IX SINMCA
IX Simpósio do Noroeste Mineiro de Ciências Agrárias e
VIII Semana Acadêmica
25 a 27 de novembro de 2025

Monitoramento espectral do trigo sob diferentes condições de irrigação subterrânea utilizando ARP multiespectral

Luana R. Ferreira [1,*], Lucas S. Santana [3], Lucas G. M. dos Santos [2], Carmem L. S. Surmani [1], Marcos D. S. Lopes [1], Tiago S. Costa [1], Josiane M. da Silva [2], Ruan C. G. S. Rodrigues [1] e Bruno S. Borgens [1]

[1] Discente de Engenharia Agrícola e Ambiental - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí MG
[2] Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí-MG
[3] Professor adjunto - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Unaí-MG

*e-mail: luana-rodrigues.lr@ufvjm.edu.br

RESUMO EXPANDIDO

INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) Segundo Silveira (2024) é um dos cereais mais cultivados no mundo, desempenhando papel importante na segurança alimentar global por ser base de inúmeras cadeias alimentares e industriais. No brasil as áreas de cultivo do trigo estão distribuídas nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, onde o Sul do país é responsável pelo maior volume de produção.

De acordo com Gomes (2021) entre os fatores que mais limitam a produtividade do trigo está exatamente a disponibilidade hídrica. O estresse hídrico pode reduzir significativamente o crescimento vegetal, a eficiência na utilização da radiação, a taxa fotossintética e, consequentemente, a produtividade da cultura. Para Pérez et al. (2025), Técnicas de irrigação mais eficientes ganham destaque nessa discussão, e a irrigação subterrânea (ou subsuperficial) aparece como alternativa promissora, pois permite melhor controle da umidade do solo, redução de perdas por evaporação, e otimização do uso de água.

Conforme Silva (2023), paralelamente, o avanço do sensoriamento remoto tem possibilitado o monitoramento agrícola com elevada precisão e rapidez. Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), câmeras multiespectrais, satélites — todos esses permitem derivar índices espectrais que avaliam características fisiológicas das plantas de forma não destrutiva. De acordo com Marques (2018) Índices como NDVI e NDWI têm sido usados em estudos de trigo para detectar variações no desenvolvimento vegetativo ou status hídrico.

Diante disso, o monitoramento espectral do trigo submetido a diferentes condições de irrigação pode oferecer subsídios para identificar, precocemente, alterações fisiológicas associadas à disponibilidade hídrica. Essa abordagem contribui para a tomada de decisão no manejo da irrigação, favorecendo tanto a sustentabilidade do sistema agrícola quanto a otimização do uso dos recursos naturais.

OBJETIVO

Avaliar, por meio de índices espectrais derivados de imagens multiespectrais obtidas por ARP, a resposta fisiológica e produtiva do trigo (*Triticum aestivum L.*) submetido a diferentes níveis de estresse hídrico e irrigação subterrânea, identificando quais índices melhor discriminam os tratamentos para uso em manejo agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área experimental de 155 m² cultivada com trigo (*Triticum aestivum* L.), sob duas condições de manejo hídrico: irrigação subterrânea ativa e ausência de irrigação (estresse hídrico). Foram conduzidas duas campanhas de imageamento aéreo, com intervalo de 30 dias, correspondendo a diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

As aquisições foram realizadas com a ARP DJI Mavic 3 Enterprise Multispectral, equipada com câmera de quatro bandas espectrais (verde, vermelho, red edge e infravermelho próximo). Os voos foram executados a 30 m de altura com velocidade de 2,6 m/s e o GSD de 1,38 cm/pixel, com sobreposição lateral e longitudinal de 70%. As imagens foram processadas no Pix4Dmapper,

gerando ortomosaicos corrigidos radiometricamente e georreferenciados.

Em seguida, no QGIS, calcularam-se os índices NDVI, NDRE, SAVI, OSAVI, NDWI, CI, BI, NDGI, GNDVI e RENDVI, selecionados por sua relevância no monitoramento de vigor vegetativo, conteúdo hídrico e pigmentos foliares (Gao, 1996; Gitelson et al., 2003). A análise consistiu na comparação entre os tratamentos, além da elaboração de mapas de diferença e mapas compostos para representar espacialmente as variações espectrais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices espectrais obtidos evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação subterrânea ativa e ausência de irrigação (Tabela 1), confirmando a sensibilidade da técnica em discriminar variações fisiológicas do trigo sob estresse hídrico (Zarco-Tejada et al., 2013; Tucker, 1979).

