamo Neto, 2014).

Dessa maneira, as classes de uso e cobertura da terra foram selecionadas a partir dos principais usos presentes no município de São João do Polêsine, dos quais são a vegetação arbórea, as áreas edificadas, o solo exposto, os corpos de água e a agricultura/pastagem. Estas classes foram adaptadas da pesquisa de Calderano Filho *et al.*, (2013). Assim sendo, o presente artigo, por meio da classificação supervisionada, analisou 5 classes. As amostras coletadas foram divididas em dados de treinamento e de teste, sendo respectivamente, 70% e 30%, bem como é realizado no estudo de Rocha, Körting e Namikawa (2024). Por fim, foi realizada acurácia geral e o índice *Kappa* que varia de 0 a 1 (Souza *et al.*, 2020).

O segundo procedimento da presente pesquisa foi compreender a elevação do terreno do Município. Para isso, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros para verificar as áreas de menor e maior elevação. Dessa forma, fez-se o uso da elevação do



terreno que variou de ≤ 50 a 515 m, com simbologia para determinar as classes de elevação no mapa. Para calcular essa variável do terreno, utilizou-se a função '*ee.Terrain.Slope()*'.

O SRTM possui modelos digitais de elevação. Ele é oferecido pela NASA JPL com a resolução de 1 arco-segundo, ou seja, aproximadamente 30 metros. Para analisar a elevação no presente estudo, foi usado o seguinte script: "*ee.Image("USGS/SRTMGL1_003")*" (National Aeronautics and Space Administration - NASA, 2024). Desse modo, o SRTM foi utilizado para analisar a elevação do Município e, posteriormente, para identificar as áreas afetadas pela inundação.

No terceiro procedimento optou-se pela imagem do satélite Sentinel 2 (MSI), sendo: *ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED")*, com resolução de 10 metros, disponível no catálogo de dados do GEE. O período selecionado para a imagem é de 30/04/2024 a 08/05/2024, sendo a imagem selecionada do dia 06/05/2024. A escolha desse intervalo corresponde ao período pelo qual o estado do RS foi atingido pelas inundações. Estas imagens foram filtradas com cobertura de nuvens inferior a 50%.

O SRTM possibilitou que se identificasse a cota de inundação das áreas do município de São João do Polêsine. Ela foi realizada a partir de uma máscara aplicada nos pixels. Nesse sentido, a cota de inundação utilizada para o estudo foi de 42 metros acima do nível do mar, da qual apresenta de forma representativa as áreas atingidas de estudo. Em vista disso, as pesquisas de Oliveira, Valente e Guasselli (2012) e Peixoto (2019) embasaram na estimativa das cotas de inundação atingidas pelo evento climático por meio da elevação.

Para executar a classificação supervisionada, o SRTM e as áreas atingidas pela inundação foi necessário anexar os modelos e os comandos por meio da linguagem de programação *JavaScript*. Posteriormente, os arquivos em formato (.tiff) e a tabela em formato csv foram salvos no GEE, dos quais os arquivos (.tiff) foram encaminhados para o software QGIS (versão 3.22.16) para a elaboração dos mapas de classificação da terra, de elevação e das áreas inundadas.

Para concluir a interpretação dos dados do mapa de classificação, elevação e áreas atingidas utilizou-se a abordagem quali-quantitativa, analisando os dados como os valores de elevação, a porcentagem de cada classe de uso e cobertura da terra e a porcentagem afetada pela inundação de cada uma das classes. Além disso, realizou-se um

