

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

IMPACTOS DAS SECAS NO USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA NO RIO GRANDE DO SUL

*Nicole Viegas Ramalho¹; Anderson Ruhoff², Leonardo Laipelt³, Gabriel Matte⁴, Wilany Alves⁵,
Julia Rossi⁶ & Bruno Comini⁷*

Abstract: Agriculture is an important sector for the Brazilian economy, and in Rio Grande do Sul the use of irrigation in rice, soybean and corn crops is being discussed. However, the increase in the irrigated area occurs in a scenario of increasingly frequent droughts, which reduce water availability and compromise production. The municipality of Cruz Alta, the largest in area irrigated by central pivot in the southern region of Brazil, has been impacted by prolonged droughts. In this study, the objective is to evaluate the effects of droughts on irrigated agriculture in Cruz Alta, using remote sensing data to estimate evapotranspiration (ET) and monitor water use under different climatic conditions. Three satellite-based models (geeSEBAL, PT-JPL and SSEBop) were applied to estimate ET, in addition to the analysis of the vegetation index (NDVI) and the land surface temperature (LST). The information was obtained from Landsat images and meteorological data from ERA5-Land, processed on the Google Earth Engine (GEE) platform. In the historical period, the models showed ET variation. The geeSEBAL model showed greater variability in TS, with greater peaks and significant variations, indicating greater sensitivity. The SSEBop model had an intermediate behavior, while the PT-JPL showed smaller fluctuations, which may lead to underestimation of the need for irrigation in extreme periods. In addition, an analysis of NDVI, LST and ET is expected in this study both in rainfed and irrigated areas, with the objective of comparing the performance of the models used.

Resumo: A agricultura é um setor importante para a economia brasileira, e no Rio Grande do Sul destaca-se o uso da irrigação em culturas de arroz, soja e milho. No entanto, o aumento da área irrigada ocorre em um cenário de secas cada vez mais frequentes, que reduzem a disponibilidade hídrica e comprometem a produção. O município de Cruz Alta, maior em área irrigada por pivô central da região Sul do Brasil, tem sido impactado por estiagens prolongadas. Neste estudo, o objetivo é avaliar os efeitos das secas sobre a agricultura irrigada em Cruz Alta, utilizando dados de sensoriamento remoto para estimar a evapotranspiração (ET) e monitorar o uso da água em diferentes condições climáticas. Foram aplicados três modelos baseado em satélites (geeSEBAL, PT-JPL e SSEBop) para estimar ET, além da análise do índice de vegetação (NDVI) e da temperatura da superfície terrestre (LST). As informações foram obtidas a partir de imagens Landsat e dados meteorológicos do ERA5-Land, processados na plataforma Google Earth Engine (GEE). No período histórico, os modelos mostraram variação de ET. O modelo geeSEBAL mostrou maior variabilidade na ET, com maiores picos e variações significativas, indicando maior sensibilidade. O modelo SSEBop teve um comportamento intermediário, enquanto o PT-JPL exibiu menores flutuações, o que

1) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nicolevramalho@gmail.com

2) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, andersonruhoff@gmail.com

3) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, leolaipelt@gmail.com

4) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, matte.rios@ufrgs.br

5) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, wilanyg.alves@gmail.com

6) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, juliabrusso@gmail.com

7) IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, cominideandrade@gmail.com

pode levar à subestimação da necessidade de irrigação em períodos extremos. Além disso, espera-se neste estudo uma análise de NDVI, LST e ET tanto em áreas de agricultura de sequeiro quanto em áreas irrigadas, com o objetivo de comparar o desempenho dos modelos utilizados.

Palavras-Chave – Secas 1, Agricultura Irrigada 2, Rio Grande do Sul 3

INTRODUÇÃO

A agricultura representa uma grande parcela da economia no Brasil. Nesse contexto, a irrigação é uma prática comum para algumas culturas, que busca assegurar a produtividade e garantir a segurança alimentar. O Rio Grande do Sul se consolidou como um polo de irrigação no Brasil, particularmente nas culturas de arroz, soja e milho. Esse cenário, no entanto, tem levado ao aumento do uso da água ao mesmo tempo em que a disponibilidade hídrica diminui em razão das secas (Chagas et al., 2022).