Tabela 1:Índices calculados com e sem irrigação subterrânea ativa

Índices	Irrigação Ativa	Sem Irrigação	Diferença
NDVI	0.582	0.243	0.339
NDRE	0.327	0.085	0.242
SAVI	0.418	0.001	0.417
OSAVI	0.422	0.002	0.420
NDWI	0.020	-0.460	0.480
CI	0.861	0.246	0.615
BI	0.032	0.001	0.031
NDGI	0.280	-0.246	0.526
GNDVI	0.637	0.460	0.177
RENDVI	0.429	0.163	0.266

O NDVI (Figura 1a) apresentou altos valores em praticamente toda a área irrigada, com predominância de tons verdes (>0,27), refletindo maior vigor vegetativo e biomassa (Figura 1a). Em contraste, as áreas com estresse hídrico mostraram tons alaranjados e amarelados, indicando redução da densidade foliar e da capacidade fotossintética (Rouse et al., 1974; Campos et al., 2019).

NDRE (Figura 1b) apresentou padrão semelhante, mas com maior contraste nas faixas intermediárias, resultado da sensibilidade da banda red-edge às variações sutis na concentração de clorofila. Valores mais baixos (<0,07) foram observados nas bordas e nas zonas sob menor disponibilidade hídrica, enquanto as regiões centrais irrigadas mantiveram valores acima de 0,17, confirmando o efeito positivo da irrigação subterrânea sobre o metabolismo foliar (Sibanda et al., 2017; Zarco-Tejada et al., 2013).

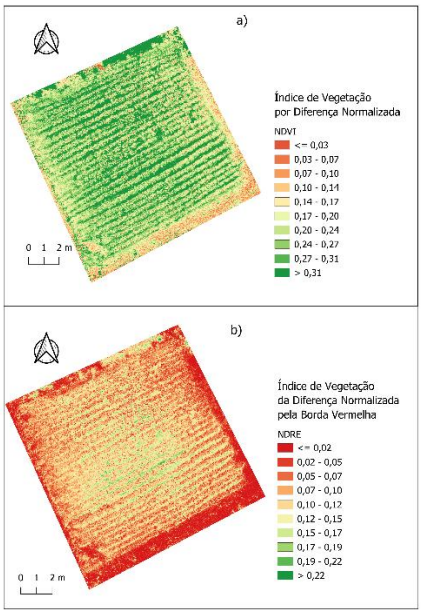

Figura 1: Apresenta os mapas diferenciais dos índices NDVI (a) e NDRE (b), representando a variação espectral entre os dois voos realizados.

Da mesma forma, os índices ajustados ao solo, como SAVI e OSAVI, foram quase nulos no tratamento sem irrigação (0,001 e 0,002), enquanto apresentaram valores expressivos sob irrigação (0,418 e 0,422). Isso reforça que, em condições de estresse, a reflectância do solo torna-se dominante, evidenciando a perda de cobertura vegetal (Huete, 1988; Haboudane et al., 2004).

O NDWI (Figura 2a) mostrou-se altamente discriminante, com valores positivos no trigo irrigado (0,020) e negativos no tratamento sob estresse (-0,460). Esse índice é sensível ao conteúdo de água no dossel, sendo amplamente utilizado para monitorar o status hídrico das plantas (Gao, 1996; Jackson et al., 2004). Assim, os resultados confirmam valores predominantemente negativos nas parcelas sem irrigação, indicando menor teor de água nas plantas e maior reflectância nas faixas do infravermelho curto, associadas à seca foliar. As áreas irrigadas apresentaram valores próximos de

zero ou ligeiramente positivos, demonstrando melhor status hídrico no dossel.

O RENDVI (Figura 2b), sensível à região do red-edge, apresentou maior amplitude de variação nas bordas e no interior das linhas de cultivo. As regiões centrais das parcelas irrigadas exibiram tons de verde e amarelo, correspondendo a valores mais elevados do índice e maior concentração de clorofila, enquanto as bordas secas mostraram tons avermelhados, indicando menor atividade fotossintética. Esse comportamento reforça o potencial do RENDVI como indicador precoce de estresse (Delegido et al., 2011; Gitelson et al., 2003).

