



# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



## Avaliação da Condição da Cobertura Vegetal no Rio Grande do Sul Após Eventos Extremos de Estiagem

Julia Carballo Dominguez de Almeida<sup>1</sup>, Éder Leandro Bayer Maier<sup>2</sup>, Simone Emiko Sato<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestranda em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG), [cdalmeida.j@gmail.com](mailto:cdalmeida.j@gmail.com). <sup>2</sup>Dr. em Geografia, pesquisador e professor da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), [edermaier@gmail.com](mailto:edermaier@gmail.com). <sup>3</sup>Dra. em Geografia, pesquisadora e professora da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), [s.e.sato@furg.br](mailto:s.e.sato@furg.br).

Artigo recebido em 13/08/2024 e aceito em 08/11/2024

### RESUMO

O fenômeno La Niña exerce forte influência nos períodos de estiagem no Rio Grande do Sul, sendo um dos principais fatores o predomínio de chuvas abaixo da média. Quando combinado às mudanças climáticas, intensifica-se, gerando eventos extremos mais frequentes. A anomalia pluviométrica negativa resulta em estresse hídrico, prejudicando o desenvolvimento vegetal. Este estudo buscou avaliar a condição da vegetação no Rio Grande do Sul após anos consecutivos de La Niña em duas estações climáticas do ano de 2022, nos meses de janeiro e julho, e compará-los com os anos de 2016 (quando ocorreu o El Niño) e 2012 (condição neutra). Foi usado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), obtido através do sensor MODIS do satélite TERRA, adquirido por meio da plataforma LAADS DAAC da NASA. No QGIS foram processadas as imagens, gerando representações cartográficas, associando cores aos valores do NDVI (-1 a 1), indicando o estado de saúde da vegetação. Os resultados mostram valores negativos de NDVI no oeste do estado em janeiro de 2022. Em julho, após seis meses, os índices se estabilizaram, indicando impacto generalizado na vegetação. A estiagem intensa revelou áreas de solos expostos, principalmente no oeste do estado. Em comparação com janeiro de 2016 (El Niño) e 2012 (neutro), destaca-se a grave situação vegetal em anos de estiagem, sugerindo impactos também durante El Niño, ocasionados por eventos extremos de chuva. A avaliação conjunta com o MapBiomas revelou danos significativos em matas nativas e áreas agrícolas. Este estudo ressalta a importância do monitoramento ambiental para planejar ações em regiões vulneráveis frente a fenômenos extremos.

Palavras-chave: mudanças climáticas, sensoriamento remoto, NDVI.

## Assessment of the Condition of Vegetation Cover in Rio Grande do Sul After Extreme Drought Events

### ABSTRACT

The La Niña phenomenon has a strong influence on dry periods in Rio Grande do Sul, with one of the main factors being the predominance of below-average rainfall. When combined with climate change, it intensifies, generating more frequent extreme events. The negative rainfall anomaly results in water stress, impairing plant development. This study sought to evaluate the condition of vegetation in Rio Grande do Sul after consecutive years of La Niña in two climatic seasons of the year 2022, in the months of January and July, and compare them with the years 2016 (when El Niño occurred) and 2012 (neutral condition). The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used, obtained through the MODIS sensor of the TERRA satellite, acquired through NASA's LAADS DAAC platform. In QGIS, the images were processed, generating cartographic representations, associating colors with the NDVI values (-1 to 1), indicating the health status of the vegetation. The results show negative NDVI values in the west of the state in January 2022. In July, after six months, the indices stabilized, indicating a widespread impact on vegetation. The intense drought revealed areas of exposed soil, mainly in the west of the state. Compared to January 2016 (El Niño) and 2012 (neutral), the serious vegetation situation in drought years stands out, suggesting impacts also during El Niño, caused by extreme rainfall events. The joint assessment with MapBiomas revealed significant damage to native forests and agricultural areas. This study highlights the importance of environmental monitoring to plan actions in regions vulnerable to extreme phenomena.

Keywords: climate changes, remote sensing, NDVI.

## Introdução

O estado do Rio Grande do Sul enfrentou episódios de escassez de água devido às anomalias negativas da precipitação ao fenômeno La Niña, entre os anos de 2020 a 2023. No início de 2022, a Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2020) estadual registrou que 414 municípios, o que equivale a 83,2% do estado, decretaram situação de emergência. Isso inclui cidades como, por exemplo, Porto Alegre, Bagé e Rio Grande.

Conforme o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), a alta probabilidade de o fenômeno La Niña afetar o Oceano Pacífico Central se seguiu nos meses de fevereiro, março e abril de 2023, o que significou a persistência da falta de chuva no sul do Brasil, caracterizando três anos consecutivos dos impactos sobre a natureza e sobre a população do Rio Grande do Sul. Ainda no ano de 2023, o aumento das temperaturas no Pacífico acima da média caracterizam o início de um El Niño, contribuindo para episódios de chuvas intensas e o registro de eventos extremos de precipitação em contraposição aos anos anteriores (CPTEC/INPE, 2023).

Neste estudo, consideramos o termo estiagem como as anomalias climatológicas negativas, não levando em conta as secas de padrões médios e sazonais, ou seja, foram levados em consideração, principalmente, os eventos extremos relacionados à escassez de água. Os impactos da estiagem não apenas afetam a produção agrícola, mas também são significativos nas questões sociais, ligadas à desigualdade, e à natureza, como a degradação da cobertura vegetal.

Segundo a Defesa Civil do Rio Grande do Sul (2020), a estiagem intensa e prolongada gera impactos que se manifestam gradualmente, apesar de estarem associados ao fenômeno La Niña. As mudanças climáticas estão desequilibrando o sistema global, levando ao aumento na intensidade e frequência de eventos extremos, que vão além dos padrões naturais estimados para os fenômenos de La Niña e também El Niño (IPCC, 2022).

De acordo com Goldemberg (2023), os principais gases que contribuem para os desequilíbrios climáticos associados ao efeito estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e também os gases halogenados (HFC, PFC e SF<sub>6</sub>). O aumento das intervenções humanas sobre o ambiente estão cada vez mais atrelados às mudanças climáticas, sendo assim possível a identificação das fontes de liberação das altas concentrações de gases nas atividades antrópicas. A maioria delas relacionadas às indústrias e grandes produções agropecuárias.

Ainda para o autor, visualiza-se que significativos 67% das emissões de gases de efeito estufa são de dióxido de carbono, originário do uso e extração de combustíveis fósseis, processos de desflorestamento (incluindo queimadas e derrubadas em massa de árvores) e alteração na dinâmica de uso do solo. As sistêmicas intervenções provocadas pelos seres humanos alteram a presença, principalmente, do carbono e do nitrogênio na natureza ocasionando o aumento das temperaturas médias globais, fortemente associadas a distribuição de energia atmosférica, interferindo na disposição de chuvas e, finalmente, na disponibilidade de água.

De acordo com Wobetto (2024), no Dossiê de Mudanças Climáticas, os anos de 2021 e 2022 foram representativos na insegurança alimentar tanto pelo agravamento da crise econômica em todo país, mas também pelos episódios de eventos extremos, que atingiram principalmente os estados do sul e sudeste. Ainda para a autora, o Rio Grande do Sul registrou um período prolongado de falta de chuvas, que resultou na segunda estiagem mais severa registrada pelo Monitor de Secas do Brasil, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

A Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas (PGMC), foi implementada na Lei nº 13.594 de 30 de dezembro, segue o modelo proposto pela legislação nacional, assim como os acordos internacionais dos quais o Brasil for signatário. Diferente da legislação nacional, a gaúcha cita os componentes do sistema estadual que implementaram as medidas adotadas, sendo alguns deles: o Fórum Gaúcho de Mudanças Climáticas; a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas e Prevenção de Desastres Naturais – Rede Clima Sul; e o Conselho Estadual do Meio Ambiente. Outra diferença relevante é a proposta de um incentivo a mudanças no padrão de consumo e a primeira menção a comunidades vulneráveis aos impactos decorrentes das mudanças climáticas, no artigo 5º.