Secas são desafiadoras para a gestão de água e responsáveis pela maioria das perdas na produção agrícola (FAO, 2022). Sua ocorrência tem provocado impactos significativos na sociedade e na economia dos municípios gaúchos, especialmente nos anos de 2005, 2020 e 2023 entre os meses de janeiro a março de acordo com o ATLAS socioeconômico do RS, onde o estado foi responsável por aproximadamente 12% da ocorrência de desastres causados por estiagens prolongadas (SPGG, 2024). O município de Cruz Alta é um dos maiores exemplos do avanço de irrigação no estado, irrigando aproximadamente 15.000 hectares e sendo reconhecido como o maior em área irrigada por pivô central em toda região Sul do Brasil que vem sofrendo com secas recentes.

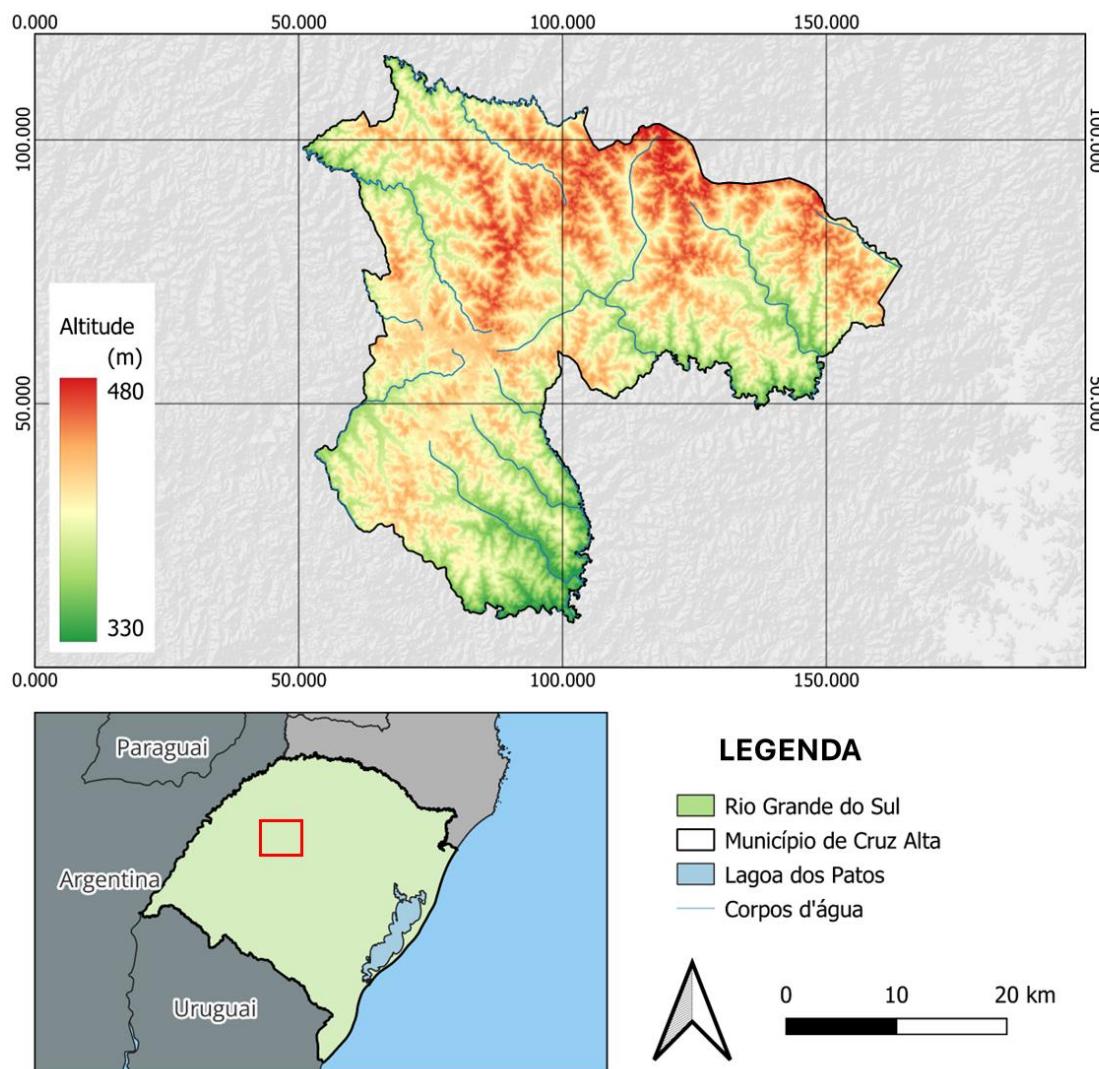
Diante desse cenário, é importante avaliar os impactos das secas sobre a eficiência da irrigação. Nesse contexto, produtos de sensoriamento remoto, como os modelos geeSEBAL (Bastiaanssen et al., 1998; Laipelt et al., 2021), PT-JPL(Fisher et al., 2008) e SSEBOP (Senay et al., 2011, 2013), tem se mostrado uma ferramenta eficiente para estimar a evapotranspiração e monitorar o uso da água em grande escala, permitindo análises sobre o comportamento das áreas irrigadas em diferentes condições climáticas, e até mesmo prever novas situações de secas. Os satélites fornecem dados hidrológicos, climáticos e de índices de vegetação em grande escala espacial e temporal, e a disponibilidade desses dados em plataformas online facilita a análise e a identificação de áreas mais suscetíveis a eventos extremos.

