

USO DE FERRAMENTAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO PARA A ANÁLISE DO SUPRIMENTO HÍDRICO DO ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO

PEDRO TREVISAN HAMANN¹; ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA^{1,2}; EDUARDO LEONEL BOTTEGA^{1,2}; CARLOS EDUARDO DA SILVA² E ENDIELE LOPES DOS SANTOS²

¹ Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria; Brasil, pthamann@gmail.com; zanandrabofoff@gmail.com; eduardo.bottega@ufsm.br; <https://orcid.org/0000-0003-3422-8452>; <https://orcid.org/0000-0002-6187-9907>; <https://orcid.org/0000-0003-4035-6880>.

² Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria; Brasil, dasilyakadu03@gmail.com; endielelopes@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-4317-6731>; <https://orcid.org/0009-0009-1820-1648>.

1 RESUMO

O aumento da eficiência no uso da água, além de maximizar a produtividade das culturas agrícolas, possui grande importância no contexto atual de preservação dos recursos hídricos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de ferramentas de agricultura de precisão para a análise do suprimento hídrico do arroz irrigado por inundação, e foi realizado em talhão de lavoura comercial de 33 hectares em propriedade rural em Cachoeira do Sul - RS. A avaliação foi realizada com o mapeamento do tempo de entrada de água, bem como o mapeamento do índice de vegetação VARI, por meio do uso de RPAS e de softwares de geoprocessamento. Os resultados obtidos são de redução nos componentes de rendimento e na produtividade do arroz de 16.645,50 para 12.122,98 kg ha⁻¹, na medida que ocorre o atraso da entrada de água de irrigação no talhão no intervalo a partir de 24 h até 96 h do início da irrigação. O mapeamento do VARI indicou que há correlação linear positiva entre os valores do índice e a produtividade do arroz. O uso de geotecnologias demonstrou-se como ferramenta muito eficaz para a análise da irrigação em arroz.

Palavras-chave: geotecnologias, *Oryza sativa*, irrigação.

HAMANN, P. T.; OLIVEIRA, Z. B. de; BOTTEGA, L. E.; SILVA, C. E. da; SANTOS, E. L. dos

USE OF PRECISION AGRICULTURE TOOLS FOR ANALYSIS OF WATER SUPPLY OF FLOOD IRRIGATED RICE

2 ABSTRACT

In addition to maximizing the productivity of agricultural crops, increasing water use efficiency is highly important in the current context of preserving water resources. The present study aimed to evaluate the efficiency of precision agriculture tools for analyzing the water supply of flood-irrigated rice and was carried out in a 33 hectare commercial crop plot on a rural property in Cachoeira do Sul - RS. The assessment was carried out by mapping the water input time and the vegetation index of the VARI through the use of RPAS and geoprocessing software. The

results revealed a reduction in the yield components and rice productivity from 16,645.50 to 12,122.98 kg ha⁻¹, as the input of irrigation water into the field is delayed from 24 h to 96 h from the start of irrigation: The VARI mapping indicated that there is a positive linear correlation between the index values and rice productivity. The use of geotechnology has proven to be a very effective tool for analyzing rice irrigation.

Keywords: geotechnologies, *Oryza sativa*, irrigation.

3 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por alimentos, impulsionado pelo constante crescimento da população mundial, aliado ao contexto global de mudanças climáticas (como o aquecimento global), representa um grande desafio para a produção agrícola (IPCC, 2013; Lemi; Hailu, 2019). Ao mesmo tempo em que se intensifica a necessidade de aumentar a produção de alimentos, cresce também a exigência por abordagens tecnológicas mais sustentáveis. No estado do Rio Grande do Sul (RS), o cultivo do arroz irrigado possui grande relevância econômica. Na safra 2022/23, o estado produziu 7.238.560 toneladas, correspondendo a 72% da produção nacional, que totalizou 10.033.300 toneladas (Brasil, 2023). A produtividade média no RS também se destaca, atingindo 8.786 kg ha⁻¹ nessa safra - um aumento de 77% em relação à safra de 1990/91, que foi de 4.950 kg ha⁻¹. Esses números colocam o estado entre as regiões com maior produtividade de arroz no mundo, sendo referência também em qualidade dos grãos.

Entretanto, ainda existe uma considerável lacuna de produtividade. Enquanto a média estadual se mantém elevada, alguns talhões dos melhores produtores atingem produtividades superiores a 13.000 kg ha⁻¹ com cultivares e mais de 15.000 kg ha⁻¹ com híbridos. Chung *et al.* (2000) observaram que, em uma mesma lavoura, o rendimento máximo de arroz pode ser mais que o dobro do mínimo. Nesse cenário, a agricultura de precisão (AP) surge como uma ferramenta fundamental, ao

reunir um conjunto de tecnologias voltadas à melhoria da gestão e produtividade, considerando a variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam o rendimento das lavouras (Inácio; Cortez, 2023).