Já no ano de 2023, de acordo com o CPTEC/INPE (2024) iniciou-se em meados de junho um período de super El Niño, com a temperatura média da superfície do mar chegando aos 2,5 °C. Esse fenômeno ocasionou uma série de eventos extremos de chuvas no Rio Grande do Sul, que resultaram em episódios de inundações e alagamentos, perdas econômicas e materiais, desastres ambientais e principalmente a denúncia da falta de planejamento e investimento em planos

de ação voltados para eventos extremos por parte do poder público municipal e estadual.

Os eventos extremos, que podem ocorrer de forma súbita ou gradual até serem percebidos pela população (como a estiagem), afetam além da distribuição de água, a captura de pescados e produção de alimentos no estado do Rio Grande do Sul. Recursos estratégicos como as bacias hidrográficas do estado, que fornecem o abastecimento de água de municípios do sul são consideravelmente afetados inclusive economicamente, já que as secas diminuem ou interrompem a irrigação necessária na produção de alimentos, e as chuvas intensas alteram a dinâmica das lagoas, ocasionando a destruição de cultivos e sistemas naturais. Esses efeitos causam impactos independente da área de classe social ou poder econômico, entretanto as comunidades tradicionais se convertem nas mais vulneráveis, pelo pouco acesso a recursos públicos de orientação e o escasso investimento na produção em pequena escala, além da falta de políticas públicas e invisibilidade dessas comunidades, resultando na gradativa perda dos símbolos de expressão de suas próprias culturas no território.

Wobetto (2024) afirma que, os eventos de tempestades e secas provocam um ciclo de insegurança alimentar para aqueles que, além de depender economicamente do que produzem, ainda abastecem suas casas com esses alimentos. Por isso, torna-se essencial entender como lidam com os prognósticos climáticos e quais ações imediatas os pequenos produtores necessitam para a garantia de uma dignidade social, além do abastecimento e segurança alimentar.

O uso e consumo de água são prejudicados durante a estiagem intensa. Segundo a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN, 2022), foi desenvolvido um plano de segurança hídrica para as sub-regiões do estado, visando melhorar o aproveitamento da água pela população e a gestão dos recursos hídricos. No entanto, essas medidas não conseguiram reverter a falta prolongada de chuvas em algumas regiões, como em Bagé, onde o Departamento de Águas, Arroios e Esgoto teve que implementar um sistema de racionamento de água de 12 horas em diferentes partes da cidade (PEREIRA, 2021).

A estiagem tem impactos significativos, especialmente durante a primavera, verão e outono, quando ocorrem os ciclos de crescimento e reprodução das principais espécies vegetais nativas e cultivadas. O estresse hídrico, conforme definido por Campos *et al.* (2021), ocorre quando a vegetação não recebe água suficiente para atender às suas necessidades, prejudicando seu

desenvolvimento, já que a água representa cerca de 90% a 95% de sua biomassa. Portanto, é crucial avaliar os impactos da estiagem no estado do Rio Grande do Sul para entender os possíveis prejuízos à cobertura vegetal dos biomas sul-rio-grandenses.

A problemática da produção agrícola em monoculturas de larga escala está na geração de um ciclo de desastres que impactam nas mudanças climáticas, que conseqüentemente alteram as condições ambientais e intensificam os eventos naturais. A exemplo do cultivo extensivo de soja no Brasil. Por depender de áreas com milhares de hectares, são promovidos desmatamentos de diversas formas (por derrubadas, por queimadas entre outros) e após continuam devastando o solo e contaminando os rios com produtos químicos e técnicas de colheita degradantes e de difícil regeneração da vegetação sem o auxílio de mais insumos químicos.

Esses processos degradantes tem cada vez mais a cara que o agronegócio dá para o Brasil e, nesse sentido, desregulam o regime de chuvas, a qualidade dos solos e da água. Com o passar dos anos vai contribuir cada vez mais para as alterações climáticas globais e dificultar o acesso a rios limpos, alimentos seguros para o consumo e a diversidade natural.

Considerando as discussões e recomendações dos últimos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), principalmente quanto aos estudos sobre o impactos do aumento da temperatura média global em decorrência do aumento da emissão de gases do efeito estufa, observar o comportamento das anomalias pluviiais é fundamental para compreender o funcionamento do ambiente e melhorar o planejamento ambiental. Isso pode ajudar a subsidiar ações proativas para enfrentar os impactos causados pela estiagem para a população. A degradação da vegetação está diretamente relacionada à cadeia produtiva e à subsistência da população.

De acordo com o Wobetto (2024), cada aumento de 0,5°C na temperatura média global causará tanto episódios de tempestades intensas ou secas prolongadas, quanto ondas de calor ou frio extremos. Portanto, a implementação de políticas públicas para combater os principais fatores que contribuem para as mudanças climáticas e prevenir desastres naturais é essencial. Essas políticas devem focar especialmente nas atividades de produção dominantes, que são responsáveis pelos fatores que aumentam gradualmente os impactos dos eventos climáticos.

As técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são essenciais neste estudo, pois permitem a visualização em larga escala dos

efeitos da estiagem, auxiliando na tomada de decisões pelos órgãos públicos. Nesse sentido, foi escolhido o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada tornando possível identificação das áreas sob maior estresse hídrico vegetal, convertidas, nesse estudo, nas áreas mais vulneráveis aos impactos da estiagem do Rio Grande do Sul.

Segundo Barros *et al.* (2020), o sensoriamento remoto é essencial em pesquisas que visam compreender e monitorar a vegetação e fenômenos climáticos e, em decorrência disso, o uso do índice NDVI representa um dos primeiros produtos analíticos do sensoriamento remoto, utilizado para simplificar a interpretação de imagens multiespectrais. Assim, o monitoramento preciso das características da superfície terrestre fornece uma base sólida para melhor compreender as interações entre fenômenos naturais e atividades humanas, visando um uso mais eficiente e sustentável dos recursos naturais.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a condição da vegetação no Rio Grande do Sul após anos consecutivos de La Niña em duas estações climáticas do ano de 2022, nos meses de

janeiro e julho, e compará-los com os anos de 2016 (quando ocorreu o El Niño) e 2012 (condição neutra). Essa avaliação poderá, futuramente, auxiliar na criação de um plano de gestão integrada da área vegetada, tanto natural quanto agrícola, do Rio Grande do Sul, no intuito de diminuir os impactos e a degradação provocados pelo longo período de estiagem que já foram registrados e que ainda serão registrados no Rio Grande do Sul. Visto que, ambientados dentro das atuais condições climáticas, os eventos extremos passaram a ser mais intensos e constantes em todo o país, principalmente nos estados da região sul.

## Material e métodos

### Caracterização da Área de Estudo

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a extensão territorial do Rio Grande do Sul abrange 281.707,151 km<sup>2</sup>, e a estimativa populacional para o ano de 2021 alcança 11.466.630 habitantes (Figura 1).

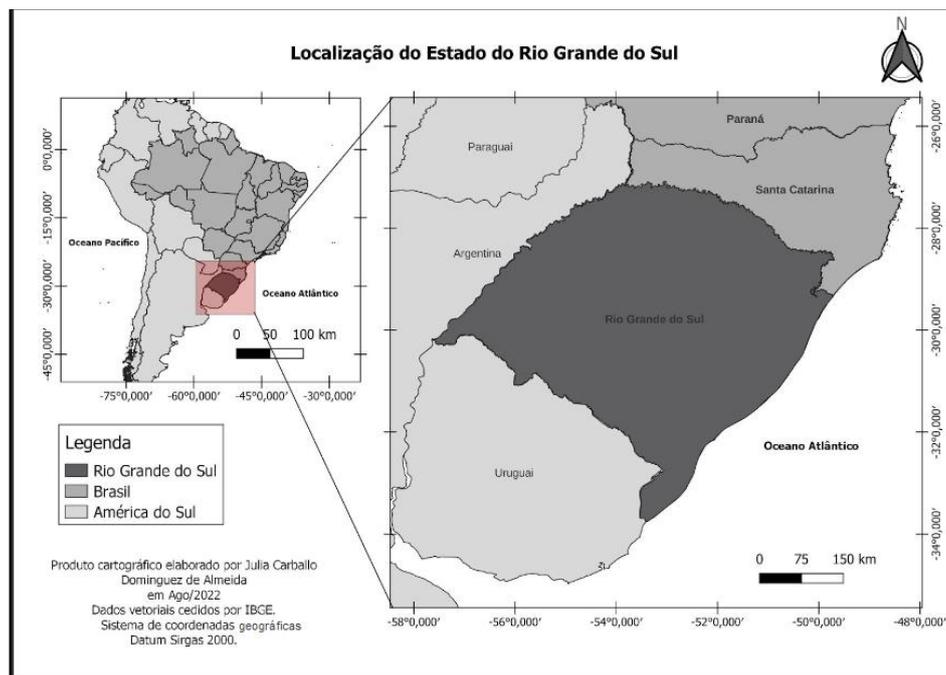


Figura 1: Mapa da localização da área de estudos

O clima no estado pode ser caracterizado como Temperado do tipo Subtropical, enquadrado na categoria Mesotérmico Úmido. Este clima é influenciado por massas de ar polar das zonas Tropical Continental e Atlântica, resultando em uma distribuição de precipitação pluvial que, em geral, se mantém relativamente uniforme ao longo

