

IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA DAS ÁREAS INUNDADAS EM MUNICÍPIOS DA QUARTA COLÔNIA, RS, PELO EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO DE 2024

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER CLASSES IN FLOODED AREAS OF MUNICIPALITIES IN THE FOURTH COLONY, RS, AFFECTED BY THE EXTREME WEATHER EVENT OF 2024

Caroline Moro¹

Lucian Armindo da Silva Brinco²

Mauro Kumpfer Werlang³

RESUMO

Os eventos climáticos extremos estão cada vez mais recorrentes, com efeitos na variação da temperatura e na intensidade das precipitações. Por isso, o objetivo deste estudo foi identificar e analisar as áreas afetadas pela inundação entre abril e maio de 2024 nos municípios de Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca no estado do Rio Grande do Sul, e seus impactos e, consequentemente, mudanças no uso e cobertura da terra (LULC). Imagens do Landsat 8 foram utilizadas para classificar LULC (algoritmo *Random Forest*) e dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e do Sentinel 2 (MSI) para identificar as cotas de inundação, ambos processados no *Google Earth Engine* (GEE). As classes de LULC foram vegetação arbórea, solo exposto, agricultura/pastagem, áreas edificadas e superfícies de água. Os resultados indicaram que as classes de LULC mais vulneráveis foram o

¹ Graduanda em Geografia Bacharelado pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Técnica em Meio Ambiente pelo Colégio Politécnico da UFSM, Técnica em Geoprocessamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS). E-mail: morocaroline836@gmail.com

² Possui Graduação (Licenciatura Plena) e Mestrado em Geografia pela UFSM. No momento, é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGeo) da UFSM. E-mail: lucianbrinco@gmail.com

³ Professor Titular do Departamento de Geociências, do Centro de Ciências Naturais e Exatas (CCNE), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: wermakwer@gmail.com

solo exposto e a vegetação arbórea. As áreas inundadas apresentaram perda significativa de produtividade agrícola, com aumento potencial da erosão do solo nas áreas expostas. A vegetação arbórea demonstrou desempenhar um papel crucial na contenção de sedimentos e na mitigação dos efeitos da inundação. Entre os municípios analisados, Restinga Sêca foi o mais impactado pela inundação, devido à predominância de áreas de menor elevação e cotas altimétricas mais baixas. Estas considerações destacam a importância de estratégias de planejamento e ordenamento territorial para reduzir os efeitos de eventos climáticos extremos, como os observados no Rio Grande do Sul em abril/maio de 2024.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto; *Google Earth Engine*; *Random Forest*; SRTM.

ABSTRACT

Extreme weather events are becoming increasingly frequent, impacting temperature variation and the intensity of precipitation. Therefore, the objective of this study was to identify and analyze the areas affected by flooding between April and May 2024 in the municipalities of Dona Francisca, Nova Palma, and Restinga Sêca, in the state of Rio Grande do Sul, as well as their impacts and the resulting changes in land use and land cover (LULC). Landsat 8 images were used to classify LULC (Random Forest algorithm), and data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and Sentinel-2 (MSI) were employed to identify flood levels, both processed in Google Earth Engine (GEE). The LULC classes identified were tree vegetation, exposed soil, agriculture/pasture, built-up areas, and water surfaces. The results indicated that the most vulnerable LULC classes were exposed soil and tree vegetation. The flooded areas showed a significant loss of agricultural productivity, with a potential increase in soil erosion in exposed areas. Tree vegetation played a crucial role in sediment retention and mitigating the effects of flooding. Among the analyzed municipalities, Restinga Sêca was the most impacted by the flooding due to the predominance of lowland areas and lower altimetric levels. These findings highlight the importance of land-use planning strategies to mitigate the effects of extreme weather events, such as those observed in Rio Grande do Sul in April/May 2024.

KEYWORDS: Remote sensing; Google Earth Engine; Random Forest; SRTM.

INTRODUÇÃO

Fenômenos atmosféricos que ocorrem fora dos padrões de normalidade, também chamados pela literatura nacional e internacional de eventos climáticos extremos, são provenientes de transformações que ocorrem no ambiente, cuja causa pode ser natural ou mesmo pela influência antrópica, dependendo da escala climática (LEITE; SILVA, 2020). Dessa forma, as mesmas podem estar direta ou indiretamente associadas às atividades humanas, que alteram a composição da atmosfera, somado à variabilidade climática periódica natural (UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE [UNFCCC], 2024). Assim sendo, este problema advém, muitas vezes, da supressão de florestas e da geração de energia a partir de combustíveis fósseis, como, por exemplo, o carvão natural, petróleo e gás natural (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS [ONU], 2024).

Nesta conjuntura, ocorrem efeitos como tempestades mais severas, temperaturas anormais, maior frequência e duração das estiagens, inundações, gerando problemas sociais, ambientais, econômicos (ONU, 2024). Por conseguinte, a inundação entre abril e maio de 2024, que atingiu o estado do Rio Grande do Sul (RS), é um exemplo de causa que está ligada a extremos climáticos e que pode estar relacionado ao fenômeno do El Niño (SIAS, 2024).

A compreensão das mudanças climáticas exige um aprofundamento sobre como os fenômenos naturais e as atividades humanas interagem. Estudiosos alertam que, desde a Revolução Industrial, o aumento da emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), tem contribuído significativamente para o aquecimento global (TILIO NETO, 2010). Esse aquecimento é responsável por alterações nos ciclos hidrológicos, nos padrões de precipitação e na intensidade de eventos climáticos extremos (BARCELLOS *et al.*, 2009; MARENGO, 2008; PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA, 2023). Consequentemente, os ecossistemas, a biodiversidade e as atividades humanas são impactadas de forma abrangente (IPCC, 2023).

Além disso, mudanças no uso e cobertura da terra (LULC) desempenham um papel importante nesse cenário. A supressão de florestas tropicais, por exemplo, não apenas reduz a capacidade do planeta de absorver carbono, mas também influencia no microclima, no clima local e regional, favorecendo o aumento da temperatura e a diminuição da umidade (PRIMAVESI; ARZABE; PEDREIRA, 2007; YU, 2004). De

maneira similar, a urbanização descontrolada intensifica os efeitos das ilhas de calor urbanas e aumenta a vulnerabilidade das populações a enchentes e deslizamentos de terra, quando se tem o uso inadequado do solo (CIDADE, 2013; NOBRE; YOUNG, 2011; SILVA, 2024).

Eventos climáticos extremos, como as inundações ocorridas na Quarta Colônia do RS em 2024, são indicativos da urgência em abordar as mudanças climáticas de forma integrada. Essas inundações impactaram não apenas a infraestrutura e a economia local, mas também colocaram em risco vidas humanas e a biodiversidade, ressaltando a necessidade de políticas públicas que atuam na redução de riscos. Nesse contexto, mapear o LULC é importante para analisar as perdas na agricultura/pastagens, áreas urbanas e os prejuízos no ambiente natural devido aos efeitos das inundações. Essas análises fornecem, muitas vezes, subsídios para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação. Ao mesmo tempo, pensar sobre o tema possibilita o planejamento e ordenamento territorial mais efetivo, considerando os impactos das mudanças climáticas em diferentes lugares e classes de LULC.

Nesse sentido, as ferramentas de sensoriamento remoto têm se destacado na coleta e análise de dados ambientais (HAYAKAMA *et al.*, 2017; MASCARENHAS; FERREIRA; FERREIRA, 2009). O uso de imagens de satélite, aliado a plataformas como o *Google Earth Engine* (GEE), permite a obtenção de dados em grande escala e a um custo reduzido (CARVALHO; MAGALHÃES FILHO; SANTOS, 2021). Essa tecnologia é particularmente útil para monitorar áreas afetadas por desastres naturais, classificação do LULC e perceber tendências futuras (RIGHI *et al.*; 2024).

O GEE é uma plataforma gratuita de computação em nuvem projetada para o processamento e análise de grandes conjuntos de dados geoespaciais (CARVALHO; MAGALHÃES FILHO; SANTOS, 2021). Ele permite o acesso a vastas coleções de imagens de satélite, como as do Landsat, Sentinel, MODIS (GORELICK *et al.*, 2017), além de oferecer ferramentas avançadas de análise e uma interface de programação em *JavaScript*, tornando-se uma solução versátil para estudos ambientais.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi identificar e analisar as áreas atingidas pela inundação de maio e abril de 2024 no RS, mais especificadamente nos Município de Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca, que fazem parte da Quarta Colônia

do Estado, buscando identificar os efeitos dela sobre o LULC. A escolha por essas Municípios, entre os integrantes da Quarta Colônia, baseou-se em critérios estratégicos que consideraram a extensão dos impactos das inundações, as características geográficas e socioeconômicas dessas unidades territoriais e a significativa repercussão midiática dos eventos nessas áreas. Essa visibilidade reforçou a importância de estudá-los, aliada à relevância dos dados disponíveis, à cobertura jornalística e ao maior contato dos autores com esses municípios.