O principal sistema de irrigação adotado no RS para o arroz irrigado é o de inundação contínua (Scivittaro *et al.*, 2009), no qual o terreno é dividido em áreas menores, chamadas quadros ou taipas, niveladas em cota zero ou com pequeno desnível. A irrigação por inundação caracteriza-se pela aplicação de água em lâmina contínua, cobrindo toda a superfície do solo. Esse método é essencial para o bom desenvolvimento do arroz, por garantir disponibilidade hídrica, auxiliar no controle de pragas e doenças, além de influenciar diretamente a disponibilidade de nutrientes (Scivittaro, 2026).

O uso de tecnologias baseadas em Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), popularmente conhecidas como drones, tem revolucionado a agricultura mundial, possibilitando o mapeamento, a captura de imagens aéreas, a pulverização e o monitoramento das lavouras. Os drones têm demonstrado resultados promissores, pois permitem identificar problemas antes indetectáveis a olho nu (Lima; Silva; Freitas, 2019). Para Valencia (2020), o sensoriamento remoto é uma ferramenta fundamental para gerar melhores rendimentos nas áreas de cultivo e apoiar a tomada de decisões na gestão agrícola.

Outra ferramenta relevante são os índices de vegetação, obtidos a partir das imagens captadas pelos drones. O índice

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é amplamente utilizado, pois, segundo Pereira *et al.* (2021), permite aumentar a eficiência do processo produtivo por meio do melhor manejo da adubação ou da densidade de semeadura. Kazemi e Parmehr (2023), por sua vez, afirmam que índices baseados no espectro visível (RGB) também podem ser utilizados no manejo de lavouras de arroz, representando uma alternativa viável frente aos altos custos dos sensores multiespectrais. Gitelson *et al.* (2002) destacam que o índice de vegetação VARI (Visible Atmospherically Resistant Index) apresenta boa sensibilidade, baixa saturação em faixas mais elevadas e alta capacidade de representar a fração vegetal verde.

Nesse contexto, o monitoramento da irrigação com o uso de RPAS permite avaliar o tempo de entrada da água por superfície nos talhões, identificar áreas com atraso ou ineficiência na irrigação, monitorar o desenvolvimento das plantas e contribuir para decisões relacionadas a melhorias na infraestrutura, gestão da equipe e otimização do tempo. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo utilizar ferramentas de agricultura de precisão para analisar o suprimento hídrico do arroz irrigado por inundação, em um talhão localizado no município de Cachoeira do Sul – RS.

4 MATERIAL E MÉTODOS

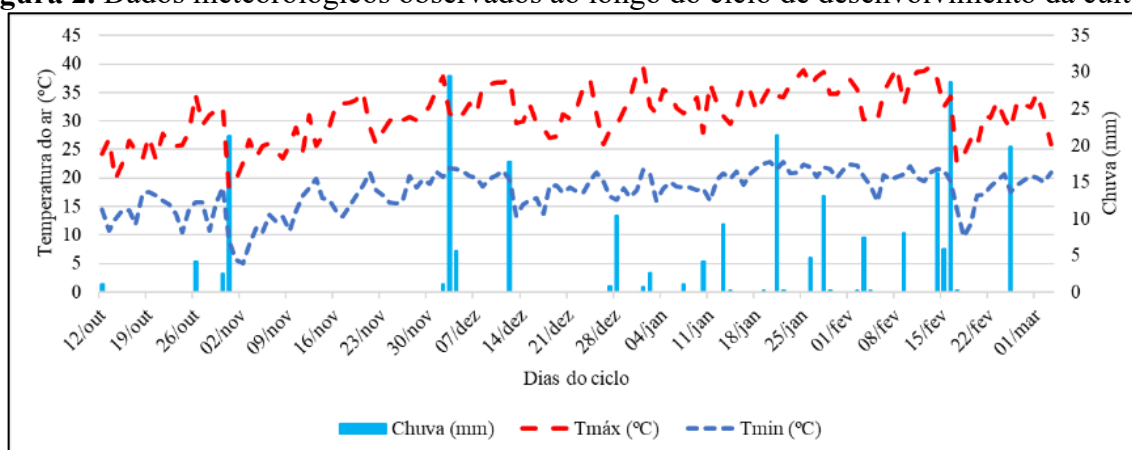
O estudo foi realizado na safra 2022/23, em um talhão de 33 hectares pertencente a uma lavoura comercial de arroz conduzida em sistema de cultivo

mínimo, com preparo antecipado do solo. A propriedade rural está localizada na localidade de Irapuazinho, no município de Cachoeira do Sul/RS (30°26'4.23"S, 53°10'18.59"O; altitude: 53 m). O solo predominante na área experimental é classificado como Planossolo Háplico Eutrófico Arênico, pertencente à unidade de mapeamento Vacacaí (Streck *et al.*, 2008). As características de solo e relevo da região favorecem a adoção da irrigação por inundação. O clima local é classificado como subtropical úmido (Cfa), segundo Köppen.