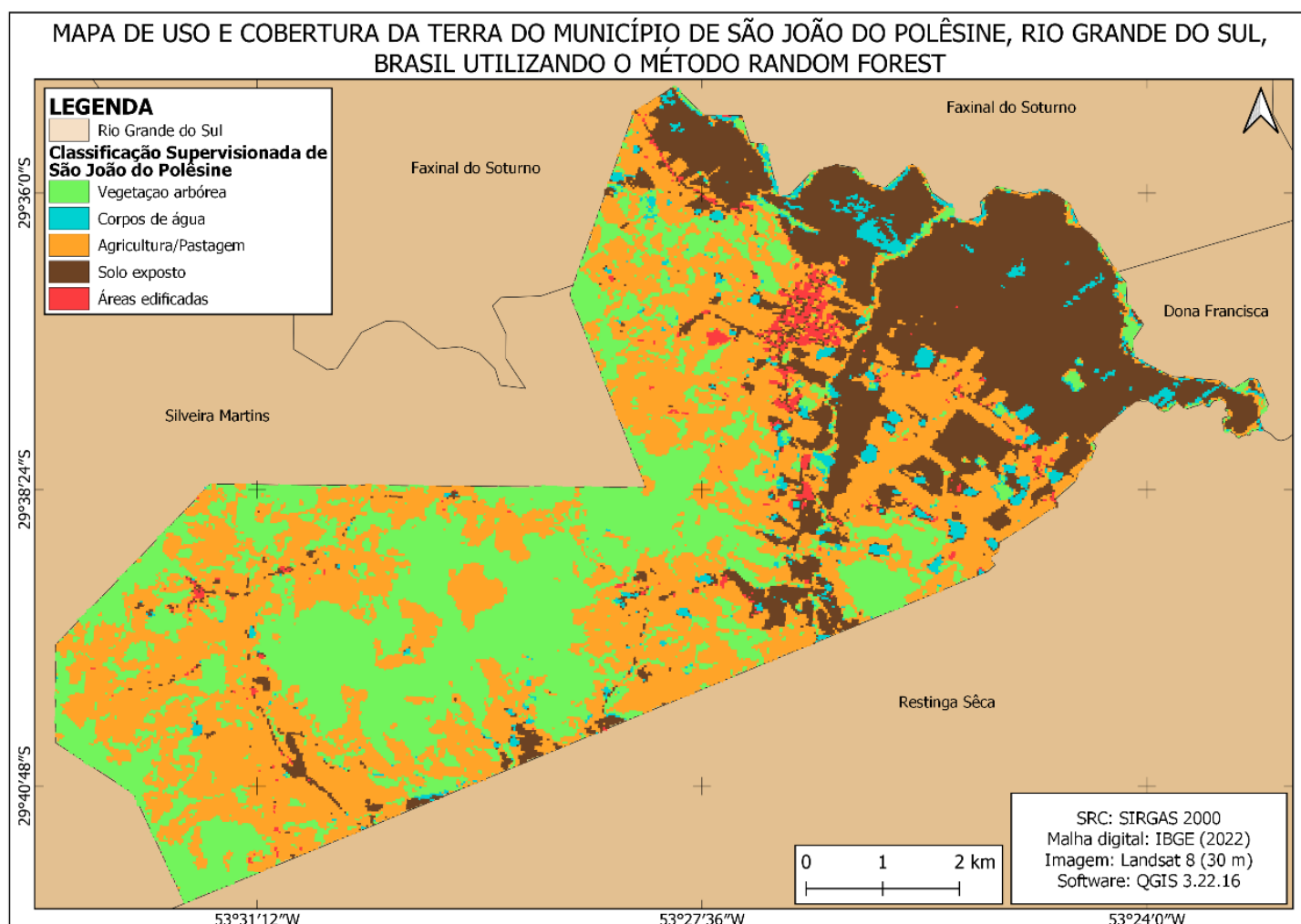


trabalho de campo em setembro de 2024 no município de São João do Polêsine após a inundação, para realizar registros fotográficos dos resquícios deixados pelo desastre climático.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da definição de 5 classes foi possível verificar a distribuição dos usos e coberturas da terra na área de estudo, conforme pode ser visualizada no mapa da Figura 2. O índice *Kappa* e a acurácia geral possuem o valor de 1, sendo classificados como uma concordância excelente (Perroca; Gaidzinski, 2003).

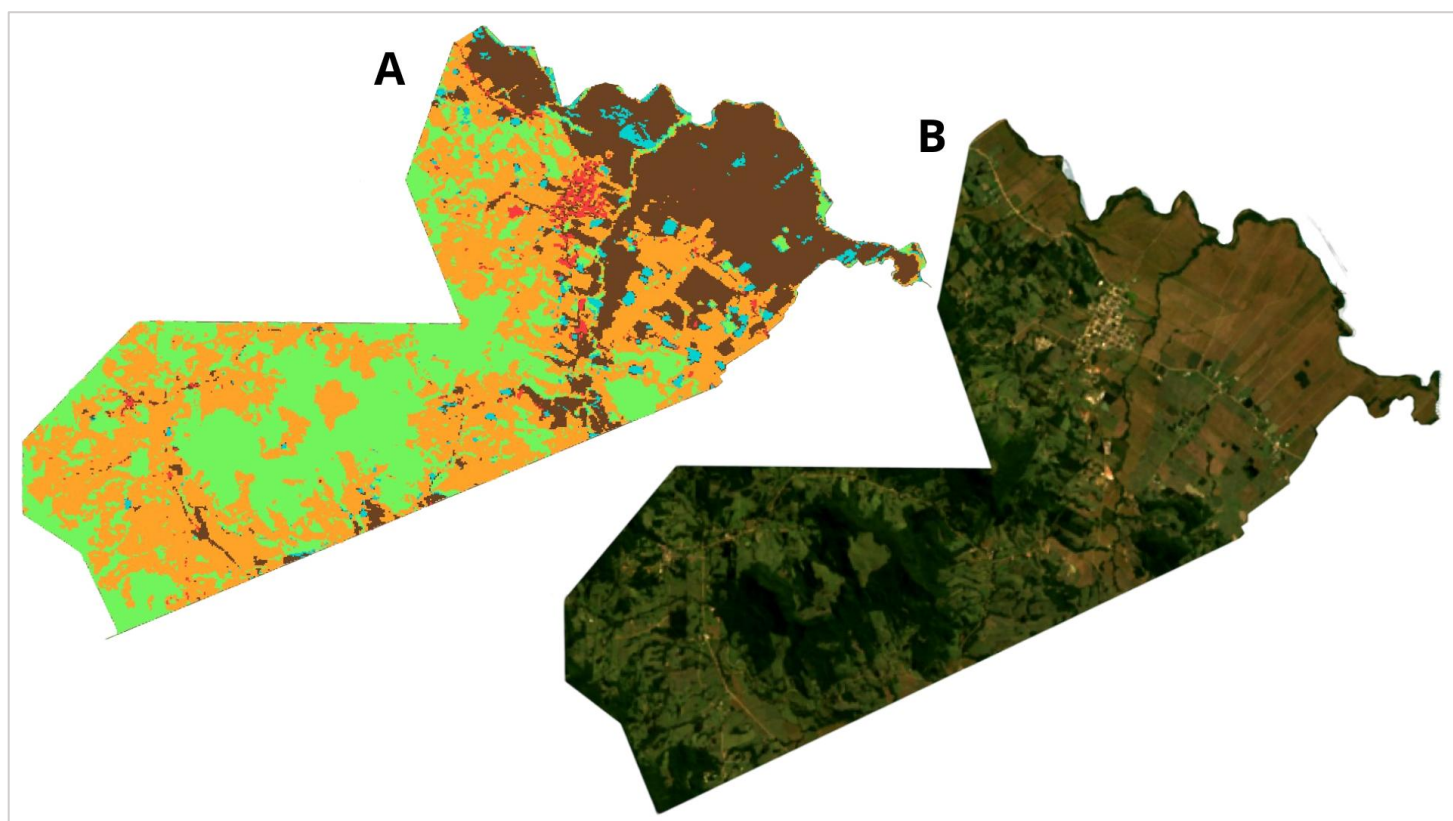
Figura 2 - Uso e cobertura da terra no município de São João do Polêsine a partir do método *Random Forest*, no período de 01 de janeiro de 2016 a 21 de abril de 2024



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

Na Figura 3 apresenta-se uma composição que ilustra a classificação de uso e cobertura da terra (A) e a imagem de satélite em cor natural (B) do município de São João do Polêsine. Essa comparação permite analisar visualmente os resultados obtidos na classificação.