DESCRIÇÃO DE ÁREA

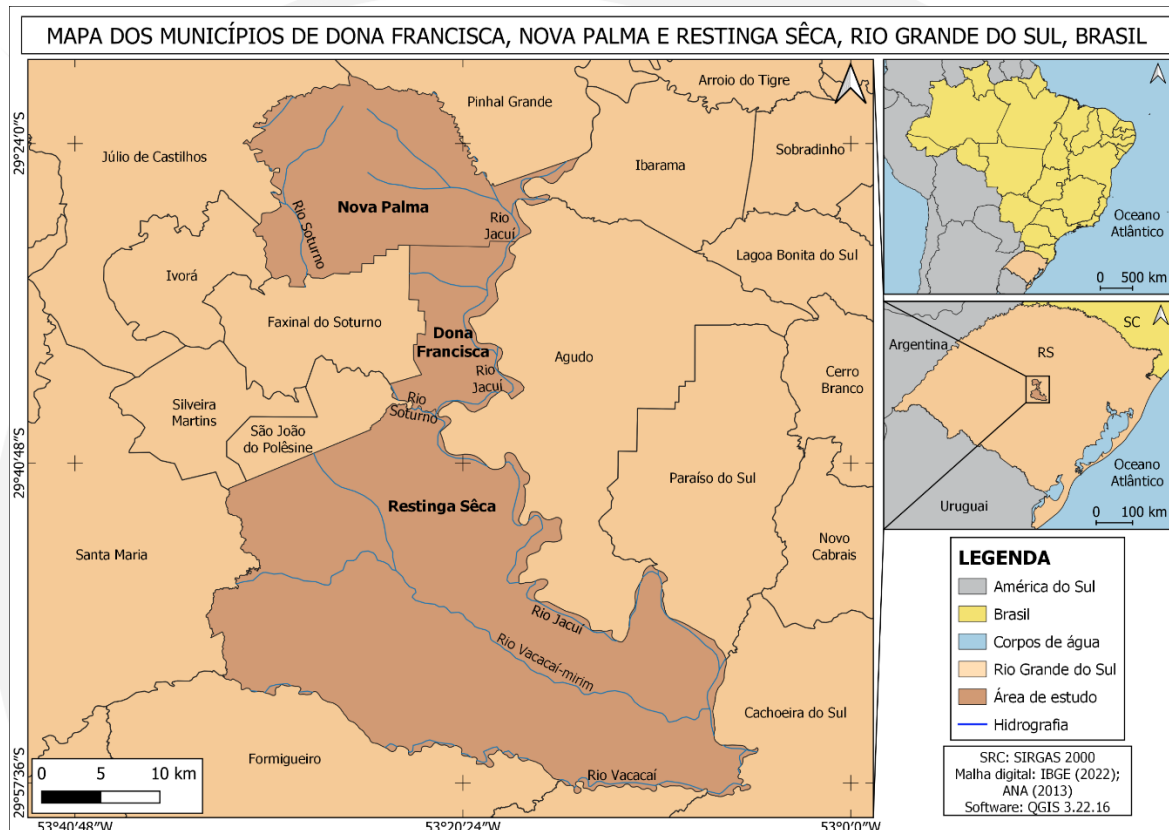
Os municípios da área de estudo estão localizados na região central do estado do RS. Eles apresentam características singulares nos aspectos sociais, econômicos e ambientais, fundamentais para a compreensão dos impactos das inundações e sua relação com o LULC. Na Figura 1 se apresenta o mapa de localização dos municípios de Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca. A área de estudo pertence a Quarta Colônia de Imigração Italiana que é composta por dez Municípios: Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Silveira Martins, Ivorá, Itaara, Nova Palma, Pinhal Grande, Restinga Sêca e São João do Polêsine.

O Município de Dona Francisca possui área territorial de 114,142 km² e uma população de 3.079 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA [IBGE], 2022a; 2023). O município apresenta características predominantemente rurais, com grande parte de sua economia baseada na agricultura, especialmente no cultivo de arroz irrigado. Também tem-se o cultivo agrícola da soja, fumo, milho e mandioca (FANTINEL; BENEDETTI, 2020; IBGE, 2023). A população é composta majoritariamente por famílias de agricultores que vivem em pequenas propriedades rurais, o que reflete a forte ligação da comunidade, muitas vezes, com as práticas agrícolas tradicionais/rudimentares e mão de obra familiar (FANTINEL; BENEDETTI, 2020).

Os principais pontos turísticos de Dona Francisca são: o Parque do Tobogã e Teleférico; a Usina Hidrelétrica; o Monumento Nossa Senhora dos Navegantes; a Cascata Segatto; a Igreja Matriz São José; o Morro Santo Antônio (cruz); o Santuário dos Beatos Mártires da Fé e o Porto rio Jacuí (PREFEITURA MUNICIPAL DE DONA FRANCISCA, 2022). Em vista disso, as paisagens naturais e os pontos turísticos

desempenham um papel importante, tanto na economia local quanto na recreação e turismo. O município é atravessado pela rodovia ERS-348, que conecta Dona Francisca a outras localidades da região, facilitando o escoamento da produção agropecuária, o turismo e a integração com municípios que fazem limite com ele ou ficam próximos (CARVALHO, 2022).

Figura 1 - Posição geográfica da área de estudo em relação ao Estado do RS e ao Brasil



Fonte: Adaptado do IBGE (2022b).

O Município de Nova Palma apresenta 314,613 km² de área e uma população de 5.586 habitantes (IBGE, 2022a; 2023). Os principais pontos turísticos e patrimônio histórico-cultural são: o Balneário Atilio Aléssio; a Caverna Nossa Senhora de Fátima; a Gruta de Nossa Senhora de Lourdes; a Rota das Esculturas e a praça Padre João Zanella (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA PALMA, 2023). O município é atravessado pela rodovia ERS-149, essencial para a conectividade e para o transporte de produtos agrícolas. Dessa forma, os principais cultivos agrícolas incluem a soja, o milho, o arroz e o trigo (IBGE, 2023). Além disso, a pecuária também é intensa no município, com predomínio de bovinos de corte e de leite (IBGE, 2023).

Restinga Sêca, o mais abrangente dos três municípios, possui uma área de 968,620 km² e uma população de 14.939 habitantes (IBGE, 2022a; 2023). O município é um importante polo agrícola na região, com destaque para a produção de arroz, soja e milho, complementada pela pecuária bovina de corte e o galináceo (IBGE, 2023). Os principais pontos turísticos presentes são: o Balneário das Tunas; a Estação Férrea; as Termas Romanas; a ponte do rio Jacuí e a ponte férrea da vila Jacuí (PRANDI, 2024; PREFEITURA MUNICIPAL DE RESTINGA SÊCA, s.d). Restinga Sêca conta com infraestrutura rodoviária estratégica, composta por duas rodovias, RSC-287 e ERS-149, que facilitam o acesso aos principais municípios da região e o escoamento da produção agrícola.

Do ponto de vista ambiental, os três municípios compartilham características comuns do bioma Mata Atlântica, e Restinga Sêca também intercala com áreas do bioma Pampa. O clima é subtropical úmido (Cfa, conforme a classificação de Köppen), com verões quentes, invernos amenos e precipitação bem distribuída ao longo do ano (MORENO, 1961). No entanto, eventos extremos, como chuvas intensas e inundações, têm se tornado mais frequentes, impactando diretamente a agricultura, a infraestrutura urbana e as comunidades locais.

Restinga Sêca está localizada predominantemente na Depressão Central do Rio Grande do Sul. Seu relevo é caracterizado como suave ondulado, com áreas planas e de baixa declividade próximas aos rios, que são fundamentais para o cultivo de arroz irrigado. Nas partes mais acidentadas, há uma maior concentração de vegetação arbórea (GODOY *et al.*, 2012). Nova Palma encontra-se na transição entre o Planalto e a Depressão Central, apresentando relevo composto por colinas, morros e vales, que conferem diversidade à paisagem (SCHIRMER; ROBAINA, 2012). Já Dona Francisca possui um relevo que combina colinas, morros e planícies aluviais, favorecendo diferentes usos da terra (SCHIRMER; ROBAINA, 2012).

A hidrografia regional é marcada pela presença dos rios Jacuí, Soturno, Vacacaí e Vacacaí-Mirim. Esses cursos d'água são amplamente utilizados para atividades como irrigação agrícola, pesca artesanal e lazer, além de desempenharem um papel essencial no abastecimento de água potável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento metodológico realizado no GEE para avaliar as áreas atingidas pela inundação em cada uma das classes de LULC foi dividido em quatro momentos principais: (i) classificação do LULC; (ii) obtenção dos dados de elevação do modelo digital de elevação SRTM; (iii) verificação das cotas de inundação nos municípios analisados; e (iv) abordagem quali-quantitativa dos dados obtidos.