O talhão foi amostrado com base em um grid que totalizou 38 pontos (Figura 1), nos quais foram avaliados o tempo de entrada da água de irrigação por superfície e o índice de vegetação VARI (Visible Atmospherically Resistant Index). A cultivar utilizada foi a IRGA 431 CL, de ciclo precoce. A semeadura ocorreu em 12/10/2022, dentro do período ideal recomendado para a cultura, com densidade de semeadura de 95 kg ha⁻¹. A emergência das plantas, ou seja, a fase em que a plântula rompe a superfície do solo, foi observada em 29/10/2022. O início da irrigação ocorreu em 16/11/2022, entre os estádios fenológicos V1 e V2 (formação do colar das primeira e segunda folhas do colmo principal), após um período de baixa ocorrência de chuvas (Figura 2). A adubação de base foi realizada com 120 kg ha⁻¹ da fórmula comercial 11-52-00, correspondendo, respectivamente, aos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). A adubação nitrogenada de cobertura foi feita à lanço, totalizando 200 kg ha⁻¹ de N, fracionada em dois períodos: 50% no estágio V1 e 50% no estágio R0.

Figura 1. Talhão de estudos com grid amostral.

Fonte: Autores (2025).

Figura 2. Dados meteorológicos observados ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

Elaborado com dados da UFSM Cachoeira do Sul – Grupo Metos Brasil

Fonte: Autores (2025).

Para a avaliação da entrada da água no talhão, foram realizados voos conforme descritos na Tabela 1, a uma altura de 120 metros. As imagens foram obtidas com sobreposição lateral de 65% e frontal de 75%, resultando em aproximadamente 120 a 150 imagens por voo para a geração dos ortomosaicos. A aeronave utilizada foi um drone DJI Mini 2, equipado com sensor RGB (Red, Green, Blue) de 12 megapixels.

A partir das imagens capturadas, foram gerados ortomosaicos utilizando o software Agisoft Metashape Professional

versão 1.5.1. Para a elaboração do mapa de evolução da irrigação, curvas foram traçadas sobre cada ortomosaico, sendo posteriormente interpoladas para obtenção de imagens com valores contínuos. A partir dessas imagens, foram extraídos, nos pontos do grid amostral previamente definido, os valores referentes ao tempo de entrada da água, expressos em horas a partir do início da irrigação. As análises em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) foram realizadas com o uso dos softwares ArcGIS Desktop 10.8 e QGIS 3.30.

Tabela 1. Datas e horários dos voos.

Nº do voo	Estádio de desenvolvimento/finalidade	Data	Hora
1	V1-V2 - Entrada da Água	17/nov	18:00
2	V1-V2 - Entrada da Água	19/nov	09:00
3	V1-V2 - Entrada da Água	20/nov	17:00
4	V3-V4- Fechamento irrigação	05/dez	10:00
5	R2 – Emborrachamento – VARI	11/jan	11:00

Fonte: Autores (2025).

A partir dos dados obtidos quinto voo (Tabela 1), calculou-se o Índice de Vegetação utilizado foi o Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), descrito por Gitelson *et al.* (2002), calculado conforme a Equação (1) a seguir:

$$VARI = \frac{(G-R)}{(G+R-B)} \quad (1)$$

Em que: VARI = Visible Atmospherically Resistant Index (Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível); R = Banda do Vermelho; G = Banda do Verde; B = Banda do Azul

A colheita foi realizada no dia 03/03/2023, quando as plantas se encontravam no estágio R9 (maturidade fisiológica completa dos grãos), com umidade entre 20% e 24% nos grãos, conforme Sosbai (2018). A coleta foi efetuada em 11 pontos do talhão (Figura 1), definidos com base no tempo de entrada da água de irrigação: 0–24h, 24–48h, 48–72h e 72–96h, utilizando parcelas amostrais de 0,5 m × 0,5 m, com três repetições por ponto. Foram avaliados os seguintes componentes de rendimento: número de panículas por metro quadrado (panículas m⁻²), número de grãos por panícula, e produtividade (kg ha⁻¹). Para o cálculo da produtividade, o peso obtido nas parcelas foi corrigido para 13% de umidade e, em seguida, extrapolado para uma área de 10.000 m² (1 hectare). Os valores médios observados para o número de panículas por metro quadrado, número de espiguetas por panícula e produtividade do arroz, para os diferentes tempos de entrada

da água, foram comparados pelo teste t de comparação de médias, utilizando o software Statistica®, versão 7.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