Esse estudo busca avaliar o impacto da irrigação no município de Cruz Alta e como as secas são um empecilho para essa demanda que vem crescendo, utilizando de análises de Evapotranspiração obtidas através dos modelos e de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Temperatura da Superfície Terrestre (LST), por meio da comparação entre um período normal e um período seco.

ÁREA DE ESTUDO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Cruz Alta possui uma área de 1360 km² e aproximadamente 60500 habitantes (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima classificado como subtropical úmido (Cfa), sendo caracterizado por verões quentes e úmidos e invernos amenos a frios. A precipitação é relativamente bem distribuída ao longo do ano com uma média anual de chuvas que varia entre 1400 mm e 1600 mm.

Figura 1. Mapa da localização da área de estudo.



METODOLOGIA

MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO E DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Para identificação da resposta ambiental em relação a seca, foram utilizados dados de sensoriamento remoto de alta resolução espacial (Figura 2). As variáveis analisadas foram: a temperatura da superfície (Ts), o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e a evapotranspiração (ET). Tanto a temperatura da superfície (Ts), quanto o índice de vegetação (Equação 1), foram obtidos a partir da coleção 2 disponível do imageamento obtidos pela constelação de satélites Landsat, que inclui diferentes sensores como o Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Operational Land Imager (OLI), além do Thermal Infrared Sensor (TIRS) para temperatura de superfície. As bandas possuem uma resolução de 30

metros e um intervalo temporal de 16 dias e estão disponíveis na plataforma Google Earth Engine (GEE).

$$NDVI = \frac{(\rho_{nir} - \rho_{red})}{(\rho_{nir} + \rho_{red})} \quad (1)$$

em que ρ_{nir} e ρ_{red} é a reflectância da superfície no comprimento do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

MODELOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Neste estudo, três diferentes modelos de evapotranspiração baseados em dados de satélites foram utilizados: PT-JPL, geeSEBAL e SSEBop. Os modelos utilizam dados de satélite de alta resolução espacial (30 metros) das missões Landsat, juntamente com dados meteorológicos de reanálise proveniente do modelo ERA5-Land, de resolução espacial de 10 km. O modelo PT-JPL (Fisher et al., 2008), é baseado na equação de evapotranspiração potencial de Priestley-Taylor, e utiliza uma série de parametrizações para representação dos processos ecossistêmicos. Já o modelo SSEBop e geeSEBAL são baseados na solução da equação do balanço de energia ($LE = Rn - G - H$) dos fluxos instantâneos para a cena Landsat durante a passagem do satélite.