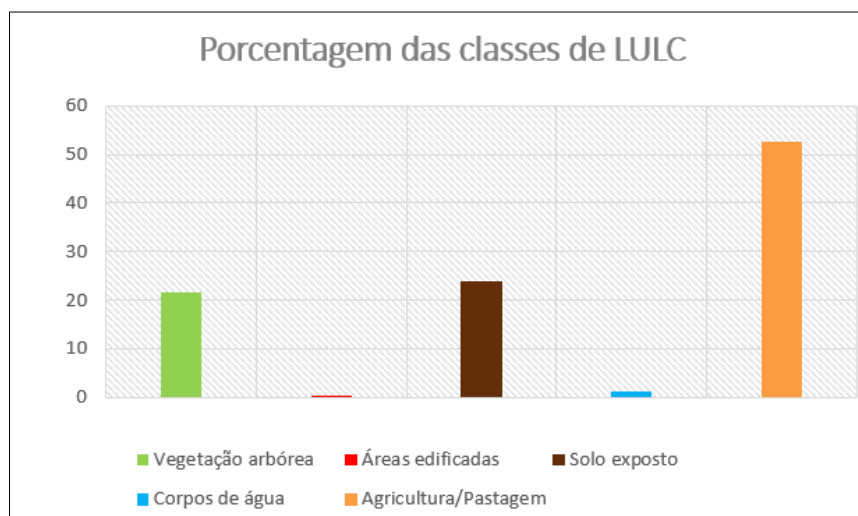
Figura 3 – Classificação de uso e cobertura da terra do município de São João do Polêsine no período de 01 de janeiro de 2016 a 21 de abril de 2024 (A) e a imagem de satélite cor natural da mediana de 226 imagens no período de 01 de janeiro de 2016 a 21 de abril de 2024 (B)



Fonte: Adaptado GEE (2024) e IBGE (2022b)

No decorrer da análise dos resultados, obteve-se que as principais classes afetadas pela inundação por meio de análises estatísticas foram o solo exposto e os corpos de água. Já as classes predominantes no Município de estudo são a agricultura/pastagem e o solo exposto, bem como se apresenta no gráfico da Figura 4. No entanto, é importante ressaltar que o solo exposto, muitas vezes, também inclui áreas agrícolas, as quais, devido a colheitas dos cultivos temporários, permanecem descobertas até o próximo plantio.

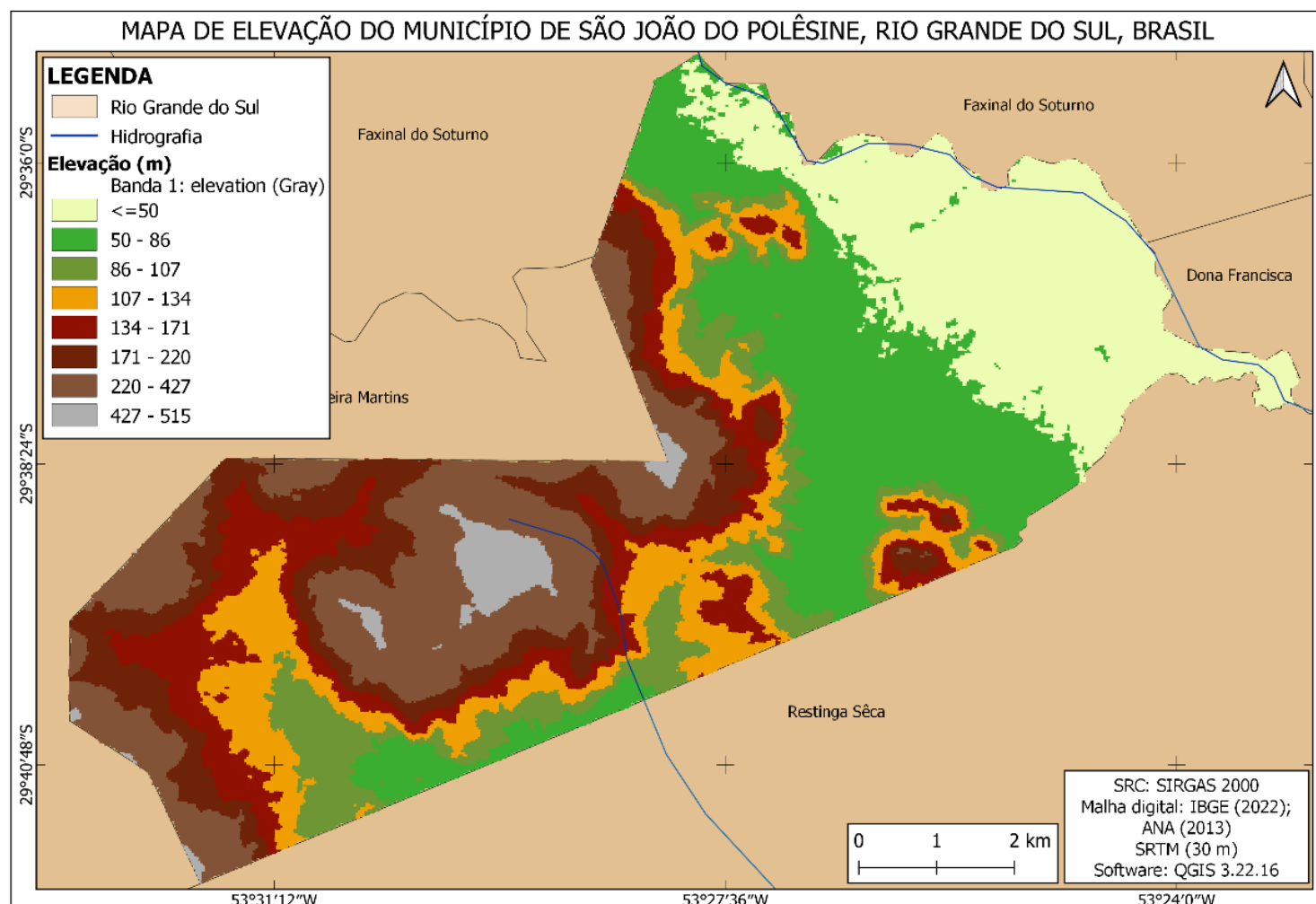
Figura 4 - Porcentagem de cada classe de uso e cobertura da terra no período de 01 de janeiro de 2016 a 21 de abril de 2024



Fonte: Dos autores (2024).

As áreas de vegetação, representadas no mapa da Figura 2, ocupam 21,69%. Estas áreas tendem a se concentrar em relevos mais íngremes e ondulados, conforme se apresenta nas áreas mais elevadas que estão destacadas em cinza (427 a 515 m) e marrom (220 a 427 m) no mapa da Figura 5. Esse resultado pode estar relacionado com a Lei nº 12.651, de 2012, do Novo Código Florestal, pois, conforme essa legislação, em declividades acima de 45° não é permitida a remoção da vegetação para a implementação de edifícios ou agricultura/pastagem. De modo geral, elas são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP) e, por isso, sua vegetação original não pode ser suprimida (Brasil, 2012).