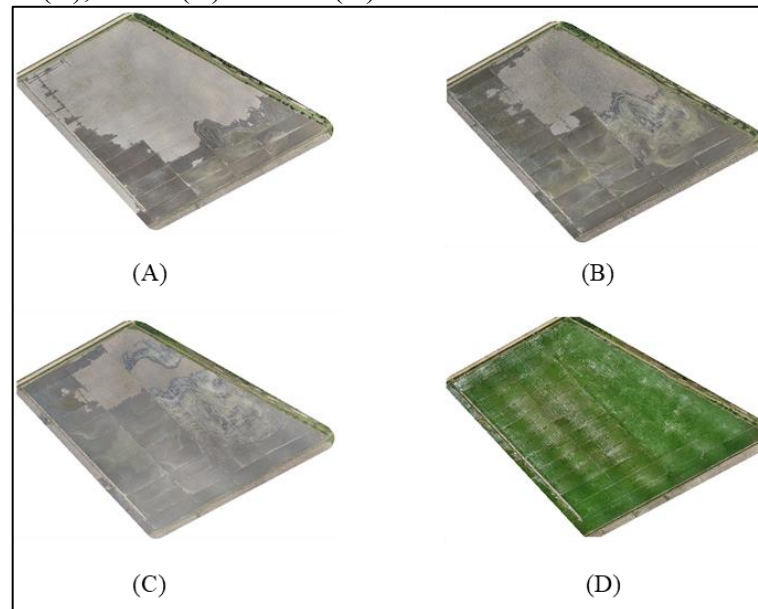
Os ortomosaicos obtidos após cada voo (Figura 3) e o resultado do mapeamento e da interpolação do tempo de entrada da água no talhão (Figura 4A) ilustram a evolução da lâmina de irrigação. O avanço da lâmina de água no talhão ocorreu em um tempo total de 101 horas (Figura 4A). Nas primeiras 48 horas, a água alcançou aproximadamente 50% da área, indicando um suprimento hídrico adequado nessa região. Contudo, a dinâmica da entrada de água no restante do talhão não seguiu o mesmo ritmo. A velocidade diária de irrigação variou consideravelmente: no primeiro dia foi de 0,26 ha h⁻¹, no segundo dia 0,37 ha h⁻¹, no terceiro dia 0,19 ha h⁻¹ e no quarto dia 0,50 ha h⁻¹ (Figura 4B). Esses dados revelam heterogeneidade no avanço da irrigação, o que pode influenciar negativamente a produtividade em áreas com atraso no suprimento hídrico.

Segundo Ramírez *et al.* (2007), a produtividade do arroz pode ser reduzida, em média, em cerca de 1.000 kg ha⁻¹ para cada 10 dias de atraso na irrigação. De forma semelhante, Bergamann *et al.* (2019) observaram perdas de produtividade de 86,8 kg ha⁻¹ por dia de atraso a partir do estágio V3. Esses resultados demonstram a importância da entrada de água no momento ideal e com altura de lâmina adequada, pois essa prática interage positivamente com

outros fatores agronômicos, como a disponibilidade de nutrientes (especialmente nitrogênio), o controle da incidência de

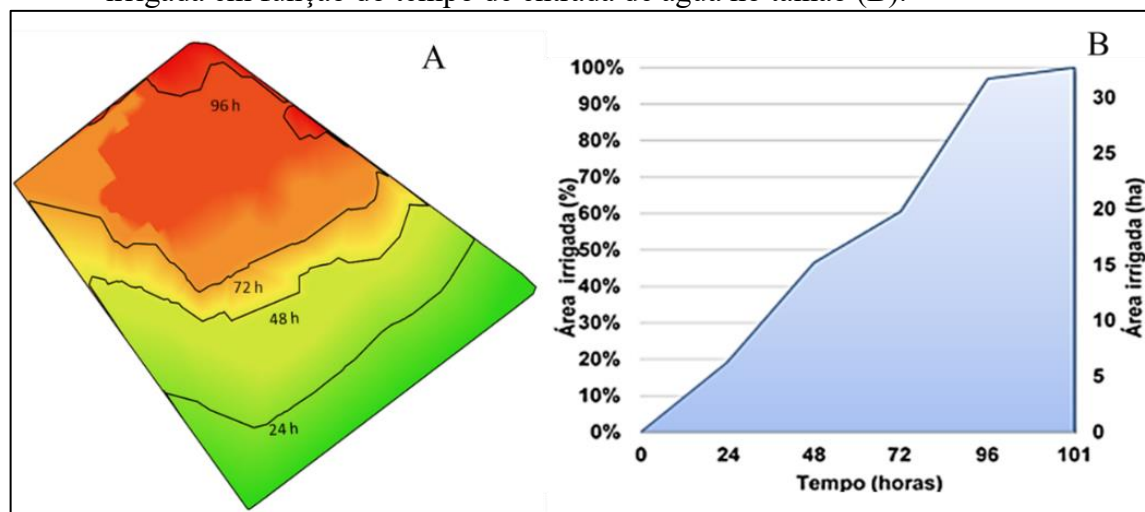
pragas e doenças, e o controle de plantas daninhas (Grohs *et al.*, 2019).