do ano. Contudo, é importante notar que as regiões dentro do estado apresentam variações na distribuição espacial da chuva. No norte e nordeste, observam-se precipitações mais intensas, com médias em torno de 1.500mm a 1.800mm, enquanto no sul do estado, a precipitação média oscila entre 1.299mm e 1.500mm (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2020).

Dentro desse contexto, este estudo se propôs a avaliar a condição da cobertura vegetal

após a ocorrência de períodos de estiagem. Esta avaliação poderá, potencialmente, contribuir para o desenvolvimento de um plano de gestão sustentável para a vegetação do Rio Grande do Sul, com o objetivo de mitigar os impactos e a degradação das áreas naturais e da agricultura do estado.

*Boletins meteorológicos*

O Conselho Permanente de Agrometeorologia Aplicada do Estado do Rio Grande do Sul (COPAAERGS) publica boletins trimestrais que fornecem recomendações para o planejamento e manejo de plantações com base nas tendências climáticas do próximo trimestre, considerando também eventos climáticos passados e comparações com médias históricas. Esses boletins usam dados de várias instituições ligadas à agricultura e meteorologia, como o 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia, a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura, a Casa Militar e Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, universidades federais e a EMBRAPA, entre outros.

Dois boletins de 2022, referentes às edições dos meses de março e agosto, foram

cruciais para entender as condições de precipitação no estado durante os períodos críticos de estiagem. O boletim de março de 2022 aponta os registros meteorológicos dos meses de dezembro (2021)/janeiro/fevereiro e os prognósticos para os meses de abril/maio/junho. Já o boletim de agosto de 2022 apresenta os registros de abril/maio/junho/julho e os prognósticos dos meses de agosto/setembro/outubro do mesmo ano.

No boletim de março, foi observado que o mês de dezembro de 2021 teve baixos índices de precipitação, abaixo da média histórica (Figura 2), agravando a estiagem na maioria das regiões do estado. Os valores registrados para o mês não chegaram aos 60 mm na maior porção do estado e apenas alcançaram os 130 mm de precipitação pluvial mensal na região da Lagoa dos Patos, eventos associados principalmente aos efeitos de maritimidade. As massas de ar seco concomitantes aos registros de bloqueios meteorológicos resultaram em períodos prolongados sem chuva e valores considerados altos de temperatura máxima do ar, em comparação às médias históricas.

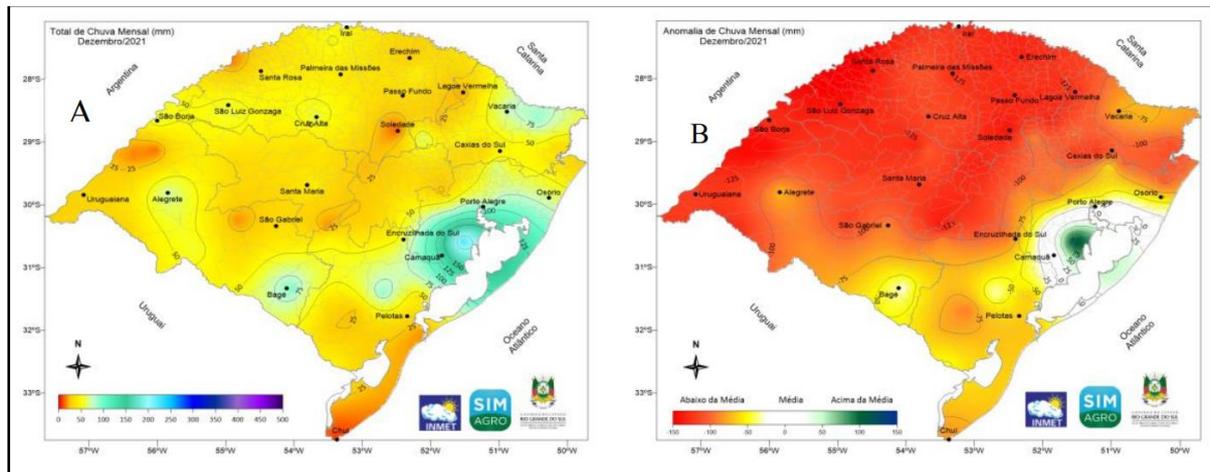


Figura 2: Comparativo da precipitação com a média histórica em dezembro/2021.

Fonte: Boletim COPAAERGS n° 60 – Março de 2022

Já em junho, os totais mensais de precipitação foram próximos a 100 mm, com valores mais altos no norte do estado, ultrapassando 125 mm em algumas áreas. No boletim de agosto (Figura 3), a média mensal de precipitação em junho se comportou de maneira diferente no sul e no norte do estado. Em comparação com a média histórica, houve anomalias positivas no norte, com totais mensais

acima da média histórica, enquanto no sul e no litoral norte ocorreram anomalias negativas, indicando precipitação abaixo da média histórica. Isso sugere variações significativas nas condições pluviométricas do estado ao longo do ano, com consequências importantes para a agricultura e a gestão da água.

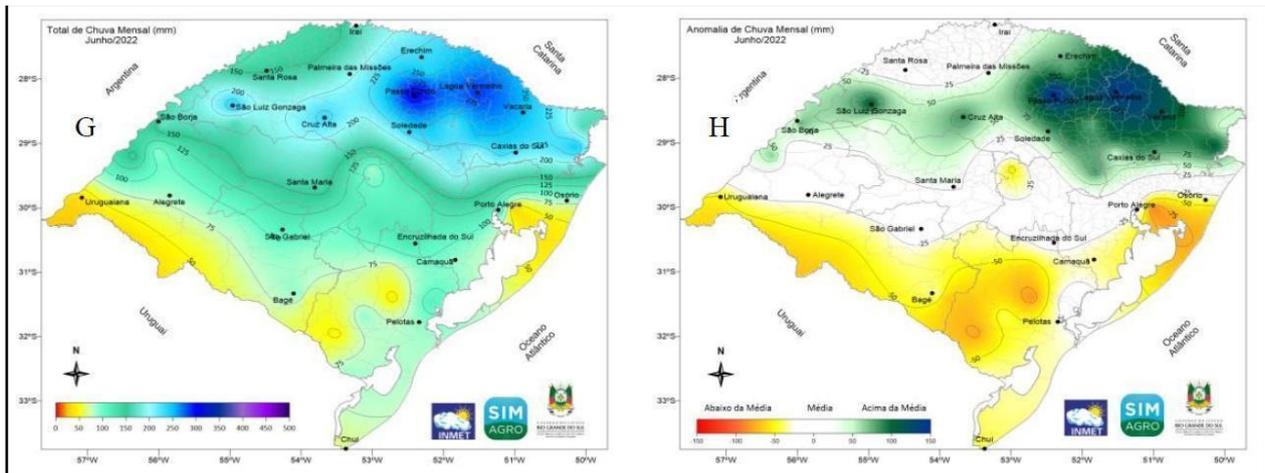


Figura 3: Comparativo da precipitação com a média histórica em junho/2022. Fonte: Boletim COPAAERGS n° 61 – Agosto de 2022

### Procedimentos metodológicos

Com base na categorização dos fenômenos El Niño e La Niña pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os anos de 2022, caracterizados por um La Niña forte, 2016, caracterizados por um El Niño forte, e 2012, identificados como um período neutro, foram selecionados para análise. O estudo em questão concentrou-se na comparação entre os meses de janeiro (verão no hemisfério Sul) e julho (inverno no hemisfério Sul). Essas escolhas temporais permitiram a realização de comparações abrangentes da condição da cobertura vegetal no estado do Rio Grande do Sul, resultando na determinação de um índice para o ano de 2022 que reflete os danos extremos causados à vegetação nativa e à agricultura.