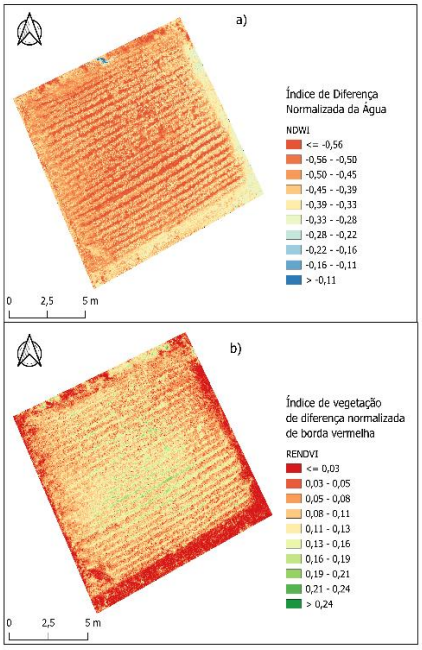

Figura 2: Apresenta os mapas diferenciais dos índices NDWI (a) e RENDVI (b), representando a variação espectral entre os dois voos realizados.

O Chlorophyll Index (CI) reforçou essa tendência, com valor de 0,861 no tratamento irrigado contra 0,246 no estresse, evidenciando maior acúmulo de pigmentos fotossintéticos quando a água não é limitante (Parry et al., 2014).

O GNDVI, que enfatiza a reflectância do verde, apresentou diferença mais sutil (0,637 irrigado e 0,460 estresse), porém ainda consistente com a redução da biomassa e clorofila sob déficit hídrico (Gitelson et al., 1996). Já o NDGI, relacionado ao balanço entre verde e vermelho, mostrou forte contraste (0,280 irrigado e -0,246 estresse), sugerindo potencial para diferenciar estádios de vigor vegetativo em trigo (Sibanda et al., 2017).

Por fim, o BI (Blue Index), embora de menor amplitude, também refletiu diferenças entre os tratamentos (0,032 irrigado e 0,001 estresse), corroborando a alteração da reflectância em faixas visíveis devido ao amarelecimento foliar induzido pelo estresse.

CONCLUSÃO

O uso de ARP multiespectral demonstrou alta eficiência na identificação das diferenças espectrais do trigo sob distintas condições hídricas, evidenciando o potencial do sensoriamento remoto de proximidade como ferramenta de apoio ao manejo da irrigação. Os índices NDWI, NDRE, SAVI e NDGI se destacaram por apresentarem maior sensibilidade às variações de disponibilidade de água no solo, refletindo de forma consistente as alterações fisiológicas das plantas.

Os resultados confirmam que a irrigação subterrânea proporciona maior vigor vegetativo e estabilidade espectral, reduzindo os efeitos do estresse hídrico. Dessa forma, a integração entre tecnologias de irrigação e monitoramento espectral contribui para o uso racional da água e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Núcleo de Estudos em Máquinas Agrícolas (NEMA) pelo ajuda e orientação. Também agradecemos à UFVJM pelo suporte institucional e ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica colaboração essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CECCATO, P. et al. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. Remote Sensing of Environment. v. 82, p. 188–197, 2002.

DELEGIDO, J. et al. A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI. Remote Sensing of Environment. v. 115, p. 281–292, 2011.

GAO, B. C. NDWI – A normalized difference water index. Remote Sensing of Environment. v. 58, p. 257–266, 1996.

GITELSON, A. A. et al. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. Remote Sensing of Environment. v. 90, p. 508–520, 2003.

GOMES, José Felipe Fernandes. **Qualidade fisiológica de sementes de trigo produzidas com diferentes lâminas de irrigação**. 2020. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

HABOUTANE, D. et al. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies. Remote Sensing of Environment. v. 90, p. 337–352, 2004.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment. v. 25, p. 295–309, 1988.

JACKSON, T. J. et al. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index. Remote Sensing of Environment. v. 92, p. 475–482, 2004.

MARQUES, F. J. M. Utilidade agronómica dos índices NDVI e NDWI para a monitorização do estado hídrico do solo em vinhas. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agronómica) – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária, Ponte de Lima, 2018.

PARRY, C. et al. Chlorophyll and light harvesting. Plant Physiology and Development. Sinauer, 2014.

PÉREZ, D. M. et al. Irrigação subterrânea: dimensionamento, construção e aplicação de um sistema piloto. *Revista Caderno Pedagógico*, v. 22, n. 10, p. 1–21, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n10-072.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA SP-351, 1974.

SIBANDA, M. et al. The utility of vegetation indices in monitoring wheat crop growth under different water stress regimes. Remote Sensing. v. 9, n. 12, p. 1–18, 2017.

SILVEIRA, Miriã Miranda da. **Produção de trigo na região sul do Rio Grande do Sul: influência de práticas de manejo sobre a qualidade dos grãos e farinhas**. 2024. 102 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment. v. 8, p. 127–150, 1979.

ZARCO-TEJADA, P. J. et al. Remote sensing of stress detection in crops. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v. 79, p. 543–552, 2013.