Figura 3. Ortomosaicos do monitoramento da entrada de água de irrigação obtidos do voo 1 (A), voo 2 (B), voo 3 (C) e voo 5 (D).



Fonte: Autores (2025).

Figura 4. Mapa de variabilidade espacial do tempo de entrada de água no talhão (A) e área irrigada em função do tempo de entrada de água no talhão (B).



Fonte: Autores (2025).

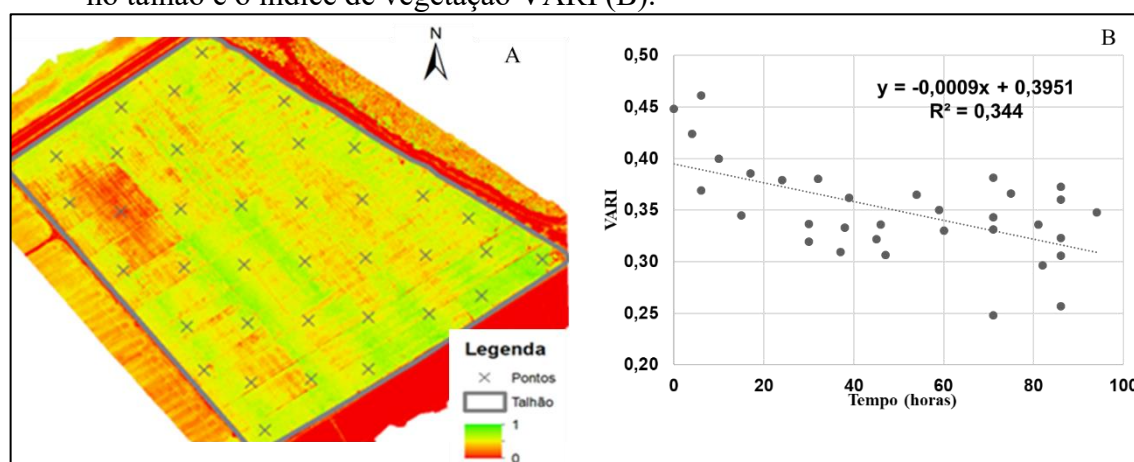
O mapa de geoespacialização do índice VARI (Figura 5A) mostra que as regiões do talhão com valores mais elevados do índice coincidem com os locais onde a lâmina de irrigação chegou mais rapidamente (Figura 4A). O VARI, obtido

no estágio fenológico R2, variou de 0,25 a 0,47, sendo o valor máximo registrado em um ponto onde a água de irrigação chegou em 6 horas, e o valor mínimo em um ponto onde a água levou 71 horas para alcançar. A Figura 5B apresenta uma correlação linear

negativa entre o VARI e o tempo de entrada da água de irrigação no talhão, indicando um menor índice de vegetação (menor nível de verde) nas plantas localizadas nas áreas com maior atraso na chegada da água. Esse comportamento pode estar relacionado ao menor aproveitamento de nitrogênio (N) pela cultura, devido ao atraso no suprimento hídrico. O valor de R^2 foi considerado baixo, o que se atribui à elevada dispersão dos pontos amostrados, reflexo da influência de outros fatores de manejo, além da irrigação, que também afetam o desenvolvimento vegetal, como distribuição de adubos, compactação do solo, ou falhas na semeadura.

Além disso, foi possível associar os valores de VARI com a produtividade final da cultura (Figura 6A), demonstrando que esse índice pode ser uma ferramenta eficaz para representar as condições de crescimento e desenvolvimento das plantas, além de identificar áreas afetadas por estresses que impactam negativamente a produtividade. O índice de vegetação VARI apresenta boa sensibilidade e baixa saturação mesmo em faixas mais elevadas, com alta capacidade de representar a fração de cobertura vegetal, conforme destacado por Gitelson *et al.* (2002).

Figura 5. Mapa do índice de vegetação VARI (A) e relação entre o tempo de entrada de água no talhão e o índice de vegetação VARI (B).



Fonte: Autores (2025).