Primeira Etapa: Classificação do LULC

Para a classificação do LULC, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, com cobertura máxima de nuvens de 10%, abrangendo o período de 1º de janeiro de 2013 a 31 de dezembro de 2020. Assim sendo, o ano de 2013 foi escolhido como ponto de partida para a classificação e análise do LULC porque marca o início das operações do satélite Landsat 8 (BORGES; PACHÊCO; SANTOS, 2015). Já o período de estudo foi delimitado até 2020 para evitar influências de eventos climáticos extremos ocorridos posteriormente, como as secas que afetaram o RS em 2021/2022 (JUNGES *et al.*, 2022) e a inundação registrada em 2024 (RIO GRANDE DO SUL, 2024).

Essa delimitação temporal permitiu a análise de um intervalo mais representativo das condições médias da região, excluindo interferências desses eventos excepcionais. O intervalo selecionado também possibilitou a obtenção de um maior número de imagens combinadas, aumentando a precisão da classificação. Para assegurar a qualidade dos dados, foi aplicada uma máscara utilizando as bandas de qualidade QA_PIXEL e QA_RADSAT, a fim de remover pixels associados a nuvens, sombras e saturação, garantindo maior confiabilidade na análise.

Além disso, o intervalo temporal foi selecionado estrategicamente para maximizar a disponibilidade de imagens do satélite Landsat 8, garantindo um conjunto robusto de dados para análise. A combinação de múltiplas imagens ao longo de vários anos permite reduzir a influência de ruídos, como a presença de nuvens, sombras e outros artefatos que possam comprometer a qualidade dos dados, além de captar variações sazonais e interanuais do LULC. Essa abordagem facilita a identificação de padrões e tendências que poderiam ser mascarados em análises com intervalos temporais menores ou conjuntos de dados mais restritos. Estudos como o de Sun e Ongsomwang (2020) e Lopes *et al.* (2020) demonstram que a utilização de séries temporais de dados do Landsat melhora significativamente a precisão na classificação de LULC. Ademais, pesquisas indicam que o uso de séries temporais mais longas

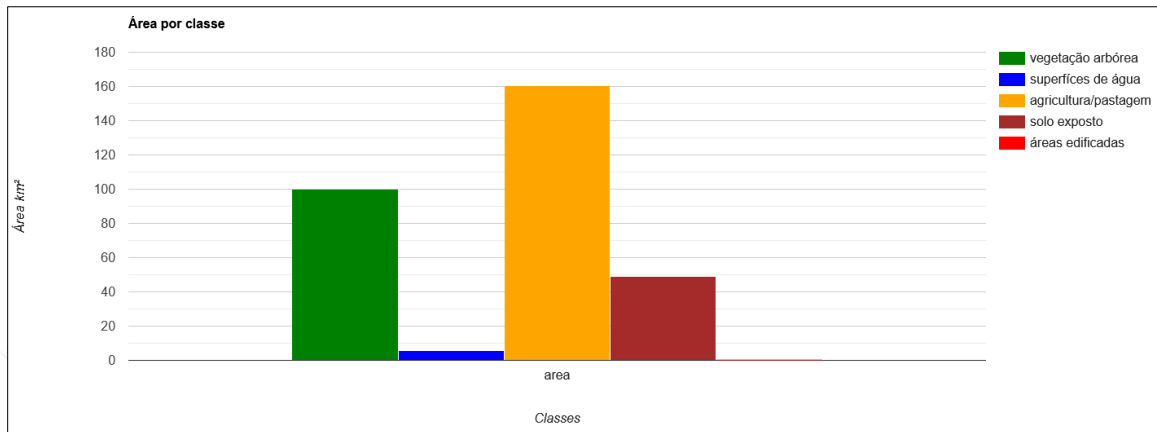
resulta em maiores acurácias de classificação em comparação com médias temporais, destacando a importância de dados multitemporais na análise de LULC (LOPES *et al.*, 2020; SUN; ONGSOMWANG, 2020).

Com base em uma análise prévia dos municípios estudados, foram definidas cinco classes principais de LULC: (1) vegetação arbórea, (2) áreas edificadas, (3) solo exposto, (4) superfícies de água e (5) agricultura/pastagem. Para aprimorar a identificação dessas classes, foram calculados diversos índices espectrais, incluindo: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI); *Enhanced Vegetation Index* (EVI); *Normalized Difference Water Index* (NDWI); *Normalized Difference Water Index for Vegetation* (NDWI_VEG); *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI).

No código implementado no GEE, utilizou-se o método *.median()* para reduzir a coleção de imagens do Landsat 8 a uma única imagem representativa das cinco classes selecionadas. Em seguida, foram coletadas amostras manualmente para cada uma delas, limitando-se a 1000 pontos aleatórios para garantir balanceamento entre as classes. A escolha do algoritmo de aprendizado de máquina *Random Forest* para a classificação supervisionada baseou-se em seu desempenho consistente em estudos relacionados ao tema, bem como o de Cruz e Oliveira (2021) e Wolfer *et al.* (2020).

Para a classificação foram coletadas 167 amostras de treinamento, distribuídas entre os três municípios analisados: 50 para Dona Francisca, 61 para Nova Palma e 56 para Restinga Sêca. Destas, 60% foram utilizadas para o treinamento do modelo e 40% para validação. A precisão da classificação foi avaliada por meio do cálculo da acurácia geral e do índice Kappa os quais variam de 0 a 1, sendo que valores mais próximos de 1 indicam melhores resultados. Após, foi analisado o gráfico com as áreas em km² de cada uma das classes de LULC, bem como se apresenta na Figura 2.

Figura 2. Gráfico com a área em km² de cada umas das classes de LULC do município de Nova Palma.



Fonte: GEE (2024).

Por fim, foi determinada a porcentagem de cada classe de LULC em cada município com base nos dados obtidos no GEE. A análise foi realizada a partir das áreas em km² calculadas para cada classe de LULC, permitindo identificar o percentual de cada categoria em relação à área total dos municípios.

Segunda Etapa: Obtenção dos Dados de Elevação do SRTM

Os dados de elevação utilizados neste estudo foram extraídos do modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), disponível na coleção USGS/SRTMGL1_003 na plataforma em nuvem do GEE. Com uma resolução espacial de 30 metros, esse modelo foi integrado à análise para identificar as elevações predominantes nas áreas de estudo e auxiliar na determinação das cotas de inundação. As informações topográficas geradas permitiram mapear as variações altimétricas, que oscilaram entre 15 e 547 metros.

O SRTM é uma missão realizada em 2000 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em parceria com a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) dos Estados Unidos, o departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais alemã (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* - DLG) e italiana (*Agenzia Spaziale Italiana* - ASI), com o objetivo de gerar um modelo digital de elevação global (GROHMANN; RICCOMINI; STEINER, 2008). Os mesmos autores ressaltam que os dados foram obtidos por meio de um radar interferométrico a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, que mediu a superfície terrestre com alta precisão. Além disso, o SRTM cobre aproximadamente 80% da superfície terrestre, entre as

latitudes 60°N e 54° (EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE (EROS) CENTER, 2018). Sua alta resolução e disponibilidade gratuita o tornam uma ferramenta viável para estudos relacionados a análises ambientais e geoespaciais.

Terceira Etapa: Verificação das Cotas de Inundação

Para identificar áreas inundadas, foram selecionadas imagens do satélite Sentinel-2 (MSI) no GEE, com cobertura de nuvens inferior a 50%, para o período de 30 de abril de 2024 a 8 de maio de 2024, correspondente às inundações ocorridas em abril e maio no RS. Essas imagens foram inspecionadas visualmente por meio de composição RGB, permitindo a identificação de regiões impactadas pelas inundações.

Com base nas áreas inundadas identificadas, foram determinadas as cotas de inundação de cada município utilizando os dados do SRTM. Posteriormente, os arquivos gerados no GEE foram exportados no formato GeoTIFF (.tiff) e utilizados para a elaboração de mapas temáticos no software QGIS (versão 3.22.16). Esses mapas incluíram as elevações do terreno, as áreas impactadas pela inundação e a distribuição das classes de LULC em cada município. Nesse âmbito, no QGIS foi calculada a porcentagem de cada classe afetada pela inundação em cada município, utilizando uma série de funções.

Áreas com altitudes inferiores a 57 metros foram consideradas potencialmente alagáveis em Dona Francisca, com base em uma análise prévia de imagens orbitais e dados topográficos locais. Já em Nova Palma e Restinga Sêca formam 96 e 42 respectivamente a cota de inundação. As cotas de inundação diferem entre os municípios devido às características específicas de relevo e hidrografia de cada local. Em Restinga Sêca, por exemplo, predomina áreas planas e baixa declividade próximas aos rios, o que resulta em uma cota de inundação menor.