O processo de coleta de dados foi realizado através da obtenção de imagens do sensor *MODIS*, a partir do satélite *TERRA*, disponíveis no repositório de imagens da *NASA*, conhecido como *Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System Distributed Active Archive Center* (LAADS DAAC). Os mosaicos de imagens, apresentados em formato GeoTIFF, foram elaborados com base na localização h13v11 e h13v12, com uma resolução espacial de 250 metros, abrangendo a extensão completa do território do Rio Grande do Sul.

Com o intuito de garantir uma análise completa, foram adquiridos dois conjuntos de mosaicos de imagens para cada ano considerado, contemplando os meses de janeiro e julho. Durante o processo, foram aplicados cálculos do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para cada conjunto de dados. O processamento dos dados foi realizado por meio do software QGIS, em sua versão estável 3.28.2.

As imagens fornecidas pelo sensor *MODIS* e disponibilizadas pela *NASA* foram armazenadas

como valores inteiros de 16 bits. Tal método de armazenamento foi adotado conforme as diretrizes delineadas no manual de usuários do *MODIS/TERRA*, uma vez que o uso de valores em 32 bits resultaria em arquivos de tamanho consideravelmente maior. Para garantir a consistência dos dados com a metodologia do NDVI, os valores foram reajustados para a escala de -1 a 1, utilizando a funcionalidade de calculadora raster disponível no QGIS. Especificamente, cada imagem foi dividida por 10.000, de acordo com o valor recomendado no manual do sensor. O portal LAADS DAAC, disponibiliza o processamento das imagens do sensor *MODIS* enquadradas na equação (1) do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED) \quad \text{eq. (1)}$$

Como resultado, foram obtidos valores de NDVI para os meses de interesse. Além disso, a identificação de áreas com indícios de solo exposto foi realizada com base nos valores de pixel variando de -1 a 0,33, indicando os estágios mais críticos do solo. A análise comparativa dos produtos gerados para os anos de La Niña, El Niño e período neutro foi conduzida visualmente, com discussões complementares baseadas nas relações evidenciadas nos histogramas e na variação de frequência entre os diferentes conjuntos de dados. Essas análises possibilitaram a identificação visual das áreas mais impactadas pelos eventos extremos, assim como permitiram inferências sobre o comportamento esperado dessas áreas durante os períodos neutros, em relação à variação da Temperatura da Superfície do Mar (TSM).

### Resultados

De acordo com o boletim (2021), a maior parte do Estado registrou chuvas inferiores a 60 mm e quase todos os municípios (cerca de 80%) já haviam decretado situação de emergência. A partir da Figura 3, é possível observar em janeiro a consolidação na cobertura vegetal do que foi expresso no boletim.

O mapa da Figura 4 apresenta, em tonalidades variantes de vermelho a verde, as áreas mais ou menos afetadas pelas condições climáticas

atuantes no estado do Rio Grande do Sul no período no verão de 2022. O primeiro destaque é para a região noroeste do estado. Do centro em direção aos municípios que fazem divisa com a Argentina e parte da chamada Campanha Gaúcha os valores de pixel registrados são mais aproximados do -1, ou seja, nessas áreas foi observado pela equação citar essa equação um estresse hídrico considerável.

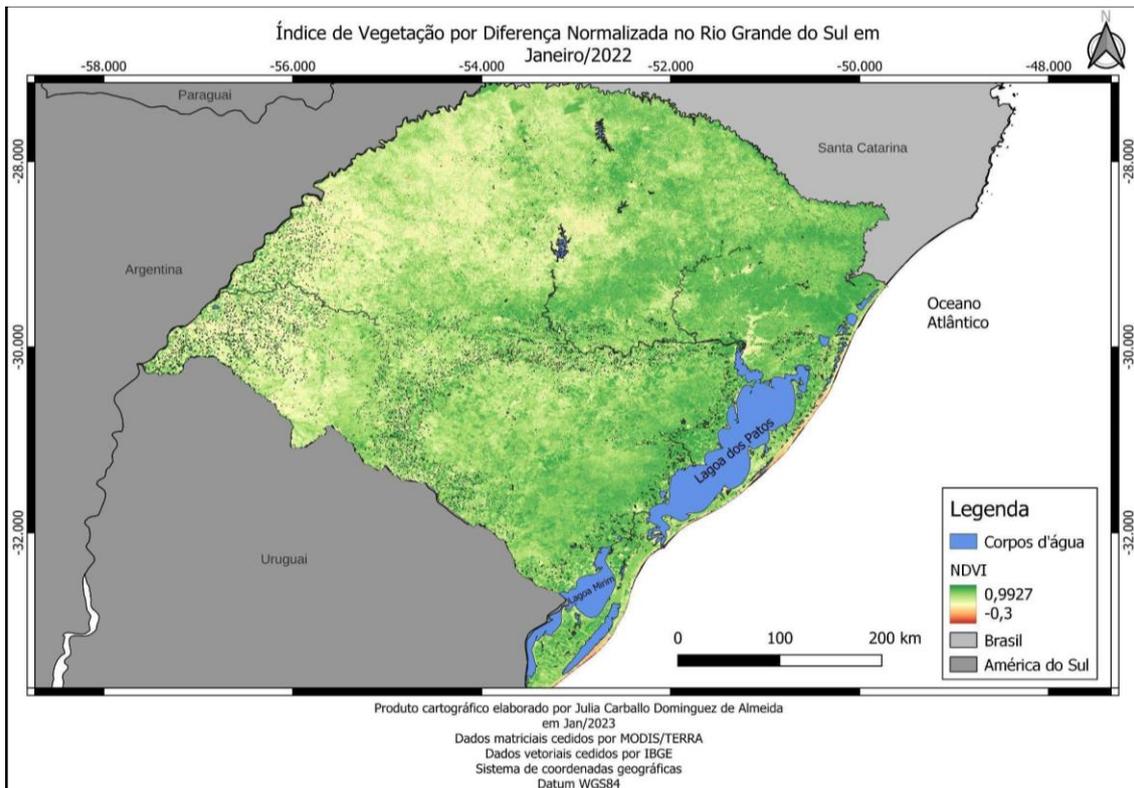


Figura 4: Classificação do NDVI no Rio Grande do Sul em janeiro/2022

A região mais próxima da Lagoa Mirim e Lagoa do Patos, assim como o Litoral Norte, registrou valores com maior variação, mas com tendência ao valor máximo registrado de 0,99. O valor mínimo registrado não pode ser validado, pois as áreas que estão no mapa representadas pela cor vermelha vibrante, apontando os máximos valores de pixel, são corpos hídricos que tem um comportamento espectral diferente da superfície terrestre e não apontam valores que contribuem para a interpretação dos resultados obtidos.

O boletim do COPAAERGS referente ao mês de junho de 2022 aponta que, embora no

nordeste e no Litoral Norte do Estado os registros tenham sido de anomalia positiva da precipitação, a maior parte do Rio Grande do Sul registrou no máximo a média de 100 mm durante o mês inteiro. Ou seja, no mês que representa o inverno nessa pesquisa o padrão de chuvas ainda não tinha atingido um patamar esperado pela normal climatológica. Para avaliar espacialmente como se comportou o regime de chuvas sobre a cobertura vegetal, foi obtida uma imagem do dia 12/07/2022 que expressa, também, em escala de vermelho ao verde os valores referentes à saúde da vegetação (Figura 5).