Os dados de produtividade estimados pela equação de regressão (Figura 6B) indicam uma redução de 50 kg ha^{-1} para cada hora de atraso na irrigação. A produtividade máxima estimada pela equação, de $16.645,50 \text{ kg ha}^{-1}$, foi registrada no local onde a irrigação foi iniciada mais precocemente. Por outro lado, no ponto onde a água demorou mais para chegar (101 h), a produtividade estimada foi reduzida para $11.584,00 \text{ kg ha}^{-1}$, representando uma diferença expressiva. Essa redução significativa na produtividade pode estar relacionada ao déficit hídrico ocorrido no início do desenvolvimento da cultura,

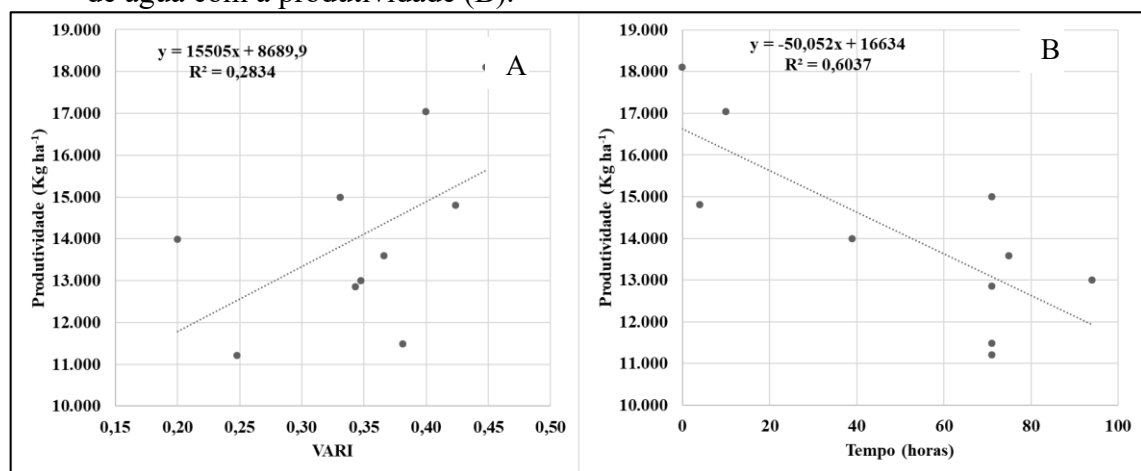
causado pela baixa frequência de chuvas no período que antecedeu o início da irrigação (Figura 2). A Tabela 2 evidencia que o componente de produtividade mais impactado pelo atraso da irrigação foi o número de panículas por metro quadrado, o que pode ter sido influenciado por menor estabelecimento de plantas nas áreas irrigadas tardiamente, devido ao estresse hídrico inicial.

Além disso, o atraso na entrada da água afetou o aproveitamento do nitrogênio (N), aplicado em cobertura na forma de ureia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), antes do início da irrigação. A volatilização de amônia (NH_3) é a principal

via de perda do N aplicado sobre a superfície do solo, especialmente na ausência de umidade para sua incorporação (Tasca *et al.*, 2011). Vale ressaltar que, após o potássio (K), o nitrogênio é o nutriente mais exportado pela planta de arroz. Esse elemento é essencial por ser componente da clorofila, promovendo o aumento da área foliar, o que eleva a eficiência na interceptação da radiação solar, a taxa fotossintética e, por consequência, a

produtividade de grãos (Fageria; Moreira; Coelho, 2011). Dessa forma, os resultados apresentados (Figura 6 e Tabela 2) reforçam a importância de realizar ajustes na infraestrutura de irrigação, a fim de garantir maior agilidade no fechamento da lâmina de água nos talhões que utilizam o sistema de irrigação por inundação. A melhoria na eficiência do suprimento hídrico é fundamental para maximizar o potencial produtivo da cultura do arroz.

Figura 6. Relações do índice de vegetação (VARI) com produtividade (A) e tempo de entrada de água com a produtividade (B).



Fonte: Autores (2025).

Tabela 2. Resultado da estatística descritiva para as variáveis (panícula m^{-2} , grão panícula $^{-1}$ e produtividade).

Tempos de entrada	Variável	Média grupo 1	Média grupo 2	t-valor	g.l.	p-valor
Até 24h x até 48h	Panículas (m^2)	673,33	654,67	0,3057	10	0,77
	Grãos/panícula (und)	126,19	117,60	1,2255	10	0,25
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	16.645,50	13.982,19	2,4657	10	0,03**
Até 24h x até 72h	Panículas (m^2)	673,33	550,92	2,6880	19	0,01**
	Grãos/panícula (und)	126,19	118,24	1,4155	19	0,17
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	16.645,50	12.628,51	4,0792	19	0,00**
Até 24h x até 96h	Panículas (m^2)	673,33	543,67	2,9116	13	0,01**
	Grãos/panícula (und)	126,19	117,80	1,6707	13	0,12
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	16.645,50	12.122,99	5,9297	13	0,00**
Até 48h x até 72h	Panículas (m^2)	654,67	550,92	1,5763	13	0,14
	Grãos/panícula (und)	117,60	118,24	- 0,0803	13	0,94
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	13.982,19	12.628,51	0,8935	13	0,39
Até 48h x até 96h	Panículas (m^2)	654,67	543,67	2,6106	7	0,03**
	Grãos/panícula (und)	117,60	117,80	- 0,0786	7	0,94
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	13.982,19	12.122,99	3,4410	7	0,01**
Até 72h x até 96h	Panículas (m^2)	550,92	543,67	0,153	16	0,88
	Grãos/panícula (und)	118,24	117,80	0,078	16	0,94
	Produtividade ($kg\ ha^{-1}$)	12.628,51	12.122,99	0,475	16	0,64