Quarta Etapa: Abordagem qualiquantitativa para o tratamento dos dados

A etapa final da metodologia consistiu na aplicação de uma abordagem qualiquantitativa para o tratamento dos dados. A abordagem qualitativa foca na interpretação e compreensão dos fenômenos, valorizando contextos, relações e significados obtidos por meio de análises descritivas, observações e interpretações subjetivas, geralmente baseadas em literatura, entrevistas ou estudos de caso (PAIVA; OLIVEIRA; HILLESHEIM, 2022; PESSÔA; R ÜCKERT; RAMIRES, 2017). Por outro lado, a abordagem quantitativa trabalha com dados numéricos e métricas, utilizando

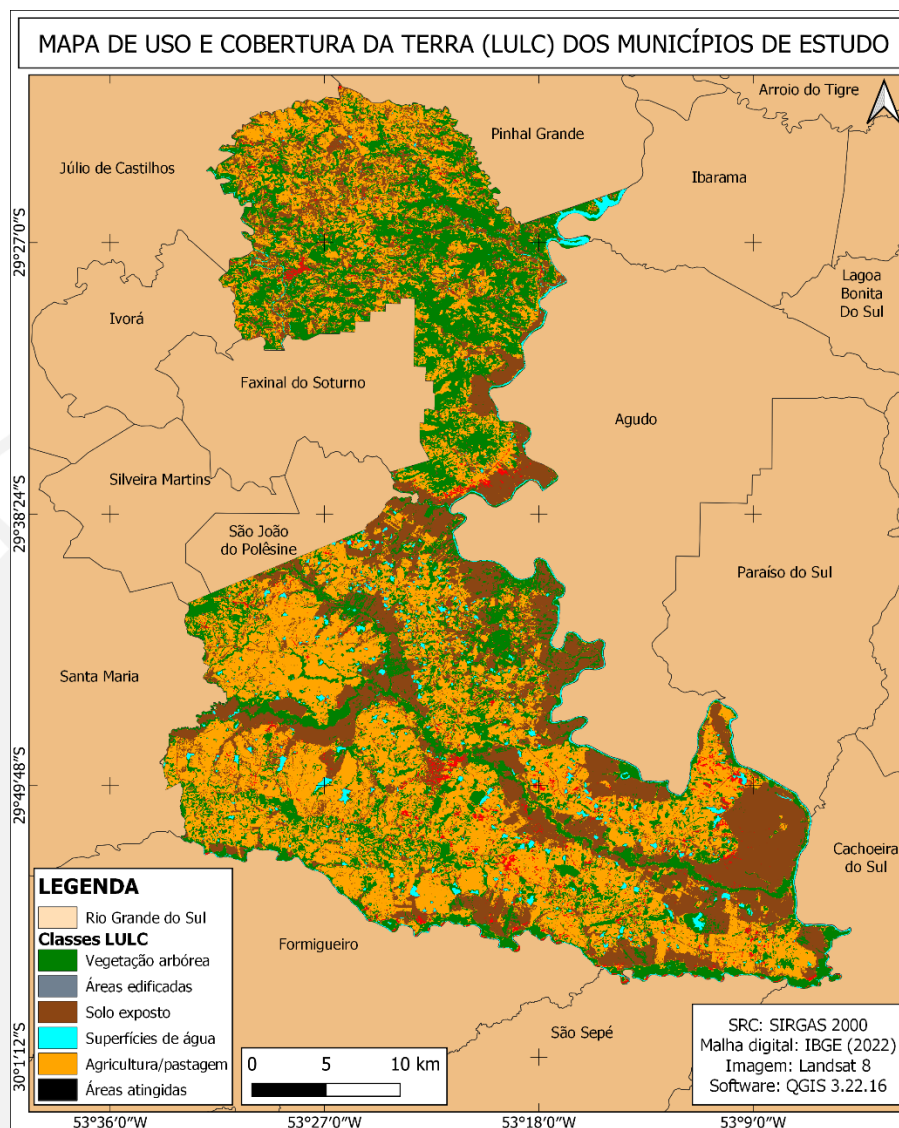
métodos estatísticos e modelos para medir, comparar e estabelecer padrões ou tendências objetivas (BUENO; 2018). A integração dessas abordagens permite uma análise mais completa, combinando a interpretação do qualitativo com a precisão e abrangência do quantitativo (BUENO, 2018; PARANHOS *et al.*, 2016).

A análise quantitativa consistiu na determinação das porcentagens de cada classe de LULC nos municípios estudados, considerando também as cotas de inundação e as elevações presentes nas diferentes porções desses territórios, utilizando dados obtidos no GEE. Esses resultados foram integrados a uma análise qualitativa, que incluiu a interpretação dos mapas, permitindo estabelecer correlações entre os padrões de LULC e os impactos das inundações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação supervisionada categorizou os principais LULC nos três municípios selecionados (Figura 3), com precisão de classificação acima de 0,90. Em Dona Francisca obteve-se 1 para o índice Kappa e a acurácia geral. Em Nova Palma, esse índice foi de 0,92, com acurácia de 0,94. Já o município de Restinga Sêca apresentou o índice Kappa de 0,90 e a acurácia geral de 0,92. Esses valores indicam alta precisão no modelo de classificação utilizado o *Random Forest*, ou seja, as taxas de erros são relativamente baixas.

De acordo com Breiman (2001), o *Random Forest* é um algoritmo amplamente reconhecido por sua capacidade de manejar grandes volumes de dados, proporcionando resultados robustos e precisos. Além disso, a consistência dos índices Kappa e das acurácias gerais está alinhada com as discussões apresentadas por Congalton e Green (2008) e Yi *et al.*, (2024), que destacam a importância do uso de métricas de validação para avaliar a qualidade de classificações temáticas e a efetividade de produtos obtidos a partir de dados de sensoriamento remoto. Esses resultados são essenciais para subsidiar análises posteriores, como a avaliação da localização das classes de LULC e os impactos ambientais associados, garantindo robustez nas interpretações realizadas a partir da classificação.

Figura 3. Classificação do LULC dos municípios de Nova Palma, Dona Francisca e Restinga Sêca.**Elaboração:** Dos autores (2024).

A Tabela 1 apresenta as áreas em porcentagens de cada classe de LULC nos municípios selecionados. Os resultados indicaram que 46,38% do Município de Dona Francisca é ocupada por vegetação arbórea. Essa classe é a predominante nessa unidade territorial; entretanto, o solo exposto (27,2%) e a agricultura/pastagem (24,80%) também estão presentes em grande parte de sua área. Em Nova Palma predomina a agricultura/pastagem (50,83%), seguida de vegetação arbórea (31,73%). No Município de Restinga Sêca identificou-se a agricultura/pastagem (48,61%) e o solo exposto (33,35%) como as classes com maior representatividade.

Tabela 1. Área expressa em porcentagem (%) de cada classe do LULC nos municípios.

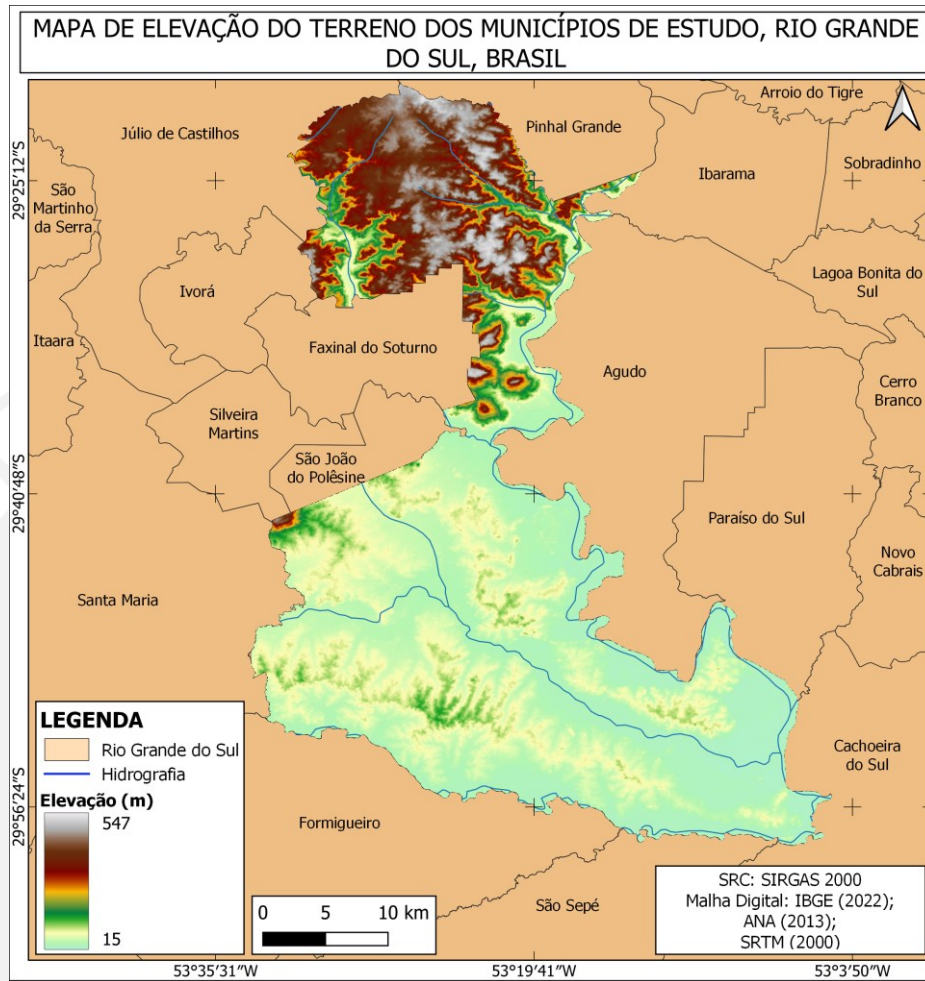
Classes de LULC	Dona Francisca	Nova Palma	Restinga Sêca
	(%)	(%)	(%)
Vegetação arbórea	46,38	31,73	17,22
Áreas edificadas	0,62	0,17	0,28
Solo exposto	27,20	15,53	33,35
Superfícies de água	1,00	1,74	0,54
Agricultura/pastagem	24,80	50,83	48,61