Figura 5 – Mapa de elevação da área de estudo



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

O tipo de vegetação arbórea observado na área de estudo é a Floresta Estacional Decidual SubMontana (de 30 a 400 metros de altitude) e Montana (acima de 400 metros de altitude) que é comum do bioma Mata Atlântica (Iensen, 2009). Dessa forma, averiguou-se que a inundação afetou 3,66% da classe da vegetação arbórea, visto que as árvores próximas dos corpos de água foram arrastadas pela correnteza ou destruídas pela força da água. A Figura 6 apresenta as consequências deixadas após a inundação na vegetação próxima do Rio Soturno. Este recurso hídrico e ao redor dele foi a porção mais afetada do Município, assim como os municípios de Dona Francisca, Faxinal do Soturno e Restinga Sêca, que fazem limite ao norte com São João do Polêsine e também são atravessados pelo Rio Soturno, o qual causou estragos nessas localidades.

Figura 6 – Fotografia da vegetação arbórea próxima do Rio Soturno após a inundação



Fonte: Dos autores (Registrada em 6 de setembro de 2024).

No mapa da Figura 2 e no gráfico da Figura 4, observa-se que as áreas edificadas possuem 0,48%. Essa classe está presente tanto no espaço urbano como no rural. Entretanto, as maiores parcelas dessa classe atingidas pela inundação encontram-se predominantemente presentes no espaço rural.

Nesse sentido, averiguou-se, por meio da análises estatísticas no QGIS, que a inundação afetou 0,01% da classe das áreas edificadas. A porcentagem dessa classe é baixa devido a maior concentração de edificações fora das áreas atingidas pela inundação, uma vez que as áreas afetadas estão localizadas próximas aos recursos hídricos do Município ($\leq 50\text{m}$). Em vista disso, a maior porção das áreas edificadas no Município de São João do Polêsine se concentra nas maiores altitudes entre ≥ 50 a 86m , ou seja, distante das áreas atingidas pela inundação. Dessa forma, isto proporcionou que não tivesse tantos estragos nas edificações. Entretanto, as edificações que estavam próximas aos corpos de água, na maioria das vezes, foram impactadas. Na rodovia ERS-149, por exemplo, foi levada parte da cabeceira de uma ponte que liga o município de São João do Polêsine ao de Faxinal do Soturno pela correnteza da água (Figura 7) (Governo do Estado do Rio

Grande do Sul, 2024).

Figura 7– Fotografia utilizada pelo Governo Estadual do Estado do RS para noticiar a liberação da ponte que liga o município de São João do Polêsine ao de Faxinal do Soturno, no dia 11 de maio de 2024



Fonte: Governo do Estado do Rio Grande do Sul (2024).

Além disso, algumas construções foram acometidas pelo deslizamento de massa (Figura 8), atingindo edificações, soterrando-as e resultando em uma perda de vida humana no Município (Klusener, 2024). Ocorreram, por exemplo, no distrito de Vale Vêneto, outros deslizamentos de terra, porém sem vítimas fatais (Klusener, 2024), os quais causaram alagamentos e resultaram em perdas materiais.



Figura 8 – Deslizamento de massa que afetou uma residência e resultou em uma vítima fatal



Fonte: Boeck (2024).

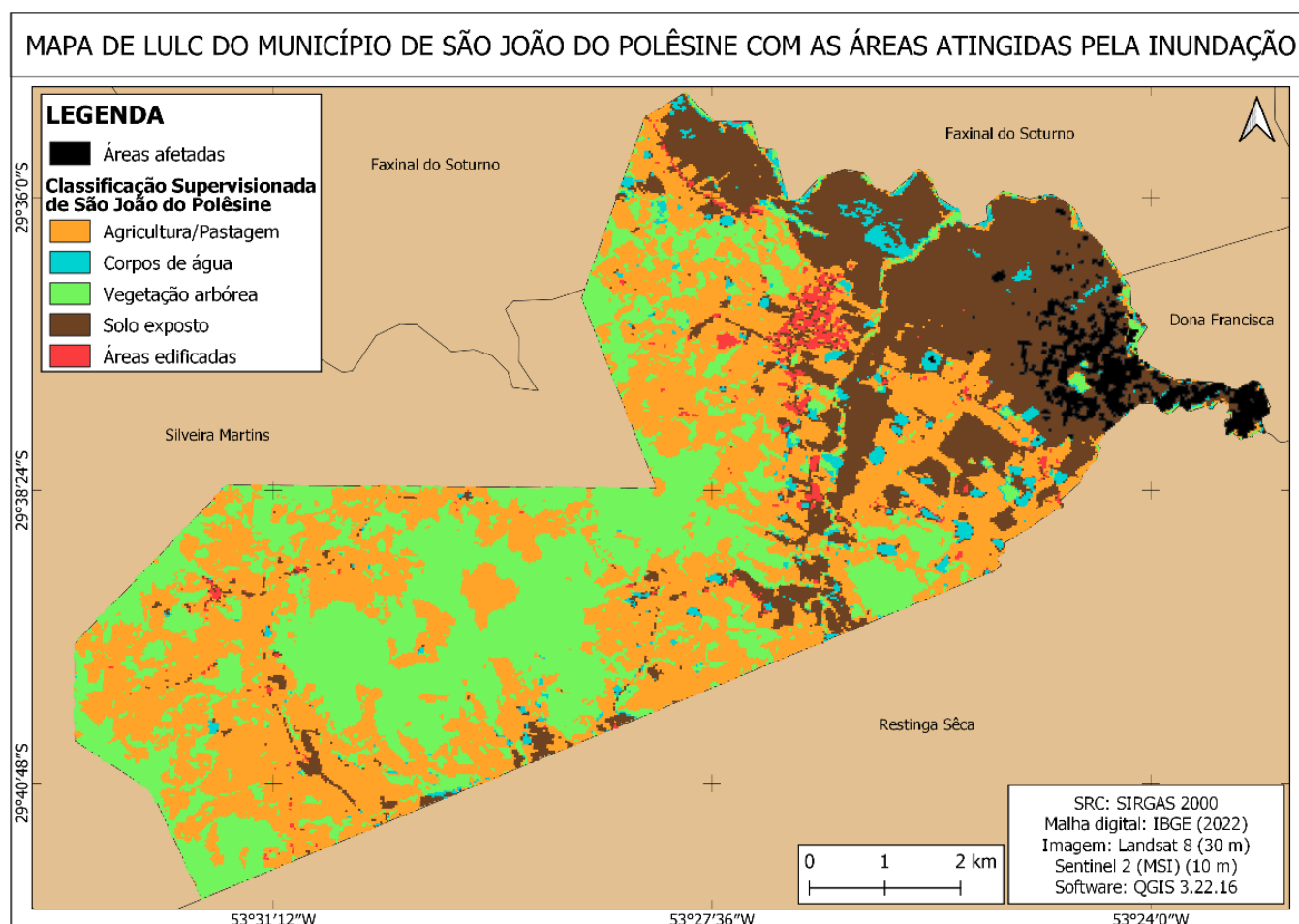
Percebe-se, no mapa da Figura 2 e no gráfico da Figura 4, que a classe dos corpos de água corresponde a 1,32% da área de estudo. O município de São João do Polêsine contém, tal como foi explicado anteriormente, o Rio Soturno nos seus limites, o qual está localizado ao norte e nordeste. Este recurso hídrico pertence à Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí que está incluso na Região Hidrográfica da Bacia do Guaíba, em vista disso, 51% do Município está inserido na Bacia do Baixo Jacuí (Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2024). Desse modo, a região hidrográfica pertencente do Município é a Atlântico Sul (Instituto Água e Saneamento, 2024). Além do Rio Soturno, o Município inclui outros recursos hídricos, sendo eles: Arroio Ribeirão, que está presente no distrito de Vale Vêneto; açudes em diversas propriedades, bem como nascentes e córregos de água.