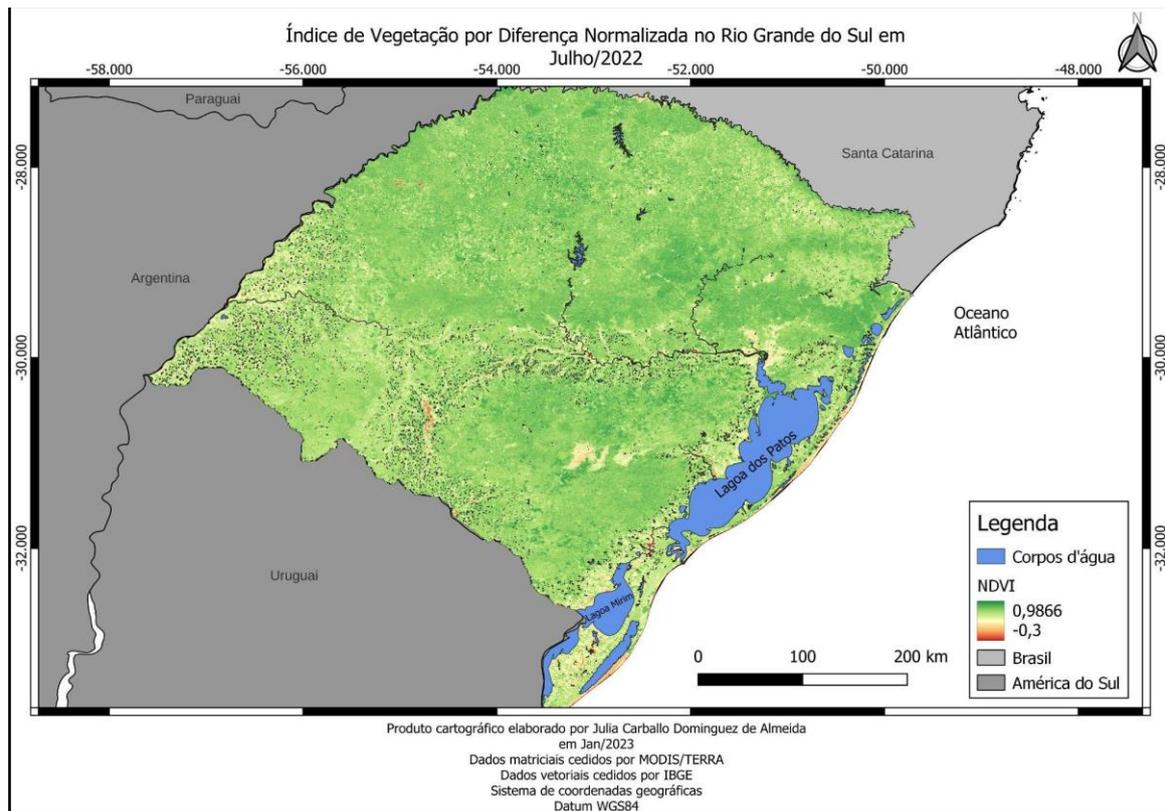


Figura 5: Classificação do NDVI no Rio Grande do Sul em julho/2022

A vegetação, no mês de julho, evidencia valores de pixel mais próximos entre si quando comparados com o mês de Janeiro do mesmo ano. Entretanto, todo o mapa tem uma tonalidade mais clara (ou seja, com menos tons vibrantes de verde) tendendo mais aos valores intermediários, tendo valor máximo 0,98. A região oeste do estado continua tendo o predomínio dos pixels amarelos, direcionando a interpretação para a não recuperação da vegetação mesmo seis meses após os episódios mais intensos da estiagem no Rio Grande do Sul.

Outro ponto de destaque é a intensificação do registro de estresse hídrico vegetal nas áreas próximas ao Rio Jacuí. A intensidade dos eventos de estiagem no Rio Jacuí provocou a mudança na paisagem e o desequilíbrio tanto para a população quanto para a biodiversidade no local (Camillo, 2020). Essa tendência de estagnação no índice da vegetação pode indicar prejuízos futuros, caso os

próximos anos continuem registrando episódios tão prolongados de estiagem. Em algum momento a vegetação não conseguirá se restabelecer e ter um ciclo reprodutivo, florescer e gerar alimentos.

Os histogramas da Figura 6, representam na escala de -0,3 (valor mínimo registrado) a 0,9 (valor máximo) a distribuição dos valores de pixel nas imagens processadas do NDVI. A partir da interpretação do histograma, com base na teoria estatística da dispersão assimétrica, pode-se avaliar que tanto o histograma A, do mês de janeiro, quanto o histograma B, do mês de julho, apresentam assimetrias negativas, tendo em vista que, ambas têm suas máximas frequências de classe em intervalos positivos do NDVI. Isso está associado ao predomínio da cobertura vegetal do solo gaúcho, mesmo com o evidente aumento do solo exposto, que é um processo combinado entre a ocorrência da estiagem e a dinâmica ambiental e de cultivo agrícolas no Rio Grande do Sul.

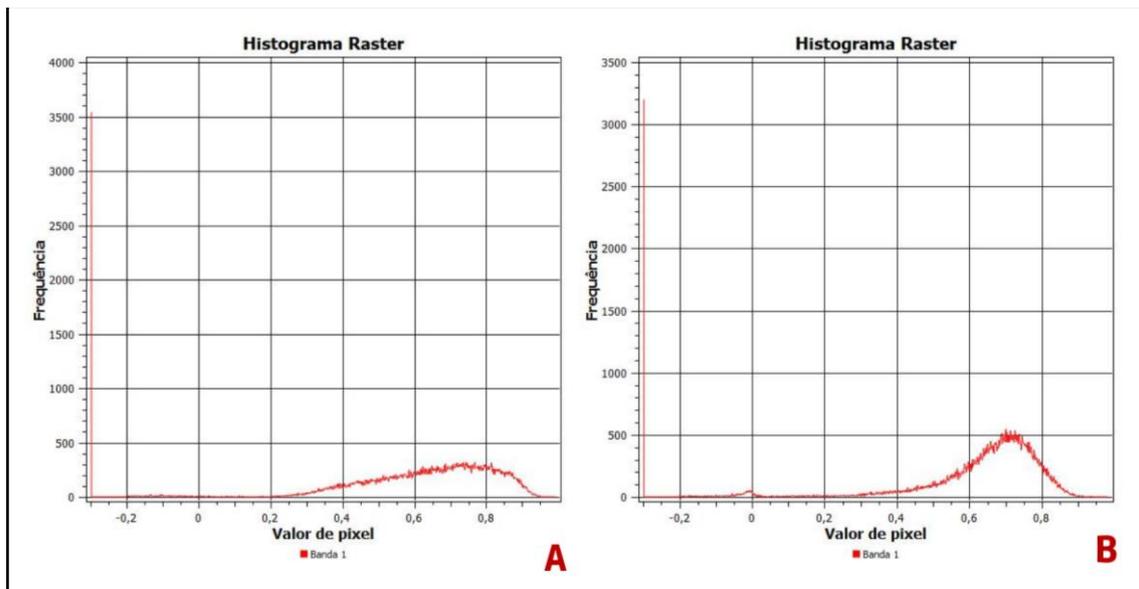


Figura 6: Histograma da distribuição de pixels nas imagens de 2022. Legenda: (A): referente à imagem de Janeiro de 2022. (B): referente à imagem de Julho de 2022

A Figura 6A mostra o histograma da imagem de Janeiro, onde observa-se as máximas frequências entre os valores do NDVI variando de 0,6 até 0,8. Isso evidencia que o produto final apresenta grandes áreas com vegetações consideradas saudáveis, nos parâmetros do NDVI. A baixa amplitude, porém, é um indicativo de que não houve a concentração de pixels em outros valores. Essa análise do histograma corrobora com a interpretação do NDVI apresentado nos mapas, e por isso, pode ser confirmada a afirmação de que existem áreas com vegetação saudável no Rio Grande do Sul, mas que não são tão frequentes ao longo da imagem.