Organização: Dos autores (2024).

Esses padrões de distribuição estão de acordo com os estudos de Godoy (2022), que sugerem que áreas agrícolas geralmente dominam regiões rurais de uso intensivo do solo de forma significativa. Além disso, o predomínio de vegetação arbórea em Dona Francisca pode estar relacionado à presença de remanescentes florestais em áreas com declividades mais acentuadas, tornando esses terrenos menos adequados para agricultura, pastagem ou edificações. Conforme discutido por Forman e Godron (1986) em sua análise sobre a estrutura e os elementos da paisagem, as características físicas do terreno, como declividade, topografia e tipo de solo, influenciam tanto a distribuição e a conservação da cobertura vegetal quanto o uso humano da paisagem. A distribuição elevada de solo exposto e agricultura/pastagem, particularmente em Restinga Sêca, reflete a pressão antrópica, corroborando as observações de Foley *et al.* (2005) sobre a intensificação do uso da terra e seus impactos. Essas informações de percentuais do LULC são fundamentais para entender a dinâmica territorial dos municípios.

A variação da elevação do terreno com dados SRTM é apresentada na Figura 4, e as áreas dos municípios atingidas pela inundação neste evento climático estão representadas na Figura 5. A partir desses mapas, foram verificadas as cotas de inundação para cada município: Dona Francisca (57,00 m), Nova Palma (97,00 m) e Restinga Sêca (42,00 m). Com base nesses resultados, verificou-se que no Município de Dona Francisca uma área em torno de 29,54 km² foi impactada pela inundação; em Nova Palma, 13,83 km²; e em Restinga Sêca, 294,64 km².

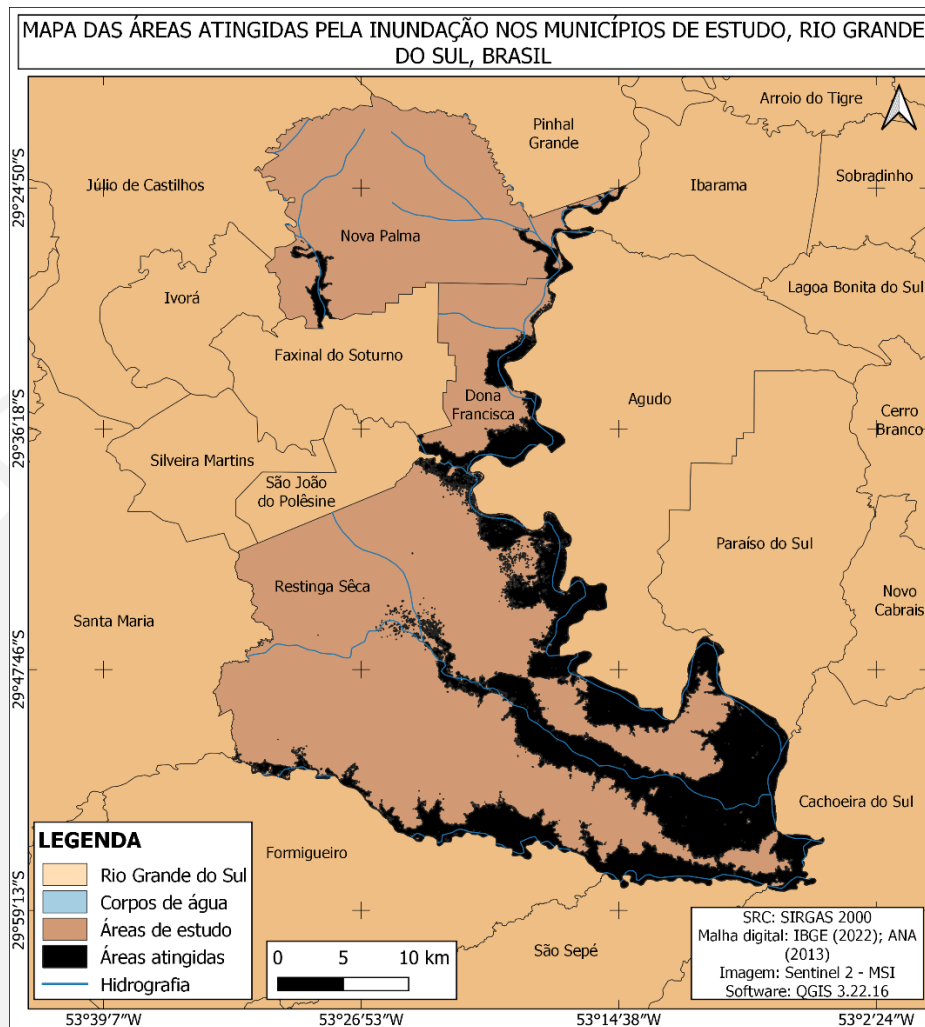
Figura 4. Mapa de elevação do terreno dos municípios de Nova Palma, Dona Francisca e Restinga Sêca.



Elaboração: Dos autores (2024).

Esses dados apontam para importância do uso de modelos digitais de elevação, como o SRTM, para a identificação de áreas suscetíveis a eventos de inundação, conforme apontado no estudo de Niyongabire *et al.* (2016), que realizou sua pesquisa na cidade de Bujumbura, no continente Africano. Além disso, a correlação entre cotas altimétricas e a extensão das áreas alagadas é essencial para a análise de risco e planejamento territorial em regiões vulneráveis. Destaca-se que a maior área impactada em Restinga Sêca está associada às características geomorfológicas locais, como a maior presença de relevo denominado de Planícies Aluviais (FERNANDES, 2012), que, segundo Duarte (2015), são as áreas mais propensas a alagamentos e inundações em eventos extremos.