Em que: t-value mede a diferença entre as médias de duas amostras, em relação ao erro padrão; p-value valor de probabilidade; g.l graus de liberdade

Fonte: Autores (2025).

O número de grãos por panícula (Tabela 2) demonstrou estar mais relacionado a fatores genéticos do material utilizado, não apresentando variação significativa em função do tempo de entrada da água de irrigação. Por outro lado, o número de panículas por metro quadrado apresentou redução de 22% quando a lâmina de água chegou entre 24 e 72 horas e de 20% entre 48 e 96 horas após o início da irrigação.

A quantidade de panículas m^{-2} é um indicador fundamental da capacidade produtiva da lavoura de arroz. Segundo Bergmann *et al.* (2019), a faixa ideal para obtenção de altas produtividades em arroz irrigado situa-se entre 459 e 655 panículas m^{-2} — valores que foram atingidos neste estudo e que refletem em produtividades superiores a 12.000 $kg\ ha^{-1}$, superando a

média estadual de 8.786 $kg\ ha^{-1}$ registrada na safra 2022/23 (Brasil, 2023).

Dessa forma, evidencia-se que há potencial real de incremento da produtividade do arroz no Rio Grande do Sul, e que o uso de ferramentas de agricultura de precisão, como o monitoramento e controle da entrada da água de irrigação, pode contribuir de forma significativa para esse avanço. Os dados observados (Tabela 2) indicam que a redução na produtividade é mais acentuada no intervalo entre 24 e 48 horas após o início da irrigação. A produtividade máxima, de 16.645,50 $kg\ ha^{-1}$, obtida nas áreas onde a irrigação ocorreu em até 24 horas, foi reduzida para 13.982,19 $kg\ ha^{-1}$ nas áreas irrigadas entre 24 e 48 horas. Isso representa uma perda de 111 $kg\ ha^{-1}$ por hora de atraso nesse intervalo. Para o período de 48 a 72

horas, a redução foi de 47 kg ha⁻¹ por hora, e de 29 kg ha⁻¹ por hora entre 72 e 96 horas.

Esses resultados reforçam a importância de, nas condições similares a deste estudo, realizar a irrigação dentro das primeiras 24 horas após o início da operação, o que corresponde a uma taxa de irrigação de aproximadamente 1,37 ha h⁻¹, para maximizar a produtividade da cultura. A implementação dessa estratégia, além de otimizar o rendimento, contribui para reduzir significativamente a pegada hídrica da produção de arroz, promovendo maior sustentabilidade e eficiência no uso dos recursos hídricos.

6 CONCLUSÃO

O uso de ferramentas de agricultura de precisão, como imagens obtidas por RPAS (drones) e softwares de geoprocessamento, demonstrou ser eficaz para o mapeamento da entrada da água de irrigação e geração de mapas do índice de vegetação (VARI). Essas ferramentas fornecem uma base sólida para a análise do suprimento hídrico no cultivo de arroz irrigado por inundação.

Observou-se que o VARI apresentou valores mais elevados nas regiões do talhão onde a lâmina de irrigação chegou primeiro, e valores mais baixos nos locais com maior tempo de espera para o início da irrigação. Essa diferença possibilitou estabelecer uma relação direta entre o VARI e a produtividade do arroz, sendo que produtividades superiores a 15.000 kg ha⁻¹ foram registradas em áreas com VARI acima de 0,40 no estádio R2.

A produtividade média de 16.645,50 kg ha⁻¹, obtida nas áreas irrigadas nas primeiras 24 horas após o início do processo, foi reduzida para 13.982,19 kg ha⁻¹ quando a irrigação ocorreu entre 24 e 48 horas, e para 12.122,98 kg ha⁻¹ quando o tempo de entrada da água ultrapassou 72 horas.

Dessa forma, para as condições avaliadas neste estudo, conclui-se que é fundamental garantir que a irrigação por inundação seja concluída no intervalo das primeiras 24 horas, a fim de maximizar a produtividade da cultura do arroz irrigado e reduzir os impactos de déficit hídrico no início do ciclo da cultura.