Na Figura 6B é mostrado o histograma da imagem de julho de 2022, onde é possível identificar uma maior amplitude das frequências de classe, com máximas centradas em 0,7 na escala do NDVI. Tendo como base que os valores de pixel do -1 até 0,3 indicam vegetação doente e/ou planta morta, a avaliação é que no mês de julho de 2022 os pixels saudáveis foram mais comuns. Contudo, como o pico do histograma é abrupto, a conclusão é que muitas áreas tiveram ocorrência de reflexão de pixels saudáveis e outras tantas áreas ficaram aglomeradas em valores intermediários, como os a

partir de 0,2 até 0,6. Ou seja, após as chuvas registradas no Rio Grande do Sul, partes da vegetação voltaram a se restabelecer num estágio hídrico saudável, porém outras partes do estado mantiveram a condição de vegetação não saudável.

Ao analisar imagens de La Niña e os efeitos desse evento de forma prolongada sobre a vegetação, é necessário complementar a análise com imagens de referência para realizar os devidos comparativos sobre a vegetação. Visto isso, este estudo analisou outros dois anos, um de El Niño e um ano neutro, para compreender o padrão da vegetação no Estado do Rio Grande do Sul e evidenciar os pontos críticos vistos nas imagens do ano de 2022.

Para o ano de El Niño foi escolhido o ano de 2016 que foi classificado pelo INPE como um ano em que o fenômeno se manifestou de forma intensa. Esse ano foi escolhido, também, por ser o fenômeno contrário ao La Niña registrado mais próximo a data de análise dos dados. A metodologia aplicada foi a mesma elaborada para as imagens de 2022 e a partir desse processamento foram obtidos os resultados abaixo (Figuras 7 e 8).

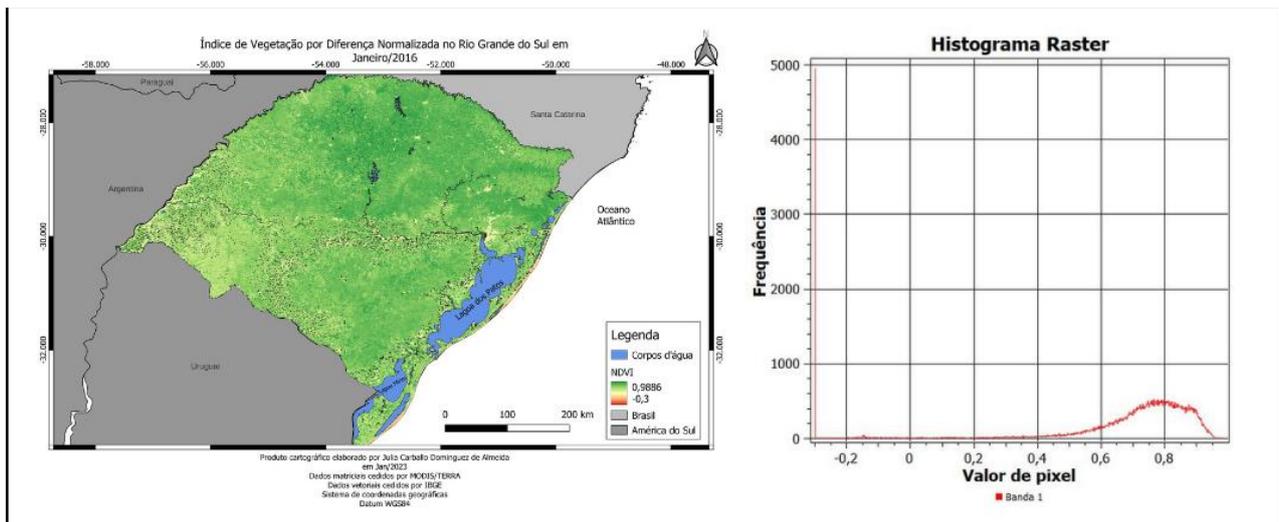


Figura 7: Classificação do NDVI em janeiro/2016 e histograma do raster

A imagem utilizada, obtida através do LAADS DAAC, é do dia 17/01/2016 num momento em que o estado já estava entrando no segundo ano de uma forte anomalia pluvial positiva. A interpretação do mapa em conjunto com o histograma evidencia tonalidades de verde mais intensas e uma quantidade significativa de pixels em valores que no NDVI são atribuídos às plantas saudáveis. É possível identificar padrões que já são expressos nos mapas de 2022. O noroeste do Estado tem os registros de vegetação mais próximos dos tons de amarelo na escala.

Ou seja, mesmo em períodos intensos de chuva, essa porção do Rio Grande do Sul já representa os pontos de vegetação mais propensos ao estresse hídrico. Os valores não são distantes dos valores registrados nos meses de 2022, variando de -0,3 a 0,97, mas o histograma ajuda a compreender que os pixels da imagem são mais espalhados nos valores que evidenciam saúde vegetal.

A imagem de julho (Figura 8), datada do dia 11/07/2016, é similar à observada em Julho do ano de 2022. O Oeste e a região central do mapa são as que apresentam valores mais próximos das tonalidades de amarelo, indicando assim, áreas onde a vegetação não estava saudável. O histograma (Figura 8) tem baixa amplitude e valores de pixels mais dispersos no gráfico, ou seja, poucas áreas do mapa responderam de forma espectral aos valores mais próximos a 1.

Esse mapa expressa de forma clara a problemática por trás dos eventos extremos. Nem eventos de estiagem intensa, nem os eventos de chuva intensa são proveitosos para os cultivos e para a mata nativa. Por isso, o equilíbrio climático protege a vegetação dos riscos de devastação, que ocorrem pelo estresse hídrico ou pela inundação dos ambientes.

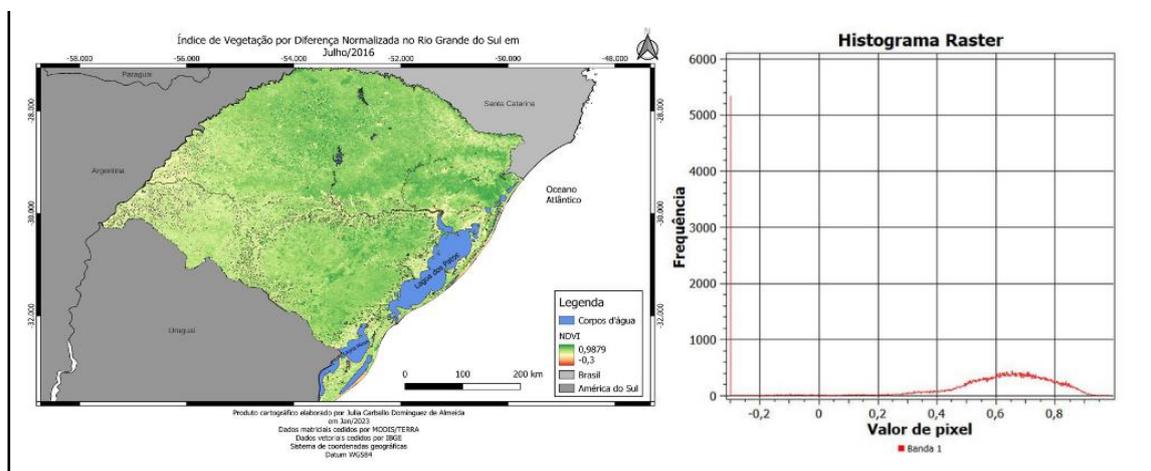


Figura 8: Classificação do NDVI em julho/2016 e histograma do raster

O ano de 2012, escolhido nessa pesquisa como o ano neutro, foi um ano em que não foram registradas, no oceano Pacífico, anomalias positivas ou negativas na temperatura superficial do mar (TSM). Portanto, nesse ano o regime de chuvas deve ser aplicado como base para a observação dos fenômenos que vieram após ele. Outros eventos climatológicos e atmosféricos

podem ter se manifestado sobre o Rio Grande do Sul nesse período e, ainda, podem ter interferido na condição da vegetação. Contudo, esse foi o ano neutro mais próximo da data de análise de 2022, indicado pelo INPE, e foi considerado a partir do critério da disponibilidade de imagens do repositório.