Enquanto o modelo geeSEBAL (Laipelt et al., 2021) estima todas as variáveis do balanço de energia para a estimativa da evapotranspiração, a partir do *upscaling* do fluxo do calor latente (LE), o modelo SSEBop não realiza a solução completa do balanço, adotando princípios da psicometria (Senay, 2018) e parametrização específica para a determinação da ET diária. Todos os modelos foram extensamente aplicados globalmente, e suas concepções e equações estão disponíveis em estudos anteriores e repositórios de acesso livre. As informações gerais dos modelos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos três modelos de evapotranspiração utilizados neste estudo.

Modelo	Abreviação	Variáveis principais	Referência
Priestly-Taylor Jet Propulsion Lab	PT-JPL	<ul style="list-style-type: none"> • NDVI • umidade relativa • temperatura do ar • saldo de radiação 	Fisher et al. (2008)
Google Earth Engine Surface Energy Balance Algorithm for Land	geeSEBAL	<ul style="list-style-type: none"> • NDVI • temperatura da superfície • temperatura do ar • saldo de radiação • velocidade do vento • umidade relativa 	Laipelt et al. (2021)
Operational Simplify Surface Energy Balance model	SSEBop	<ul style="list-style-type: none"> • NDVI • temperatura da superfície • T_c^* • temperatura do ar 	Senay (2018)

VALIDAÇÃO

Para avaliação da acurácia dos modelos (geeSEBAL, PT-JPL e SSEBop), foi realizado a validação das estimativas de evapotranspiração para os anos de 2009 a 2014, coincidente ao período dos dados observados da torre de fluxo de Cruz Alta. Os dados foram baixados a partir da plataforma VSCODE e extraídos para uma tabela em formato CSV para validação.

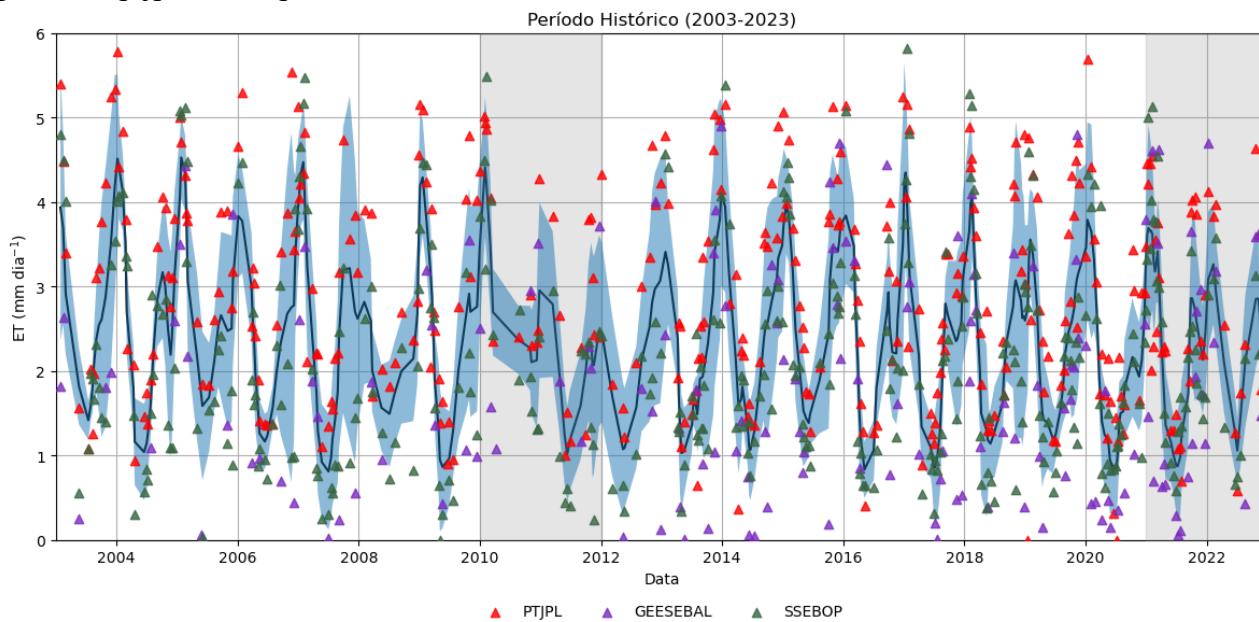
RESULTADOS PRELIMINARES

As estimativas de evapotranspiração obtidas através dos modelos geeSEBAL, PT-JPL e SSEBop indicam os impactos das secas sobre a agricultura na região de Cruz Alta. A partir da comparação entre os períodos considerados normais e períodos secos, é possível observar reduções nos valores médios de evapotranspiração durante eventos de seca, refletindo o estresse hídrico das culturas.