7 REFÊRENCIAS

- BERGAMANN, C.; WOLTER, R. C.; NEVES, G.; CÔRREA, M. C.; PERES, M. M.; CARLOS, F. S. Influência da época de irrigação na produtividade de cultivares de arroz irrigado. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFPEL, 28., Pelotas, 2019. **Anais [...]**. Pelotas: UFPEL, 2019. p. 1-4.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. **Levantamento de Safra** – Conab. Brasília, DF: Ministério da Fazenda, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/fazenda/pt-br/central-de-conteudo/publicacoes/conjuntura-economica/agricola/2023/2023-07-13_levantamento-de-safras_conab.pdf. Acesso: 28 out. 2023.
- CHUNG, S. O.; SUNG, J. H.; DRUMMOND, S.; HYUN, B. K. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings [...]**. Bloomington: Sociedade Americana de Agronomia, 2000. p. 1-14.
- FAGERIA, N. K.; MOREIRA, A.; COELHO, A. M. Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 34, n. 3, p. 361-370, 2011.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y.; STARK, R.; RUNDQUIST, D. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environmen**, Lincoln, v. 80, n. 1, p. 76-87, 2002.

GROHS, M.; SIQUEIRA, F. F.; SILVEIRA, R. M.; CÔRREA, M. C.; BREDOW, A. A.; DORNELES, A. B.; NEU, G. R.; MASSONI, P. F. S. Implicações morfo-fisiológicas na planta de arroz e produtividade de grãos em função da antecipação da irrigação. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11., Balneário Camboriú, 2019. **Anais [...]**. Balneário Camboriú: SOSBAI, 2019, p. 1-4.

INÁCIO, K. A. M.; CORTEZ, J. W. Variabilidade espacial da produtividade da soja e sua correlação com atributos químicos e textura do solo. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. e03226, 2023.

IPCC. **Alterações Climáticas 2013**. A base científica. Perguntas Frequentes. Geneva: Editorial do Ministério da Educação e Ciência, 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/03/ar5_wg1_spm.pdf. Acesso em: 17 out. 2023.

KAZEMI, F.; PAMEHR, G. Evaluation of RGB vegetation indices derived from UAV images for rice crop growth monitoring. **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Tehran, v. X-4, n. 12, p. 385-390, 2023.

LIMA, A. F.; SILVA, E. G. S. A.; FREITAS, I. B. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, Araraquara, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019.

LEMI, T.; HAILU, F. Effects of climate change variability on agricultural productivity. **International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources**, v. 17, n. 1, p. 14-20, 2019. DOI: 10.19080/IJESNR.2019.17.555953. Disponível em: <https://juniperpublishers.com/ijesnr/IJESNR.MS.ID.555953.php>. Acesso em: 11 out. 2024.

RAMÍREZ, H. V.; HERZOG, R. L. S.; CHAVES, A. C.; MENEZES, V. G. Aumento de produtividade através do manejo da água de irrigação na cultura do arroz irrigado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 5.; REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 27., 2007, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: SOSBAI, 2007. p. 1-2. Disponível em: https://www.sosbai.com.br/uploads/trabalho/s/aumento-de-produtividade-atraves-do-manejo-da-agua-de-irrigacao-na-cultura-do-arroz-irrigado_392.pdf. Acesso em: 22 set. 2023.

SCIVITTARO, W. B.; COSTA J. E. T. da; GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. de; FAGUNDES, P. R. R.; STEINMETZ, S.; SEVERO, A. C. M.; TEIXEIRA J. B. Eficiência de uso da água de cultivares de arroz irrigado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, Porto Alegre, 2009. **Anais [...]**. Porto Alegre: IRGA, 2009. p. 223-226.

SCIVITTARO, W. B. **Irrigação e drenagem**. Brasília, DF: Embrapa, 2026. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/irrigacao-e-drenagem>. Acesso em: 11 out. 2024.

SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Porto Alegre: SOSBAI, 2018.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSEN, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR; UFRGS, 2008. 222 p.

PEREIRA, L. M.; SANTOS, S. C. C. C.; NASCIMENTO, J. M.; SECRETTI, M. L. Correlação da produtividade da soja com os atributos químicos do solo e o NDVI. **Revista Brasileira De Agropecuária**

Sustentável, Viçosa, MG, v. 11, n. 1, p. 430-438, 2021.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, Viçosa, MG, n. 35, v. 2, p. 493-502, 2011.

VALENCIA, L.V. A. **Comportamento espectral das culturas de milho, arroz e soja, usando imagens dos Satélites Sentinel-2, CBERS-4 e LANDSAT-8**. Dissertação (Mestrado em Ciências e Aplicações Geoespaciais) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2020.