No mapa da Figura 9 observa-se que as áreas inundadas estão representadas nas áreas localizadas na cor preta, das quais se apresentam no nordeste de



São João do Polêsine, próximas do Rio Soturno. A partir do mapa da Figura 5 de elevação verifica-se que as áreas afetadas pela inundação ocorreram em algumas porções menos elevadas (≤ 50 metros), enquanto as áreas mais elevadas (≥ 50 m) não foram atingidas pela tragédia. De acordo com a análise estatística do mapa da Figura 9, o Município obteve 1,844 km² ou 183,962 ha atingidos pelo desastre climático.

Figura 9 – Uso e cobertura da terra de São João do Polêsine com as áreas afetadas pela inundação, no período de 30 de abril de 2024 a 08 de maio do mesmo ano



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

A classe de corpos de água foi impactada diretamente em 6,21% pela inundação e influenciou os impactos nas outras classes de uso e cobertura da terra destacadas no presente estudo. Logo, a água transbordou nos corpos de água chegando na vegetação arbórea, agricultura/pastagem, solo exposto e áreas edificadas.

O solo exposto, tal como pode ser visualizado no mapa da Figura 2 e no gráfico da Figura 4, representa 23,82% da área de estudo. Essa elevada porcentagem na

classe é explicada pela mediana dos pixels evidenciarem o período de colheita do arroz e da soja. A colheita do arroz ocorre, em média, de fevereiro a abril (Fallavena, 1988; Araldi *et al.*, 2013), enquanto a da soja abrange de janeiro a maio (Assad *et al.*, 2007). A exposição do solo acarreta diferentes problemas, incluindo a propensão da erosão, perda de matéria orgânica e a lixiviação para os recursos hídricos que contribuem para o assoreamento dos mesmos (Geoinova, 2024).

Assim, a classe de solo exposto foi 86,90% afetada pela inundação, sendo a mais atingida e uma das principais classes devastada, visto que na época desta tragédia os agricultores já haviam colhido boa parte da safra de 2023/2024 de soja e arroz que são os principais cultivos do município de São João do Polêsine. Devido a isso, a porção superficial do solo que é rica em matéria orgânica foi levada pela correnteza da água, proporcionando aspecto barrento e assoreamento dos corpos de água. Outro motivo da classe de solo exposto ter sido a mais impactada é por causa que nesse local possui as menores elevações ≤ 50 m, das quais é importante para o cultivo do arroz sob inundação.

A Figura 10 apresenta uma parcela de solo exposto afetado pela inundação próximo do Rio Soturno. Antes de serem impactados esses solos possuíam cultivos agrícolas ou vegetação arbórea. Outra questão é que a correnteza da água trouxe lama e outros sedimentos para as margens dos corpos de água, ampliando os danos ambientais.

Figura 10 – Classe de solo exposto afetado pela inundação



Fonte: Dos autores (Registrada em 6 de setembro de 2024).

As classes de áreas de agricultura/pastagem apresentadas no mapa da Figura 2 e no gráfico da Figura 4 ocuparam 52,69% da área de estudo. São João do Polêsine tem como sua principal economia o setor primário, ou seja, o agrícola, em que é cultivado arroz irrigado e soja predominantemente. O primeiro cultivo é plantado desde a emancipação do Município, tanto é que ele possui o Festival Nacional do Arroz anualmente. Além disso, próximo às plantações os agricultores normalmente possuem uma pequena porção de terra com pecuária. Então, o cultivo do arroz irrigado é uma atividade cultural e econômica desse lugar. Sendo assim, 3,22% dessa classe foi atingida pela inundação, sendo principalmente o cultivo do arroz o mais prejudicado pois é plantado próximo aos recursos hídricos presente no município de estudo.

Segundo dados do IBGE (2022a), a quantidade de arroz produzida em 2022 no Município de estudo foi de 13.215 toneladas, com área plantada de 2.033 ha no mesmo ano. O arroz irrigado se destaca como um cultivo importante para o Município por causa da proximidade com o rio Soturno e pelo tipo de solo predominante que é o Planossolo. Nessa conjuntura, o solo de São João do Polêsine é propício para esse cultivo porque apresenta características que favorecem a inundação periódica anual (Coringa, 2012), ou seja, possui uma drenagem imperfeita que é “responsável pela formação de um lençol suspenso temporário” (Cunha *et al.*, 2021). Esse tipo de solo se apresenta em relevos planos, por exemplo, “nas baixadas, várzeas e depressões sobre condições de clima úmido” (Santos; Zaroni, 2021). Diante disso, o Município de estudo se enquadra, pois ele está situado em Depressão Central da região central do Vale do Jacuí (Prefeitura Municipal de São João do Polêsine, 2024).

Por fim, a soja é o outro cultivo relevante no Município. Ela apresenta 1.680 toneladas produzida e área plantada de 700 ha no ano de 2022 (IBGE, 2022a). Observa-se, assim, que o arroz dispõe de maior quantidade produzida e hectares plantados. Porém, de acordo com a análise dos últimos censos de produção agrícola temporária os produtores rurais estão deixando de plantar arroz e optando pela soja por causa da seca ocorrida em 2021/2022 que afetou o ciclo do cultivo do arroz no Município, pois ocasionou temperaturas elevadas e ausência de chuvas por longos períodos (Irga, 2022; Junges *et al.*, 2022). Atualmente, a inundação será outro fator decisório para as próximas safras.