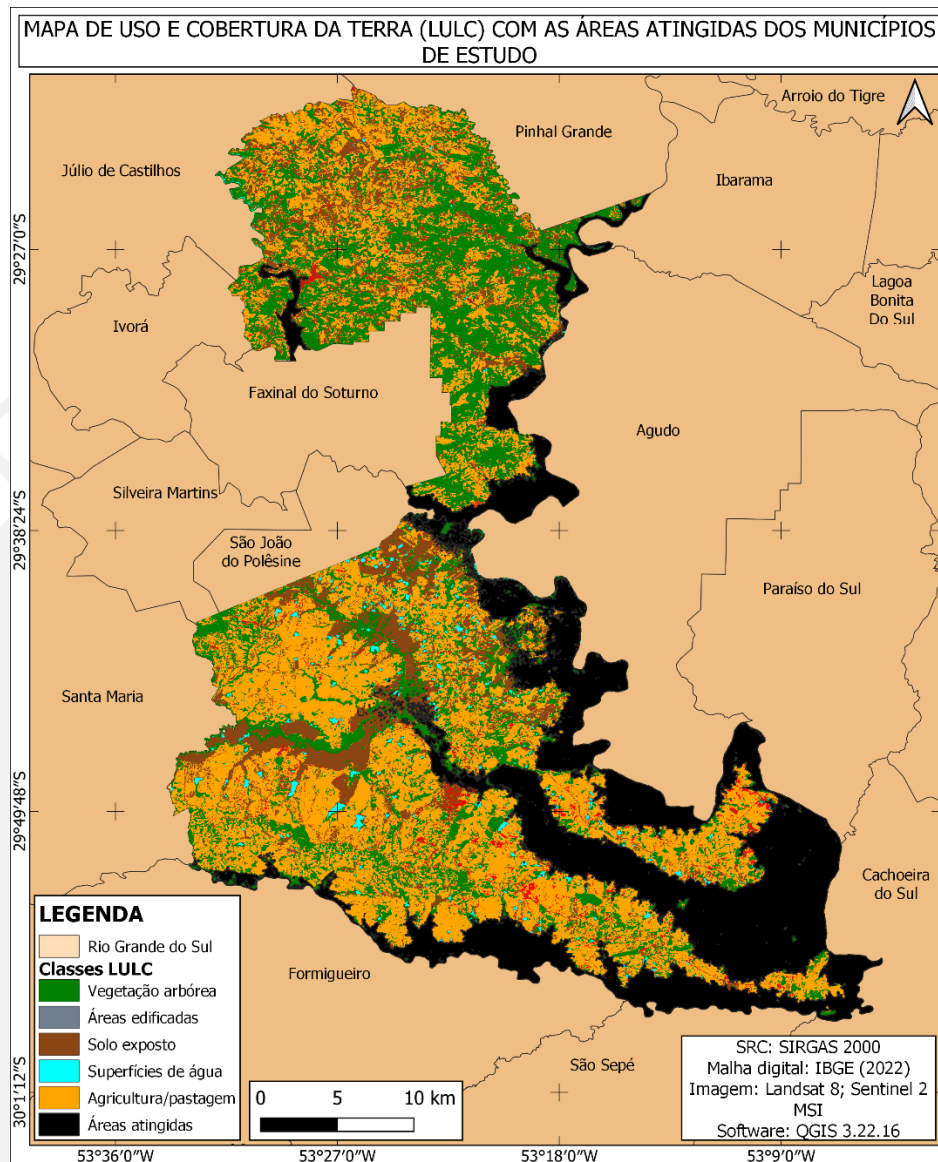
Figura 5. Áreas afetadas pela inundação nos municípios de Nova Palma, Dona Francisca e Restinga Sêca.



Elaboração: Dos autores (2024).

De modo geral, percebe-se que as áreas afetadas pela inundação estão principalmente nas porções menos elevadas (Figuras 4 e 5). Restinga Sêca foi o município mais atingido pelas inundações, em função de possuir as menores elevações do terreno em comparação aos demais municípios, com valores em torno de 15 m em grande parte de sua área (Figura 4). A sobreposição do mapa de LULC (Figura 3) com o das áreas inundadas (Figura 5) permitiu visualizar quais foram as classes mais atingidas pela mancha de água (Figura 6).

Figura 6. Classificação do LULC dos municípios de Nova Palma, Dona Francisca e Restinga Sêca sobreposto com as áreas atingidas pela inundação



Elaboração: Dos autores (2024).

Nesse sentido, áreas aluviais e terrenos planos próximos a corpos hídricos são naturalmente mais vulneráveis a inundações, especialmente em eventos de precipitação intensa, devido à baixa capacidade de drenagem natural, ao solo já encharcado e à concentração de fluxo hídrico nessas regiões (BAPTISTA, 2020; CURY *et al.*, 2021; DUARTE, 2015). Estudos realizados por Hemmati, Ellingwood e Mahmoud (2020) e Soulibouth, Hwang e Shin (2021) também destacam que a ocupação de áreas suscetíveis às inundações, especialmente em regiões com predomínio de atividades agrícolas e urbanização desordenada, potencializa os impactos desses eventos, incluindo perdas econômicas e danos ambientais

significativos. Em vista disso, a seguir apresenta-se a Tabela 2 com as porcentagens afetadas pela inundação de cada uma das classes de LULC.

Tabela 2. Área expressa em porcentagem do impacto da inundação em uma das cada classe do LULC nos municípios de estudo.

Classes de LULC	Dona Francisca	Nova Palma	Restinga Sêca
	(%)	(%)	(%)
Vegetação arbórea	3,7	38,1	17
Áreas edificadas	28,9	13,7	0,4
Solo exposto	30,5	3,6	32
Superfícies de água	33,4	39,8	36,1
Agricultura/pastagem	3,5	4,8	14,5

Organização: Dos autores (2024).

Com base na Tabela 2, observou-se que todas as classes de LULC foram afetadas, porém algumas tiveram maiores impactos. A classe que representa corpos d’água foi a mais impactada de forma direta em todos os municípios analisados, atingindo os rios Jacuí, Vacacaí, Vacacaí-mirim e Soturno. Isso ocorre por se tratar do caminho preferencial de escoamento da água, muitas vezes agravado pelo transporte de sedimentos e materiais para o leito principal do recurso hídrico, conforme destacado por He *et al.* (2020), que aponta que o transporte de sedimentos em eventos de cheia/inundação pode intensificar o assoreamento e alterar significativamente a dinâmica fluvial, resultando em alterações morfológicas.

No Município de Dona Francisca as classes de solo exposto (30,5%) e áreas edificadas (28,9%) foram mais devastadas. Na Figura 7, são evidenciadas as construções parcialmente submersas nas proximidades da BR-348, na respectiva unidade territorial (A), e o trecho dessa mesma rodovia destruído e transportado pela força da correnteza da água (B). Diante disso, verifica-se danos na infraestrutura urbana, corroborando para estudos como os de Park e Lee (2024), que dialogam sobre a vulnerabilidade das áreas urbanizadas em eventos de inundação extrema. Já no Município de Nova Palma, a área alagada sobrepôs principalmente a vegetação arbórea (38,1%). No caso do Município de Restinga Sêca, o maior impacto foi na vegetação arbórea (17%), no solo exposto (32%) e na agricultura/pastagem (14,5%).

Figura 7. (A) Edificações parcialmente submersas nas proximidades da BR-348, em Dona Francisca e (B) Trecho da BR-348 destruído pela inundação.



Fonte: Dos autores (Fotografias registradas em abril e maio de 2024).

A análise das áreas atingidas pelas chuvas intensas e consequente inundação em alguns dos municípios da Quarta Colônia do RS (Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca), nos meses de abril e maio de 2024, apresentou diferentes vulnerabilidades nas classes de LULC. Neste estudo foi possível verificar analisando a Tabela 2 que as classes mais suscetíveis a inundação nos municípios de estudo foram o solo exposto e a vegetação arbórea (Figura 8), devido à sua maior presença em locais com topografia mais plana e menos elevada próximas dos recursos hídricos comparada aos demais usos da terra.

Figura 8. Resquícios de vegetação arbórea arrastados pela correnteza da água durante a inundação nas proximidades do Balneário Atílio Aléssio, no município de Nova Palma.



Fonte: Dos autores (Fotografias registradas em outubro de 2024).

A classe de solo exposto foi a mais afetada pelo evento extremo nos municípios de Dona Francisca e Restinga Sêca. Isso pode estar relacionado com a época de colheita dos principais cultivos agrícolas da região como o arroz nos meses de fevereiro a abril e a soja nos meses de janeiro a maio (OLIVEIRA NETO, 2015; OLIVEIRA NETO, 2016). Nesse período o solo fica, muitas vezes, descoberto até o próximo plantio. O solo desprotegido, somado à topografia local e às chuvas intensas, proporciona a erosão hídrica, com impactos relacionados ao assoreamento de rios e consequente aumento das áreas alagadas com precipitações acima da média (MUPENZI *et al.*, 2011).

Tanto a mata ciliar como a vegetação arbórea próxima dos rios das áreas de estudo foram afetados pela velocidade de escoamento da água, que resultou no arraste de árvores e ocasionou a perda da biodiversidade e habitat, como pode se observar na Figura 8. Nesse sentido, a remoção da mata ciliar pode aumentar o escoamento superficial e diminuir a infiltração, provocando erosão do solo, além de contribuir para o assoreamento dos rios, da qual diminui a capacidade de água que o recurso hídrico suporta devido ao acúmulo de solo no leito, reduzindo a profundidade (JAKIEVICIUS, 2011).

Além disso, também foram observados estragos nas infraestruturas e edificações nos três municípios, em que a força da água arrastou diversos materiais de

origem urbana, localizadas próximas dos rios. A correnteza arrastou material urbano e rural, agravando os estragos e evidenciando a vulnerabilidade das construções nessas áreas. Esses problemas evidenciam não apenas a fragilidade ambiental da região, mas também o descumprimento da legislação vigente, como a proteção obrigatória de Áreas de Preservação Permanente (APPs) prevista no Código Florestal Brasileiro pela Lei de nº 12.651/2012 (BRASIL, 2012). A recuperação e a proteção das matas ciliares são medidas urgentes para mitigar os impactos das enchentes e garantir a resiliência.