No gráfico do período histórico (2003 a 2023), apresentado na Figura 2, a área azul ao fundo representa o desvio padrão das estimativas de evapotranspiração dos modelos. O desvio padrão é uma medida de dispersão que indica a variação dos valores de evapotranspiração em relação à média. Quanto maior a área azul, maior a incerteza e a variabilidade das estimativas de ET. Isso é especialmente visível nos períodos de secas, onde os valores de ET tendem a variar mais. A linha central no gráfico indica a média das estimativas de evapotranspiração dos modelos ao longo do tempo. As áreas cinzas no fundo do gráfico representam os períodos de seca, que podem ser observados entre os anos de 2010 à 2012 e 2021 à 2023. Durante esses períodos, a necessidade de irrigação aumenta, o que se reflete no aumento da evapotranspiração.

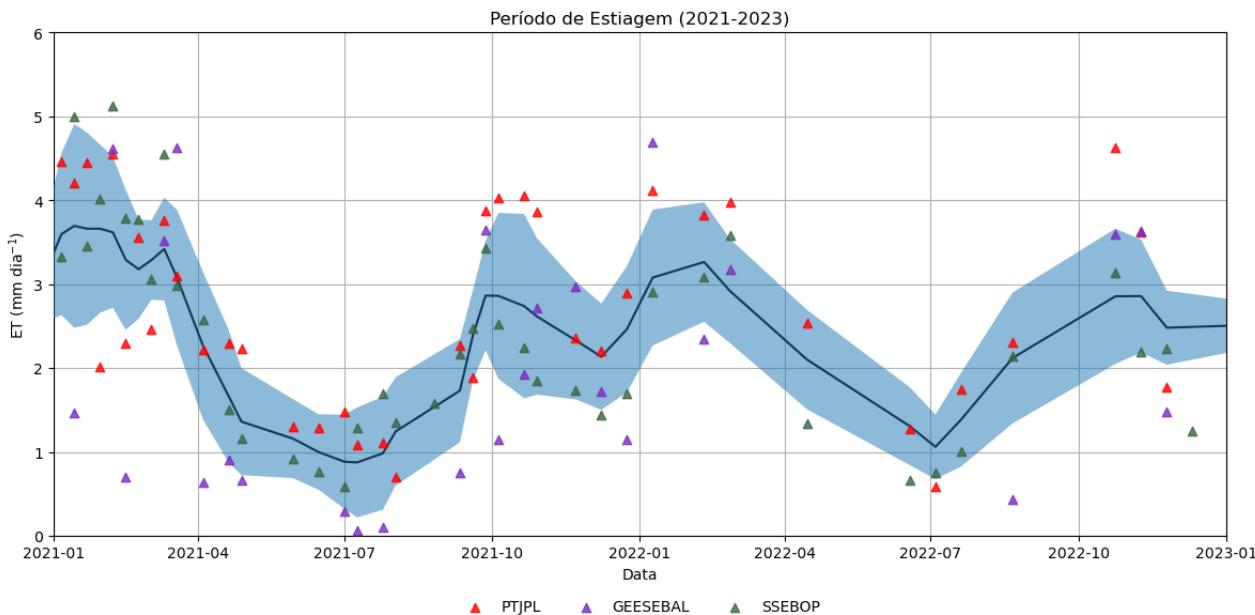
A análise da evapotranspiração (ET) estimada pelos modelos geeSEBAL, PTJPL e SSEBop para o período histórico (2003 a 2023), apresentou padrões sazonais distintos. O modelo geesebal exibiu uma variabilidade mais acentuada na ET, com picos mais elevados e flutuações ao longo dos anos, refletindo uma maior sensibilidade às variações climáticas. O modelo SSEBop apresentou um comportamento intermediário em comparação aos outros modelos. Por outro lado, o modelo PT-JPL apresentou menores flutuações ao longo dos anos, podendo subestimar a necessidade da irrigação em períodos extremos.