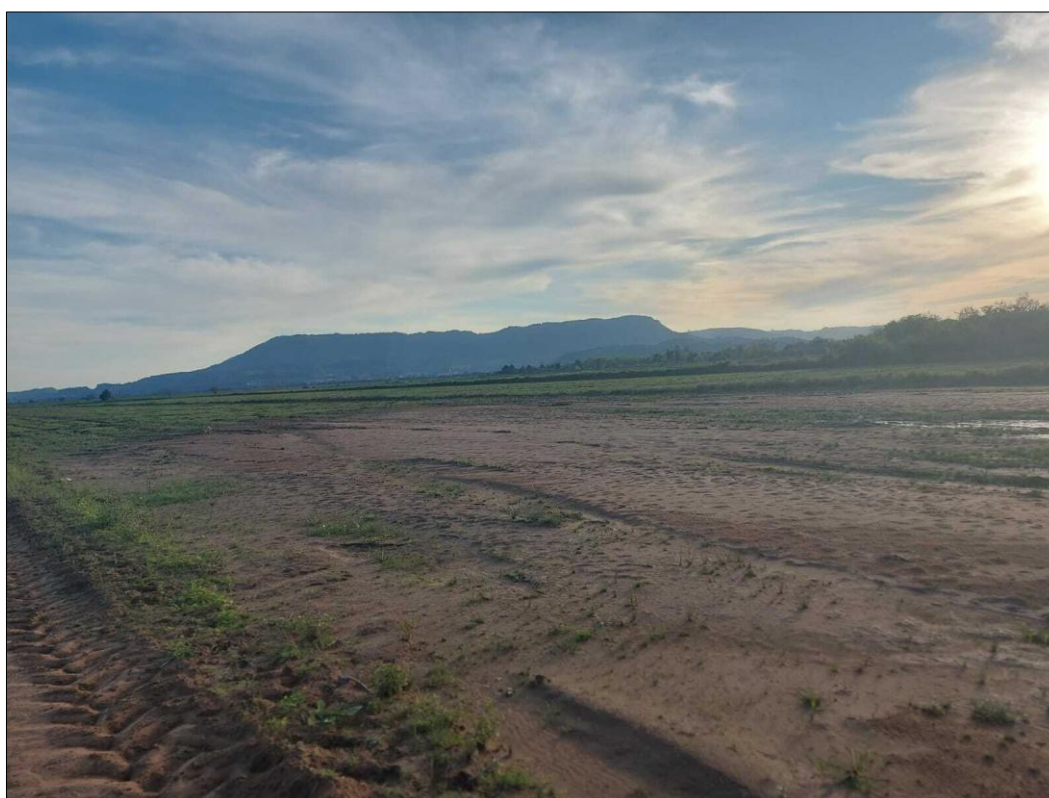
A catástrofe causou perdas econômicas para os agricultores, como também



para a economia do Município. No RS o cultivo do arroz obteve 160.664 toneladas perdidas, já a soja 2.714.151 toneladas prejudicadas. Isto equivale a 89.931 ha e 1.490.505 ha de áreas atingidas respectivamente. Apesar de partes das lavouras de verão já terem sido colhidas antes do evento climático extremo também ocorreu perdas agrícolas tanto em São João do Polêsine, quanto no RS (Rio Grande do Sul, 2024).

As perdas nos cultivos agrícolas ocorreram devido ao apodrecimento das plantas, que permaneceram submersas por muito tempo, além da força da correnteza que arrastou grande parte dos cultivos que ainda não foram colhidos. Na Figura 11 observa-se a situação dos cultivos agrícolas próximos do Rio Soturno após a inundação, com a lavoura de arroz coberta pela lama deixada pelo evento climático extremo.

Figura 11 – Situação da classe de agricultura/pastagem impactados pela inundação próximos do Rio Soturno



Fonte: Dos autores (Registrada em 6 de setembro de 2024).

Além da inundação no estado proporcionou deslizamentos da flora e de edificações, devido à saturação do solo (Rio Grande do Sul, 2024). Este evento proporcionou a erosão do solo, o assoreamento dos recursos hídricos e morte de animais.

Esta catástrofe afetou negativamente a fauna, flora, solo exposto, agricultura/pastagem, corpos de água e áreas edificadas, ou seja, impactou em todas as classes de uso e cobertura da terra do Município elaboradas no presente artigo.

Para finalizar a análise e discussão dos resultados, ressalta-se que a pluviosidade mensal total (mm) de abril de 2024 na região central do RS foi de 410,8 mm. Esse dado foi coletado da estação de Nova Palma, RS – CEMADEN: D3271 – por meio do pluviômetro automático (INMET, 2024). Desse modo, verificou-se que, enquanto a média mensal “normal” de precipitação em abril é de 107,6 mm na capital do RS (Tatsch, 2024), a pluviosidade mensal no mês de abril, por causa da ocorrência do evento climático extremo, foi aproximadamente 3,5 vezes maior que o habitual para o estado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como propósito o mapeamento das principais classes de uso e cobertura da terra afetadas pela inundação no município de São João do Polêsine no ano de 2024 por meio da plataforma GEE. Nesse sentido, as principais classes afetadas foram o solo exposto (86,90%), que corresponde na maioria das vezes às áreas de agricultura na unidade territorial em estudo, e os corpos de água de forma direta (6,21%). Entretanto, todas as classes foram amplamente prejudicadas por esta tragédia climática extrema, destacando a vulnerabilidade delas a esse evento.

O presente estudo ressalta a importância de análises com o uso de geotecnologias, como o SR para o diagnóstico das principais classes do uso e cobertura da terra afetadas por inundações. A plataforma do GEE mostrou-se eficiente no processamento de dados geoespaciais, configurando-se em uma grande aliada aos estudos de aspecto ambiental, econômico e social. Por meio da análise realizada, reforça-se que esta ferramenta entrega resultados de forma rápida e permite múltiplas análises sobre uma mesma área de estudo.

Por fim, ressalta-se que a classificação de uso e cobertura da terra, levantando as suas principais classes afetadas pela inundação para o ano de 2024, pode ser um grande complemento para a tomada de decisões, diagnósticos ambientais, Sistemas de Gestão



Ambiental (SGA), desenvolvimento sustentável e planejamento e ordenamento territorial do município de São João do Polêsine e demais áreas afetadas pela inundação no estado do RS. Portanto, destaca-se que a classificação pode ser uma aliada às futuras estratégias de mitigação das mudanças climáticas, bem como para criação e desdobramentos de políticas públicas voltadas à redução de riscos e a recuperação de áreas atingidas.

REFERÊNCIAS

ARALDI, P. F.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; RIBAS, R. L.; SANTOS, P. M. dos. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 445-451, 2013.