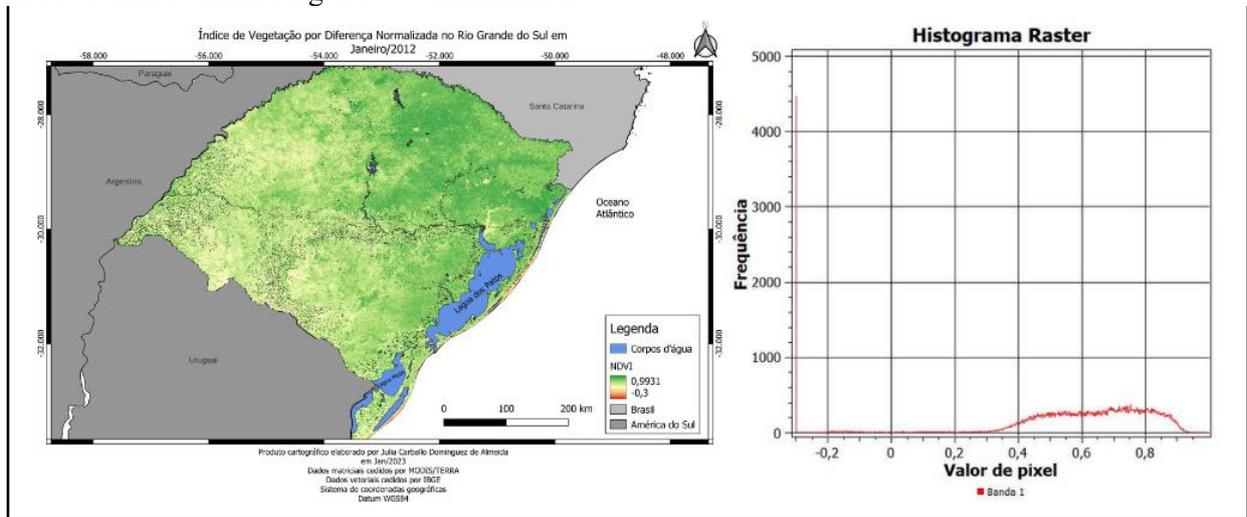


Figura 9: Classificação do NDVI em janeiro/2012 e histograma do raster

A Figura 9 apresenta o mapa do dia 17/01/2012 que é semelhante ao mapa do NDVI de janeiro de 2022. Observa-se o predomínio de vegetação mais seca em todo o oeste do estado. Na Figura 7, o histograma é bastante esparsos e tem seus valores mais frequentes registrados a partir de 0,3, que indica o estado de vegetação não saudável. No ano de 2011, como observado, foi identificado um ano de La Niña considerada moderada. Com isso, pode ser que os efeitos do fenômeno ainda pudessem estar sendo sentidos pela vegetação, mesmo com a virada de ano. Outra evidência de que os efeitos prolongados da ausência de chuvas desgastam a vegetação, que não consegue se recuperar.

O mapa de julho de 2012, registrado em 11/07/2012, aponta a tendência do Rio Grande do Sul de ter chuvas menos distribuídas ao longo do território no inverno e, assim como nos outros mapas, destaca a região oeste como a com índices de vegetação menos saudáveis (Figura 9). Esse fator pode ser um resquício de vegetação que foi afetada pelo fenômeno da estiagem no ano anterior. Na Figura 10 o histograma apresenta baixa amplitude e se comporta de forma similar ao histograma de julho de 2012, indicando que na média, a maior parte da vegetação não estava no valor mais alto que indica saúde.

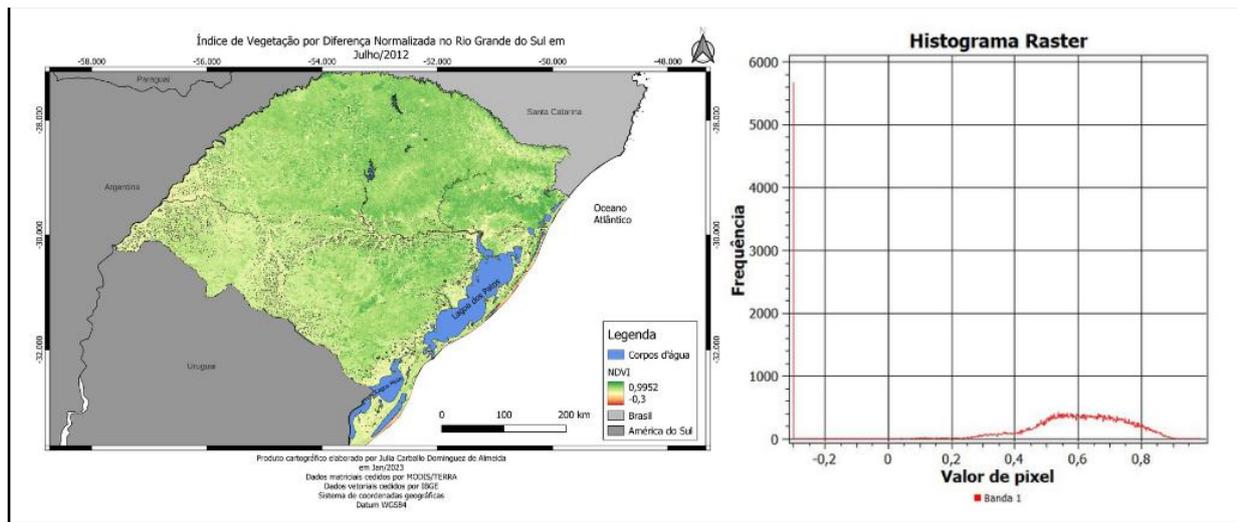


Figura 10: Classificação do NDVI em julho/2012 e histograma do raster

A partir da leitura dos mapas e histogramas de anos contrários a um fenômeno La Niña algumas interpretações são destacáveis. Em primeiro lugar, o regime de chuvas menos intenso no inverno contribui para a menor coleta de água pelas plantas que acabam secando. Esse fenômeno ocorre de forma natural e a vegetação está acostumada com alguns períodos mais úmidos e outros mais secos. No entanto, se um fenômeno como os eventos extremos arrasam a planta ao ponto dela não conseguir se recuperar até o inverno, é preciso observar e elaborar planos de controle e conservação da vegetação.

O segundo ponto é que os anos de 2016 e 2012 ajudaram a evidenciar que a degradação causada pela intensa estiagem em 2022 trouxe impactos econômicos, sociais e ambientais que vão ser sentidos por um longo período. É preciso que propostas de planejamento ambiental sejam construídas para contemplar a saúde da vegetação, que planos fiscais de apoio aos pequenos produtores sejam implementados e, com urgência, a execução de ementas de combate às mudanças climáticas no sentido de evitar que episódios de eventos extremos se tornem mais frequentes e intensos.

O estresse hídrico na vegetação expõe as áreas ao risco de queimadas (espontâneas ou intencionais) que afeta principalmente as áreas campestres planas, mas que também pode agir sobre formações florestais mais densas e provocar

desastres irreversíveis para a vegetação. A exemplo do município de Ipê, na serra gaúcha, onde o corpo de bombeiros levou 20 horas para conter o fogo que se alastrou numa área de 80 hectares por conta do longo período de estiagem (SGORLA, 2022). E na Estação Ecológica do Taim, a estimativa é de que 2,5 mil hectares de área preservada tenham sido queimadas a partir de uma descarga elétrica na vegetação seca no final de Dezembro de 2022 (CUSTÓDIO, 2022).

O bioma Pampa (Figura 11), que representa 2,3% do território nacional, tem como principais classes atribuídas pelo MapBiomas a agricultura e as formações campestres. No mapa gerado pelo projeto, é possível visualizar que as classes em tons mais rosados são as áreas destinadas aos cultivos e as áreas de formação campestre se apresentam em verde musgo. A partir disso, em referência aos índices da vegetação por diferença normalizada gerados para o ano de 2022, é possível observar que as áreas mais afetadas pela estiagem em janeiro são justamente as áreas referentes a mata nativa e plantações. Ou seja, a consequência da estiagem sobre a vegetação atingiu justamente as áreas onde existem produtores de alimentos e onde a principal paisagem do bioma Pampa se estabelece. As áreas mais próximas ao Rio Jacuí, que registrou valores consideráveis de estresse hídrico vegetal no mês de julho, também apresenta uma extensa área de cultivos.