Figura 2. Evapotranspiração estimada para o Período Histórico (2003-2023) utilizando os modelos geesebal, ptjpl e ssebop.



Durante o período de estiagem (Figura 3), os modelos demonstraram flutuações, mas as taxas de evapotranspiração são mais baixas, o que é esperado devido ao estresse hídrico, reduzindo a disponibilidade de água para evaporação. Em resumo, todos os modelos refletem uma redução da evapotranspiração nos períodos de estiagem, mas com diferentes níveis de sensibilidade e variabilidade, com o PTJPL mostrando maiores flutuações, enquanto o GEESEBAL e o SSEBOP apresentam respostas mais consistentes.

Figura 3. Evapotranspiração estimada para o Período de Estiagem (2021-2023) utilizando os modelos geesebal, ptjpl e ssebop.

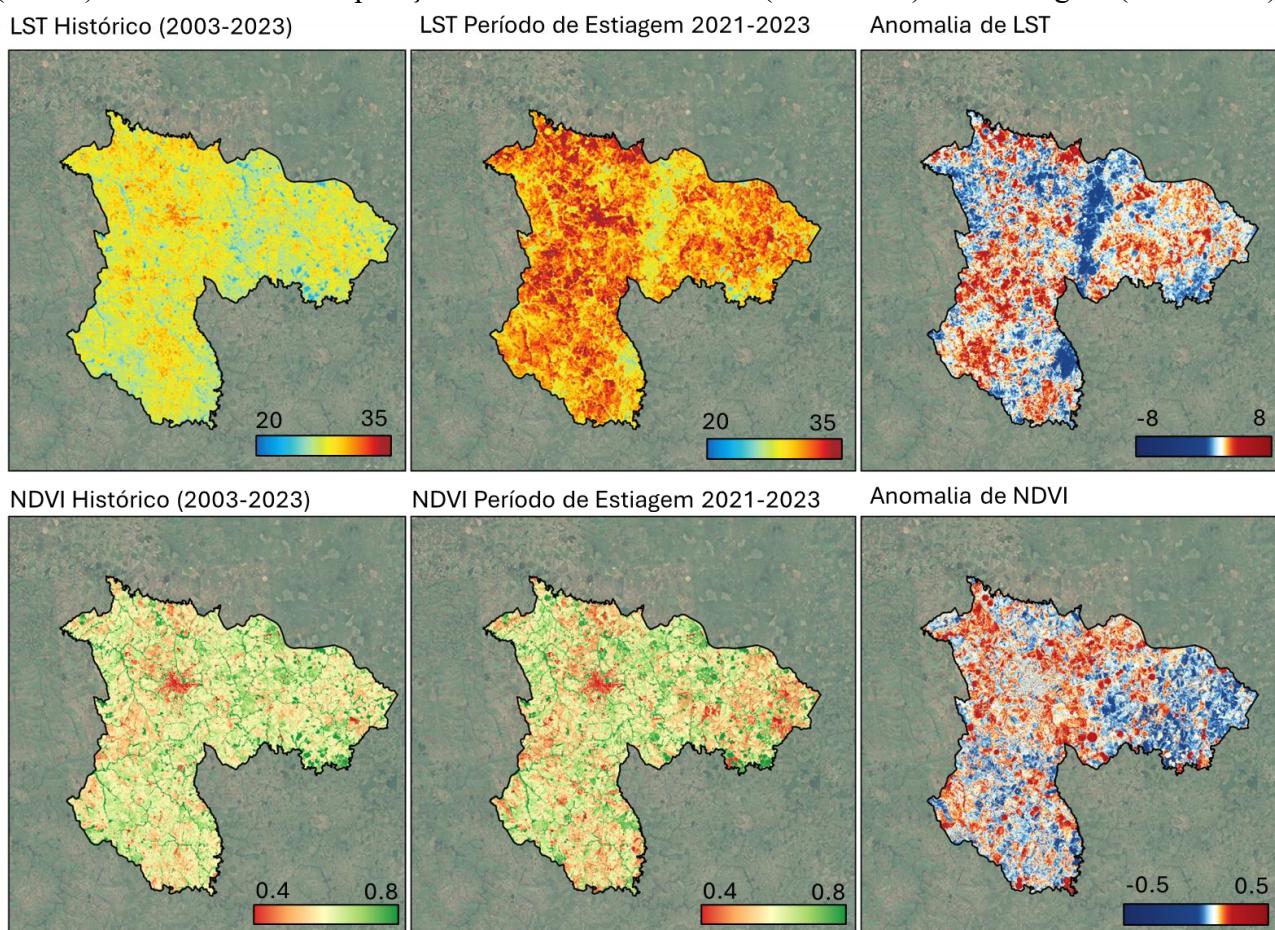


A Figura 4 apresenta três mapas de análise de LST (Temperatura da Superfície Terrestre) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para a região de Cruz Alta, divididos pelos mesmos intervalos: Período histórico (2003-2023), Período seco (2021-2023) e a anomalia de LST e

NDVI entre esses períodos. O LST para o período histórico mostra uma distribuição de temperaturas relativamente estável ao longo dos anos. A comparação entre o período histórico e o de estiagem revela um claro aumento das temperaturas durante o período seco. O aumento da temperatura da superfície é um indicativo de que a região de Cruz Alta pode estar enfrentando uma intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, com maior frequência e intensidade de eventos de estiagem prolongada.

Em relação ao NDVI, a comparação entre o período histórico e o de estiagem (2021-2023) revela uma queda considerável nos valores do parâmetro durante o período seco. A vegetação, particularmente nas áreas afetadas pela seca, apresenta uma diminuição no vigor. O impacto na vegetação e o estresse hídrico se tornam mais frequentes e intensos, afetando diretamente a biodiversidade local e a produtividade agrícola..

Figura 4. Análise Temporal e Anomalias de Temperatura de Superfície (LST) e Índice de Vegetação (NDVI) em Cruz Alta: Comparação dos Períodos Histórico (2003-2023) e de Estiagem (2021-2023)