ARAÚJO FILHO, M. da C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2007.

ASSAD, E. D.; MARIN, F. R.; EVANGELISTA, S. R.; PILAU, F. G.; FARIAS, J. R. B.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J. Sistema de previsão da safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 615-625, 2007.

BECKER, W. R.; CARVALHO, L. E. de; JOHANN, Jerry A.; SILVA, L. C. de A.; PALUDO, A.; RICHETTI, J.; RAMBO, E. M. Google Earth Engine como instrumento de classificação uso e cobertura do solo no município de Cascavel, Paraná, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais....** Santos, 2019.

BERNARDES, T.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. Classificação Automática de Imagens de Satélite no Mapeamento da Região Cafeeira de Patrocínio, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais....** Águas de Lindóia, 2007.

BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 maio 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 26 jul. 2024.

BOECK, D. Prefeito de São João do Polêsine confirma morte de adolescente de 15 anos em deslizamento de terra, 2024. In: KLUSENER, L. A. **Diário de Santa Maria**, Santa Maria, 2024. Disponível em: <https://diariosm.com.br/noticias/geral/prefeito_de_sao_joao_do_polesine_confirma_morte_de_adolescente_de_15_anos_em_deslizamento_de_terra.591385>. Acesso em: 02 set. 2024.



- CALDERANO FILHO, B.; POLIVANOV, H.; BARROSO, E. V.; GUERRA, A. J. T.; CHAGAS, C. da S.; CALDERANO, S. B.; CARVALHO JÚNIOR, W. de. Cartografia geoambiental no médio alto curso do Rio Grande (RJ), subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar. **Geociências**, v. 32, n. 3, p. 560-576, 2013.
- CALIXTO, D. D.; GUIMARÃES, F. D.; CALIXTO, L. D.; CREMON, E. H. Análise comparativa em imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no mapeamento do uso e cobertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA; JORNADAS LUSÓFONAS - CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 4.; 2., 2017, Presidente Prudente. **Anais...**Presidente Prudente, 2017.
- CARVALHO, W. dos S.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SANTOS, T. L. dos. Uso e Cobertura do solo utilizando a Plataforma Google Earth Engine (GEE): Estudo de caso em uma Unidade de Conservação. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021.
- COLA, C. C.; BAZAN, W. S.; LOPES, B. B. Uso de imagens do Landsat 8 para determinação da correlação entre a temperatura de superfície e o índice de vegetação em Municípios da Grande Vitória. In: ANDRADE, D. F (ed). **Cartografia e Sensoriamento Remoto Fundamentos e Uso**. Belo horizonte: Poisson, 2019.
- CORINGA, E. de A. O. **Solos**. Curitiba: Editora do Livro Técnico Ltda, 2012.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992.
- CRUZ, U. R. X. da; OLIVEIRA, L. P. de. Comparativo entre os métodos de classificação MaxVer e Random Forest utilizando imagem Sentinel-2B. **Cadernos do Leste**, Belo Horizonte, v. 21, n. 21, 2021.
- CUNHA, T. J. F.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G.; TAURA; T. A. **Planossolos**. Embrapa, 2021.
- DIAS, Y. A. S.; MACHADO, F. F.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação do uso de índices espectrais para mapeamento de cobertura da terra em áreas de mineração em Ipixuna do Pará (PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. **Anais [...]**.
- FALLAVENA, M. A. B. Alguns dados sobre a reprodução do Garibáldi, *Agelaius r. ruficapillus* (Icteridae, aves) em lavouras de arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 4, n. 4, p. 307-317, 1988.
- FAVIEIRO, G. W. **Análise e desenvolvimento de algoritmo de reconhecimento de padrão baseado em lógica paraconsistente para uso em contextos inconsistentes e sua aplicação na classificação de movimentos do membro superior através de sinais mioelétricos**. Tese (Doutor em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, n. 44, 2002.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.



FRANCO, Â. M. P.; DALMOLIN, R. S. D.; BUENO, J. M. M.; NASCIMENTO, P. P. R. R. Confiabilidade de um Mapeamento Digital de Solos: Caso do Município de São João do Polêsine. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal. **Anais....** Natal, 2015.

GIROLAMO NETO, C. D. **Potencial de técnicas de mineração de dados para o mapeamento de áreas cafeeiras.** p. 53. Monografia (Introdução ao Geoprocessamento) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

GOOGLE EARTH ENGINE - GEE. **Code Editor**, 2024. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>. Acesso em: 17 mar. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Liberação da ponte sobre o rio Soturno, na ERS-149, retoma ligação da Quarta Colônia com Santa Maria.** 2024. Disponível em: < <https://www.estado.rs.gov.br/liberacao-da-ponte-sobre-o-rio-soturno-na-ers-149-retoma-ligacao-da-quarta-colonia-com-santa-maria> >. Acesso em: 15 de março de 2024.

IENSEN, R. E. **Deterioração ambiental nos municípios da Quarta Colônia de imigração do Rio Grande do Sul, Brasil, em primeira (I) aproximação.** Dissertação (Mestre em Geomática), Universidade de Santa Maria, p. 63, 2009.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2024. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/#>>. Acesso em: 30 jul. 2024.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. São João do Polêsine. **Municípios e Saneamento**, 2024. Disponível em: <<https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/rs/sao-joao-do-polesine>>. Acesso em: 01 ago. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@.** Rio de Janeiro, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@.** Rio de Janeiro, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@.** Rio de Janeiro, 2022a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Malhas Municipais**, 2022b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Informações do município de São João do Polêsine. **Cidades@.** Rio de Janeiro, 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2021: the physical science basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IRGA. INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Boletim de resultados de safra 2021/22 em terras baixas: arroz irrigado e soja**, 2022. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202209/26133439-relatorio-irga-safra-2021-22.pdf>>. Acesso em: 04 ago. 2024.



JUNGES, A. H.; TAZZO, I. F.; CARDOSO, L. S.; CERA, J. C. Avaliação da onda de calor ocorrida em janeiro de 2022 no Rio Grande do Sul. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v. 30, 2022.

LOBO, F. de L.; RAMALHO, E.; SINOTTI, J. **Introdução ao Google Earth Engine**. Pelotas: UFPel, 2020.

MACHADO, A. M. B. Comparação de imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no mapeamento de uso e cobertura da terra na Ilha do Maranhão. **Revista Equador (UFPI)**, v. 9, n. 3, p. 209 – 232, 2020.

MAIO, A. D.; RUDORFF, B. F. T.; MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; MOREIRA, M. A.; SAUSEN, T. M.; FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento remoto**. Brasília: Agência Espacial Brasileira, 2008.