A mesma análise pode ser aplicada aqui, já que nas duas datas avaliadas nesse estudo, a parte superior do estado sofreu com a falta de chuva para irrigar a vegetação. O estresse hídrico na vegetação expõe as áreas ao risco de queimadas (espontâneas ou intencionais) que afeta principalmente as áreas campestres planas, mas que também pode agir sobre formações florestais mais densas e provocar desastres irreversíveis para a vegetação.

### Conclusões

As mudanças climáticas serão uma realidade em um curto espaço de tempo e a produção primária de alimentos será progressivamente afetada. Levando em consideração que, no Brasil, a grande maioria das frutas, legumes, hortaliças são produzidos pelos pequenos agricultores e que os pescados em regiões litorâneas são a base da alimentação em comunidades pesqueiras, as alterações climáticas irão impor um regime cruel e inserto para aqueles que dependem da natureza como fonte produtora de subsistência. Os produtores conhecem o clima, mas não serão capazes de lidar com os impactos dos efeitos climáticos já conhecidos, potencializados e mais frequentes, que são as expectativas para o futuro se o cenário atual não começar a ser revertido.

Nesse sentido, é fundamental destacar que os impactos da forma de produção hegemônica sobre o ambiente não são efêmeros; eles reverberam ao longo das gerações, deixando um legado que pode ser negativo para as questões ambientais. Por isso, o controle da crise climática torna-se inadiável, pois representa a chave para mitigar os avanços imprevisíveis dos eventos climáticos extremos, que tornaram-se cada vez mais comuns.

Para enfrentar esse desafio, o uso de técnicas avançadas, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, emerge como uma ferramenta indispensável. Essas tecnologias possibilitam a avaliação precisa das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas e aos desastres naturais, fornecendo informações cruciais para a construção de um plano de ação eficaz. Esse plano não apenas visa recuperar ecossistemas degradados, mas também preservar o que resta e estabelecer uma nova dinâmica, mais consciente, entre os seres humanos e a natureza.

Dentro desse panorama, os resultados deste estudo ressaltam a importância de implementar ações para conservar a vegetação do Rio Grande do Sul, especialmente diante dos desafios causados pelos períodos de estiagem, que podem se tornar mais frequentes e intensos devido

às mudanças climáticas. A condição crítica da cobertura vegetal, agravada pela ocorrência do fenômeno La Niña, reforça a necessidade de intervenções imediatas e eficazes. Isso inclui estratégias para a proteção da vegetação nativa e o suporte aos produtores de alimentos que dependem diretamente desses ecossistemas saudáveis.

O fomento das práticas de consumo consciente é essencial para que além de abrandar o processo atual de degradação da natureza, ainda se tenha a possibilidade da criação de planos para a mitigação dos futuros impactos associados ao modo de produção atual. É indiscutível que as ações humanas sobre o planeta já deixam marcas irreversíveis, mas a ação coletiva na implementação de planos de prevenção e adaptação pode garantir a segurança e integridade de diversas comunidades, principalmente aquelas mais vulneráveis.

Nesse sentido, é crucial a garantia do cumprimento tanto das políticas estaduais, quanto as nacionais, para que se reafirme o compromisso com a segurança e a integridade da população vulnerável aos impactos dos eventos extremos potencializados pelas mudanças climáticas, no estado do Rio Grande do Sul. Num caminho que compreenda as demandas da natureza e visa a proteção dos recursos naturais, principalmente no ramo da agricultura que garante a alimentação de todos.

Além disso, a disseminação das técnicas de geoprocessamento como auxílio à tomada de decisões pelo poder público pode acelerar a implementação de projetos voltados para a restauração e conservação ambiental. Essa disseminação pode ser um catalisador para reverter o estado de degradação vegetal e promover a harmonia entre a atividade humana e o meio ambiente.

### Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e aos professores Éder Leandro Bayer Maier e Simone Emiko Sato pelo empenho no desenvolvimento deste artigo.

## Referências

- Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. (2020). *Clima, temperatura e precipitação*. Recuperado em 9 de outubro de 2023, de <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/clima-temperatura-e-precipitacao>.
- Barros, A. S., Farias, L. M., & Marinho, J. L. A. (2020). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro do Norte – CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(6), 2885-2895. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2885-2895>
- Camillo, M. B. (2020, 10 de maio). Estiagem histórica muda a paisagem no Rio Jacuí. *Areia Sinos*. <https://areiasinos.com.br/2020/05/06/estiagem-historica-muda-a-paisagem-no-rio-jacui/>
- Campos, A. J. M., Santos, S. M., & Nacarath, I. R. F. F. (2021). Estresse hídrico em plantas: uma revisão. *Research, Society and Development*, 10(15), 1-7. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i15.23155>
- CPTEC/INPE. (2023, outubro 9). Condições atuais do ENOS. Recuperado de <http://enos.cptec.inpe.br/#>
- CPTEC/INPE. (2024, junho 20). Condições atuais do ENOS. Recuperado de <http://enos.cptec.inpe.br/#>
- Conselho Permanente de Agrometeorologia do estado do Rio Grande do Sul (COPAAERGS). (2022, março). *Boletim de Informações nº 60*.
- Conselho Permanente de Agrometeorologia do estado do Rio Grande do Sul (COPAAERGS). (2022, agosto). *Boletim de Informações nº 61*.
- Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). (2022, outubro 9). Para enfrentar estiagem severa, Corsan reforça sistemas e pede uso responsável da água. Recuperado de <https://www.corsan.com.br/para-enfrentar-estiagem-severa-corsan-reforca-sistemas-e-pede-uso-responsavel-da-agua>
- Custódio, A. (2022, dezembro 12). Área atingida por incêndio na Estação Ecológica do Taim ultrapassa 2,5 mil hectares de vegetação. *GZH*. Recuperado de <https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2022/12/area-atingida-por-incendio-na-estacao-ecologica-do-taim-ultrapassa-25-mil-hectares-de-vegetacao-clbo7jfo90017017vijund8jm.html>
- Goldemberg, J. (2023). Trinta anos da convenção do clima. *Estudos Avançados*, 37(107), 177-187. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37107.016>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2021, outubro 9). Brasil: Cidades e Estados. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs.html>
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Nova Iorque: IPCC.
- MAPBIOMAS (Brasil). (2021, janeiro 13). Infográficos. Recuperado de <https://mapbiomas.org/infograficos-1>
- Pereira, V. A. (Ed.). (2021, maio 19). Estiagem: racionamento de água começa nesta quinta em Bagé. *Agora RS*. Recuperado de <https://agoranors.com/2021/05/estiagem-racionamento-de-agua-comeca-nesta-quinta-em-bage/>
- Rio Grande do Sul. Defesa Civil do Rio Grande do Sul. (2020, outubro 9). Saiba como agir em caso de estiagem. Recuperado de <https://www.defesacivil.rs.gov.br/saiba-como-agir-em-casa-de-estiagem>
- Rio Grande do Sul. (2010). Lei nº 13.594, de 30 de dezembro de 2010. Institui a Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas – PGMGC –, fixando seus objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.
- Sgorla, C. (2022, janeiro 12). Estiagem no RS provoca incêndios que avançam pela vegetação na Serra. *Correio do Povo*. Recuperado de https://www.correiodopovo.com.br/not%

C3%ADcias/cidades/estiagem-no-rs-  
provoca-inc%C3%AAndios-que-  
avançam-pela-vegetação-na-serra-  
1.755060

Wobetto, S. (2024, fevereiro 9). Dossiê  
Mudanças Climáticas: segurança  
alimentar em xeque. *Universidade  
Federal de Santa Maria*. Recuperado de  
[https://www.ufsm.br/midias/arco/seguran  
ca-alimentar-em-xeque](https://www.ufsm.br/midias/arco/seguranca-alimentar-em-xeque)