Nesse sentido, grande parte dos municípios tiveram casas danificadas e alagadas, famílias isoladas devido à obstrução de estradas e pontes, movimentos de massa em encostas, perda de vidas e deterioração dos cultivos, principalmente da soja e arroz para os agricultores que ainda não haviam realizado a colheita. No caso da agricultura, os dados de perdas na produção de grãos e áreas atingidas no estado do RS foram altos com a inundação. Cerca de 2.714.151 toneladas (t) de soja foram perdidas, e 1.490.505 áreas atingidas (ha). Já o arroz teve perdas de 160.664 t e 89.931 ha afetados (RIO GRANDE DO SUL, 2024).

Os cultivos de arroz e soja são plantados próximos as áreas das classes de superfícies de água. No caso do arroz, a maioria das plantações utiliza o modelo de cultura sob inundação permanente, e não intermitente. Já no caso da soja, é comum que os agricultores a cultivem nessas áreas de planícies, quando o verão tende a ser menos chuvoso (MAGALHÃES JÚNIOR; GOMES; SANTOS, 2004). Devido a essas práticas de cultivo próximas dos rios, ocorreu maior devastação nas classes de solo exposto e culturas agrícolas. Outra questão é que próximo a área dos cultivos agrícolas possui, muitas vezes, uma pequena porção de pecuária, agravando as perdas econômicas nas propriedades.

Com base na Figura 5, observa-se que as áreas inundadas atingiram principalmente as menores cotas de altitudes e os locais próximos dos rios. Sabe-se, de acordo com Freitas e Robaina (2015), que a região da Quarta Colônia é sujeita a diferentes eventos naturais hidrometeorológicos causadores de desastres ou acidentes. Um trabalho publicado em 2021 elencou as áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de inundações em Dona Francisca (FANTINEL; BENEDETTI, 2021). Conforme o mapa elaborado por esses autores, as áreas com alta sucessibilidade à inundação no município de Dona Francisca foram identificadas nas porções leste e sul. Outro estudo similar realizado em 2023 (SCHIRMER; ROBAINA, 2023) mostrou que

as áreas com maior vulnerabilidade à inundação foram equivalentes às verificadas na Figura 5.

Além dos estudos mencionados, outras pesquisas têm identificado áreas suscetíveis a inundações em diferentes municípios do RS. A pesquisa de Oliveira *et al.* (2018), por exemplo, expôs a suscetibilidade a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Forqueta, destacando a vulnerabilidade de áreas de menor altitude e proximidade com cursos d'água, afetando principalmente os municípios de Marques de Souza e Arroio do Meio. No trabalho de Scoti *et al.* (2016) também foi definido a suscetibilidade e o perigo de inundação na área urbana de Rosário do Sul, RS, identificando que as regiões próximas ao rio Santa Maria apresentam maior risco de inundações devido à baixa altitude e à proximidade com o leito do rio. Assim, esses trabalhos, alinhados ao presente estudo, reforçam a importância de compreender a dinâmica das inundações, como ferramenta essencial para o planejamento e ordenamento territorial, bem como para a formulação de estratégias de mitigação e adaptação em áreas vulneráveis do estado.

Além disso, Freitas (2017) realizaram um estudo similar, identificando áreas com maior suscetibilidade à inundação na cidade de Restinga Sêca, que se assemelham a porção delimitada como áreas urbanas, da qual também está presente na Figura 5. Esses estudos reforçam a importância de considerar a topografia e a proximidade de corpos hídricos na avaliação da suscetibilidade a inundações em diferentes municípios do Rio Grande do Sul.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo identificar as áreas afetadas pela inundação ocorridas entre abril e maio de 2024 em alguns municípios da Quarta Colônia, RS, e as principais classes de LULC impactadas. A partir disso, entende-se que o solo exposto e a vegetação arbórea foram as mais afetadas nos municípios de estudo. Essas áreas foram impactadas pelos grandes volumes de chuvas e consequente inundação, por estarem localizadas nas menores elevações e próximas dos rios da região.

A topografia local, somada ao solo exposto e às chuvas intensa, proporciona, muitas vezes, maior erosão do solo e o assoreamento dos rios, que, por sua vez, aumentam as áreas inundadas. Esses fatores evidenciam a necessidade de compreender as dinâmicas locais do LULC para mitigar os impactos de eventos hidrometeorológicos extremos. O solo exposto e as áreas de vegetação arbórea,

particularmente as localizadas nas margens dos rios, mostraram-se mais vulneráveis devido, na maioria das vezes, à ausência de barreiras naturais, como a mata ciliar que é protegido pela Lei nº 12.651/2012 do Código Florestal Brasileiro e pela fragilidade do equilíbrio ambiental em áreas próximas aos recursos hídricos.

Além disso, os resultados destacam a relevância de políticas públicas voltadas à redução de riscos e à gestão ambiental nos municípios analisados. A implementação de medidas como reflorestamento de áreas ciliares, técnicas de manejo sustentável do solo, e planejamento do uso da terra para evitar a ocupação de áreas de risco é essencial. Tais ações podem não apenas reduzir a suscetibilidade às inundações, mas também preservar os recursos hídricos e a biodiversidade local, promovendo um desenvolvimento urbano e rural mais sustentável.

Este trabalho ressalta a importância de integrar dados obtidos por sensoriamento remoto e modelos preditivos ao planejamento territorial. A utilização de tecnologias como o GEE demonstrou ser eficaz na análise das áreas impactadas e na identificação das vulnerabilidades. O monitoramento contínuo e o mapeamento das áreas de risco são ferramentas essenciais para a construção de estratégias de adaptação às mudanças climáticas, que tendem a aumentar a frequência e a intensidade de eventos extremos como as inundações.

A relevância deste trabalho estende-se ao âmbito regional e estadual, fornecendo subsídios para que os gestores públicos e comunidades locais possam atuar de forma mais integrada e preventiva. Além disso, serve como base para futuros estudos sobre a relação entre o uso da terra e a vulnerabilidade ambiental, os resultados obtidos podem fomentar debates e a criação de políticas mais robustas voltadas à mitigação e adaptação frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN, C.; GURGEL, H. C.; CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 18, n. 3, 2009. <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742009000300011>

BAPTISTA, M. N. **Planícies de Inundação: Onde e Como Renaturalizar Funções Hídricas**. Tese (Doutora em Ciências), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2020.

BORGES, G. M.; PACHÊCO, A. da P.; SANTOS, F. K. S. dos. Sensoriamento remoto: avanços e perspectivas. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 32, n. 2, p. 267-292, 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/l12651.htm. Acesso em: 01 dez. 2025.

BREIMAN, L. **Random Forests**. Berkeley. University of California, 2001.

BUENO, J. de F. **Métodos quantitativos, qualitativos e mistos de pesquisa**. Brasília; Rio de Janeiro: CAPES: UAB; FACC/UFRJ, 2018

CARVALHO, L. R. C. Estado começa recuperação da ERS-348, entre Dona Francisca e Agudo. **Secretaria de Logística e Transportes**, 2022. Disponível em: <https://daer.rs.gov.br/estado-comeca-recuperacao-da-ers-348-entre-dona-francisca-e-agudo>. Acesso em: 22 dez. 2024.

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**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 15280-15300, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-243>

CIDADE, L. C. F. Urbanização, ambiente, risco e vulnerabilidade: em busca de uma construção interdisciplinar. **Caderno Metrópole**, v. 15, n. 29, p. 171-191, 2013.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2008.

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, p. 1-19, 2021.

CURY, M. D.; LADWIG, N. I.; MANEGASSO, J. D.; SUTIL, T.; CONTO, D. de. Mapeamento de áreas suscetíveis à inundação como informação para o planejamento e a gestão territorial em bacia hidrográfica. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 83, p. 160-175, 2021.

DUARTE, C. C. **Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca – PE**. Tese (Doutora em Geografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

EARTH RESOURCES OBSERVATION AND SCIENCE (EROS) CENTER. **USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global**, 2018. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 15 jan. 2025.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Análise da susceptibilidade à ocorrência de inundações por meio do uso de média ponderada e geoprocessamento em Dona Francisca – RS. **Tecno-lógica**, v. 25, p. 47-58, 2021.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Geoprocessamento de Dados Espaciais para a Análise de Áreas com Potencial Agrícola no Município de Dona Francisca – RS, p. 105-137. In: SUTIL, T.; PEREIRA, J. R.; LADWIG, N. I.; ZOCCH, J. J.; PEREIRA, J. L. (Orgs). **Geoprocessamento na Análise Ambiental**. Criciúma: UNESC, 2020.

FERNANDES, A. G. **Análise multitemporal de orizicultura irrigada no município de Restinga Sêca/RS em detrimento das Áreas de Preservação Permanente**. Dissertação (Mestre em Geomática), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K. Global Consequences of Land Use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: Wiley, 1986.