MAIOR CATÁSTROFE CLIMÁTICA DO RS. Abril/Maio de 2024. **Governo do Estado do Rio Grande do Sul**. 05 de maio de 2024. Disponível em:

<<https://wmo.int/sites/default/files/2024-05/Flooding%20disaster%20photos%2C%20facts%20and%20figures%20from%20Rio%20Grande%20do%20Sul%20government.pdf>>. Acesso em: 03 de out. 2024.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI**. Brasília: MMA, 2007.

MARENGO, J. A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇALVES, D.; LUIZ, R.; SILVA, L.; ALVALA, R. C. S.; SELUCHII, M. E.; MORAES, O. L.; SOARES, W. R.; 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**, v. 38, n. 112, 2024.

MASCARENHAS, L. M. de A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 1; 2009.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global 1 arc second V003**, 2024. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/>>. Acesso em: 03 ago. 2024.

PARTIDO VERDE. **O que é uso do solo?** 2018. Disponível em: Acesso em: <<https://pv.org.br/o-que-e-uso-do-solo/>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

OLIVEIRA, C. B. de S.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JÚNIOR, J. R. Utilização de índices físicos a partir de imagens OLI –TIRS para o mapeamento de uso e cobertura da terra no entorno do aeroporto internacional do Recife/Guararapes –Gilberto Freire. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 1039-1053, 2019.

OLIVEIRA, G. G.; VALENTE, P. T.; GUASSELLI, L. A. Espacialização das áreas de inundação nos municípios de Igrejinha e Três Coroas, bacia hidrográfica do rio Paranhana/RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais....** Rio de Janeiro, 2012.



PEDRON, F. de A.; ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de argissolos derivados de rochas sedimentares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1-9, 2012.

PEIXOTO, J. da S. **Análise de regimes extremos de inundação costeira nos balneários centrais do município de Jaguaruna – SC, com o uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil)**. Dissertação (Mestra em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

PEREIRA, P. R. M.; OLIVEIRA, M. M. N. de; BOLFE, E. L.; MACARRINGUE, L. S. Comparação da classificação do uso e cobertura da terra em imagens Landsat-8 e Sentinel-2 no cerrado maranhense. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 42, 2023.

PERROCA, Márcia Galan; GAIDZINSKI, Raquel Rapone. Avaliando a confiabilidade interavaliadores de um instrumento para classificação de pacientes - coeficiente Kappa. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 37, n. 1, p. 72-80, 2003.

PRADO, L. B.; MARCATTI, G. E.; PEREIRA, M. A.; JÚNIOR, J. R. A.; SANTOS, F.; SILVA, P. A. A.; HIRSCH, A.; PINHEIRO, D. C.; SANTOS, A. C. R. dos; PIMENTA, F. M.; ATAÍDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; FERREIRA, M. C.; PINTO, W. S.; TEIXEIRA, F. A.; PEREIRA, G. Uso do Google Earth Engine como instrumento de identificação de anomalias climáticas no Brasil. In: GEOINFO, 23., São José dos Campos. **Anais....** São José dos Campos, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOÃO DO POLÊSINE. **Histórico de São João do Polêsine**, 2024. Disponível em: <https://saojoaodopolesine.rs.gov.br/Servicos/Turismo_Detalhes/606>. Acesso em: 01 ago. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Impactos das chuvas e cheias extremas no Rio Grande do Sul em maio de 2024**. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2024.

ROCHA, B. O.; KÖRTING, T. S.; NAMIKAWA, L. M. Processamento de Imagens dos Satélites Brasileiros CBERS-4 e CBERS-4A para Respostas Rápidas a Desastres. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 76, 2024.

ROSA, M. R. Classificação do padrão de ocupação urbana de São Paulo utilizando aprendizagem de máquina e Sentinel 2. **Revista do Departamento de Geografia**, p.15-21, 2018

SALGADO, C. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. de; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Análise da interferência de nuvens na classificação de séries temporais MODIS-NDVI na região da Amazônia, município de Capixaba, Acre. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 31, 2019.

SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F. dos. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. **Revista Multidisciplinar da UNIESP**, n. 10, 2010.

SANTOS, A. P. dos; ARANTES, L. T.; SIMIONATTO, H. H.; SILVA, T.; SILVA, D. C. da C. e. Análise do uso da terra em regiões de crescimento agrícola: um estudo de caso em Dom Bosco, Brasil. In: SIMPÓSIO EM GESTÃO DO AGRONEGÓCIO, 9., 2024, Jaboticabal. **Anais....** Jaboticabal, 2024.



SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J. **Planossolos**. Embrapa, 2021. Disponível em: Acesso em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/planossolos>>. 26 jul. 2024.

São João do Polêsine: o lar dos primeiros habitantes da Terra. **Diário de Santa Maria**, 2023. Disponível em: <https://diariosm.com.br/publieditorial/sao_joao_do_polesine_o_lar_dos_primeiros_habitantes_da_terra_.501620>. Acesso em: 18 jul. 2024.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAENTRUTURA DO RIO GRANDE DO SUL - **SEMA**, 2024. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/inicial>>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SILVA, P. **Descubra como a cobertura do solo é essencial na agricultura. Nutrição de Safras**, 2023. Disponível em: <<https://nutricaodesafras.com.br/cobertura-do-solo>>. Acesso em: 25 jul. 2024.

GEOINOVA. **Solo exposto – O que é, causas e consequências**. 2024. Disponível em: <<https://geoinova.com.br/solo-exposto-o-que-e-causas-e-consequencias/>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

SOUSA, J. A. P. de; LOPES, E. R. do N.; SOUZA, J. C. de; LOURENÇO, R. W. Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de CO₂ em bacia hidrográfica. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 262-278, 2020.

SOUZA, A. A. de; GALVÃO, L. S.; KORTING, T. S.; PRIETO, J. D. Dynamics of savanna clearing and land degradation in the newest agricultural frontier in Brazil. **GIScience & Remote Sensing**, v. 57, n. 7, p. 965–984, 2020.

TATSCH, J. Chuva em Porto Alegre ultrapassa a média histórica de abril. **Jornal do Comércio**, 2024. Disponível em: <<https://www.jornaldocomercio.com/geral/2024/04/1152515-chuva-em-porto-alegre-ultrapassa-a-media-historia-de-abril.html>>. Acesso em: 03 set. 2024.

Recebido em novembro de 2024.

Revisão realizada em setembro de 2025.

Aceito para publicação em novembro de 2025.