Além disso, neste estudo espera-se uma análise de NDVI, LST e ET em agricultura de sequeiro e em áreas irrigadas para comparar o desempenho dos modelos. A análise está em andamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para o desenvolvimento do projeto Desenvolvimento de Tecnologias Inovadoras

Baseadas em Modelagem Hidrológica e Sensoriamento Remoto para Monitoramento da Agricultura Irrigada no Brasil, através de um Termo de Execução Descentralizada (TED) firmado entre o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e a Superintendência de Fiscalização da ANA (TED Nº 03/2023/ANA). Os autores também gostariam de agradecer o suporte computacional do Google Earth Engine para a execução do projeto OpenET-Brasil.

REFERÊNCIAS

- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslag, A. A. M. (1998). *A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation*.
- Chagas, V. B. P., Chaffee, P. L. B., & Blöschl, G. (2022). Climate and land management accelerate the Brazilian water cycle. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32580-x>
- FAO. (2022). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 – Systems at breaking point. In *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 – Systems at breaking point*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9910en>
- Fisher, J. B., Tu, K. P., & Baldocchi, D. D. (2008). Global estimates of the land-atmosphere water flux based on monthly AVHRR and ISLSCP-II data, validated at 16 FLUXNET sites. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 901–919. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.06.025>
- Laipelt, L., Henrique Bloedow Kayser, R., Santos Fleischmann, A., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson, T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018>
- Senay, G. B., Bohms, S., Singh, R. K., Gowda, P. H., Velpuri, N. M., Alemu, H., & Verdin, J. P. (2013). Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. *Journal of the American Water Resources Association*, 49(3), 577–591. <https://doi.org/10.1111/jawr.12057>
- Senay, G. B., Budde, M. E., & Verdin, J. P. (2011). Enhancing the Simplified Surface Energy Balance (SSEB) approach for estimating landscape ET: Validation with the METRIC model. *Agricultural Water Management*, 98(4), 606–618. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.10.014>