FREITAS, R. B. **Estudo e cadastro de áreas de risco de inundação na área urbano do município de Restinga Sêca-RS**. Dissertação (Mestre em Geografia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

FREITAS, R. B.; ROBAINA, L. E. S. Análise temporal dos desastres naturais na Quarta Colônia de Imigração Italiana-RS de 1980 a 2013. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 19, p. 89-107, 2015.

GODOY, D. C. **Aligning agricultural and rural development policies in the context of structural change**. Paris: OECD Publishing, 2022.

GODOY, M. M.; BINOTTO, R. B.; SILVA, R. C. da; ZERFASS, H. Geoparque Quarta Colônia (RS): proposta. In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. da (Org.). **Geoparques do Brasil: propostas**. Rio de Janeiro: CPRM, 2012. Cap. 12.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. dos S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

HAYAKAMA, E. H.; BACANI, V. M.; BREUNING, F. M. B.; SILVA, A.; TRENTIN, R.; PEREIRA FILHO, W. Sensoriamento remoto aplicado aos estudos geográficos: considerações a partir dos trabalhos submetidos ao XI Enanpege. **Revista da**

Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, v. 12, p. 77-96, 2017.

HEMMATI, M.; ELLINGWOOD, B. R.; MAHMOUD, H. N. The role of urban growth in resilience of communities under flood risk. **Earth's Future**, v. 8, n. 3, 2020. <https://doi.org/10.1029/2019EF001382>

HE, Z.; JIA, L.; JIA, Y.; HE, J. Effects of flood events on sediment transport and deposition in the waterways of Lingding Bay, Pearl River Delta, China. **Ocean & Coastal Management**, v. 185, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.105062>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações dos municípios de Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2022a.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Informações dos municípios de Dona Francisca, Nova Palma e Restinga Sêca. **Cidades@**. Rio de Janeiro, 2023.

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. **Summary for Policymakers**. In: CLIMATE CHANGE 2023: SYNTHESIS REPORT. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva: IPCC, 2023. p. 1-34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

JAKIEVICIUS, M. **Matas Ciliares e o Meio Ambiente Rural: Uma proposta de trabalho para educadores**. São Paulo: SMA/CEA, 2011.

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.

LEITE, D. A. R.; SILVA, L. F. O tema mudanças climáticas em teses e dissertações brasileiras de educação ambiental. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2020. <http://dx.doi.org/10.3895/actio.v5n2.12132>

LOPES, M.; FRISON, P.-L.; CROWSON, M.; WARREN-THOMAS, E.; HARIYADI, B.; KARTIKA, W. D.; AGUS, F.; HAMER, K. C.; STRINGER, L.; HILL, J. K.; PETTORELLI, N. Improving the accuracy of land cover classification in cloud persistent areas using optical and radar satellite image time series. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 11, n. 4, p. 532-541, 2020. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13359>

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; GOMES, A. da S.; SANTOS, A. B. dos. **Sistemas de Cultivo de Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

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, p. 5-18, 2009.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MUPENZI, J. D. L. P.; LI, L.; CHEN, X.; AHMED, S.; VARENYAM, A. Soil degradation and altered flood risk as a consequence of deforestation. **Land Degradation and Development**, v. 24, n. 5, 2011.
<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.1147>

NIYONGABIRE, E.; RHINANE, H.; ELHASSAN, E.; MEHDI, M. Use of Digital Elevation Model in a GIS for Flood Susceptibility Mapping: Case of Bujumbura City. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARTOGRAPHY AND GIS, 6., 2016, Albena. **Anais [...]**. Albena: 2016. p. 241-248.

NOBRE, C. A.; YOUNG, A. F. **Vulnerabilidade das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo**. São José dos Campos; Campinas: INPE; UNICAMP, 2011.

OLIVEIRA, G. G. de; FLORES, T.; BRESOLIN JUNIOR, N. A.; HAETINGER, C.; ECKHARDT, R. R.; QUEVEDO, R. P. Análise da suscetibilidade a inundações e enxurradas na bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS, Brasil. **Geociências**, v. 37, n. 2, p. 437-453, 2018.

OLIVEIRA NETO, A. A. de. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015.

OLIVEIRA NETO, A. A. de. **A produtividade da soja: análise e perspectivas**. Brasília: Conab, 2016.

ONU - **Organização das Nações Unidas**, 2024. Disponível em:
<https://brasil.un.org/pt-br>. Acesso em: 21 dez. 2024.

PAIVA, A. B. de; OLIVEIRA, G. S. de; HILLESHEIM, M. C. P. Reflexões sobre a análise de conteúdo no desenvolvimento de pesquisas qualitativas. In: SANTOS, A. O.; OLIVEIRA, G. S. de; RODRIGUES, M. do C. **Metodologias, Técnicas e Estratégias de Pesquisa: estudos introdutórios 4**. Uberlândia: FUCAMP, 2022.

PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO; D. B.; ROCHA, E. C. da; SILVA JÚNIOR, J. A. da; FREITAS, D. Uma introdução aos métodos mistos. **Sociologias**, n. 42, p. 384-411, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/15174522-018004221>

PARK, K.; LEE, E. H. Urban flood vulnerability analysis and prediction based on the land use using Deep Neural Network. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 101, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104231>

PESSÔA, V. L. S.; RÜCKERT, A. A.; RAMIRES, J. C. de L. **Pesquisa qualitativa: aplicações em Geografia**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2017.

PRANDI, J. O que fazer em Restinga Sêca RS: Turismo e dicas. **Viagens e Caminhos**, 2024. Disponível em: <https://www.viagensecaminhos.com/restinga-seca-rs/>. Acesso em: 23 dez. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE DONA FRANCISCA. **Turismo**, 2022. Disponível em: <https://www.donafrancisca.rs.gov.br/turismo>. Acesso em: 22 dez. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA PALMA. **Pontos turísticos e patrimônio histórico-cultural**, 2023. Disponível em: <https://www.novapalma.rs.gov.br/turismo/pontos-turisticos-e-patrimonio-historico-cultural>. Acesso em: 22 dez. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RESTINGA SÊCA. **Pontos turísticos**, s.d. Disponível em: <https://www.restingaseca.rs.gov.br/turismo/pontos-turisticos>. Acesso em: 23 dez. 2024.

PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M. dos S. **Mudanças climáticas: visão tropical integrada das causas, dos impactos e de possíveis soluções para ambientes rurais e urbanos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

RIGHI, E.; HERRMANN, P. B.; COSTA, F. da S.; ANDRADES FILHO, C. de O. Google Earth Engine: Uma análise bibliométrica da produção científica. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 43, p. 62-77, 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.

SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Mapeamento de áreas susceptíveis a desastres naturais da Quarta Colônia-RS com base no zoneamento geoambiental. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, v. 27, p. 1-22, 2023.

SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Mapeamento das unidades de relevo em municípios da Quarta Colônia: Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Nova Palma, Pinhal Grande – RS. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: 2012.

SCCOTI, A. A. V.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; MENEZES, D. J. Definição de suscetibilidade e perigo de inundação na área urbana de Rosário do Sul-RS. **Revista GeoNorte**, v. 10, n. 1, p. 305-308, 2014.

SIAS, E. Evento extremo de chuva no RS tem as “impressões digitais” do El Niño. **MetSul Meteorologia**, 2024.

SILVA, H. P. da. Planejamento urbano e vulnerabilidade em São Félix do Xingu: o papel da defesa civil na resposta a inundações e enxurradas. **Gênero e Interdisciplinariedade**, v. 5, n. 5, 2024.

SOULIBOUTH, L.; HWANG, H. S.; SHIN, D. H. The impact of flood damage on farmers, agricultural sector and food security in Laos: A regional case study of Champhone District, Savannaket Province. **Journal of International Development Cooperation**, v. 16, n. 2, p. 151-170, 2021

SUN, J.; ONGSOMWANG, S. Multitemporal Land Use and Land Cover Classification from Time-Series Landsat Datasets Using Harmonic Analysis with a Minimum Spectral Distance Algorithm. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 2, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020067>

TILIO NETO, P. de. As mudanças climáticas na ordem ambiental internacional, p. 37-81. In: **Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.

UNFCCC - **United Nations Climate Change**, 2024. Disponível em: <https://unfccc.int/>. Acesso em: 21 dez. 2024.

WOLFER, M. F.; MARCHESAN, J.; ALBA, E.; SCHUH, M.; HONNEF, D. H.; OLIVEIRA, H. S.; PEREIRA, R. S. Análise do Uso e Cobertura da Terra Utilizando Imagens Sentinel-2A e Inteligência Artificial. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, v. 43, p. 395-403, 2020.

YI, C.; ZHAO, X.; SUN, Q.; WANG, Z. Assessing the accuracy of remote sensing data products: A multi-granular spatial sampling method. **Future Generation Computer Systems**, v. 159, p. 151-160, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.04.062>

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil – Dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. Tese (Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.