

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **MONITORAMENTO MULTIESPECTRAL DE PLANTAS ORNAMENTAIS IRRIGADAS COM ÁGUA DE REÚSO NO AGreste PERNAMBUCANO**

*Jeferson Antônio dos Santos da Silva<sup>1</sup>, Eric Gabriel Fernandez A. da Silva<sup>2</sup>, Ravi Emanoel de Melo<sup>3</sup>, Thayná A. B. Almeida<sup>4</sup> & Abelardo A. de A. Montenegro<sup>5</sup>*

**Abstract:** Remote sensing is a fundamental part of environmental monitoring. Drones equipped with multispectral cameras can be used, which improves the spatial and temporal resolution of data from the study area. Ornamental plants that are aesthetically and ecologically appropriate for semiarid environments, although constantly neglected, play a fundamental role in thermal comfort and soil moisture conservation. The production of this type of plant can be associated with the use of treated effluents in a safe and efficient manner, without major problems associated with safety systems. Plants present spectral signatures that can be observed from their reflectance of the electromagnetic bands. Thus, the present work aims to evaluate the spectral reflectance of ornamental plants irrigated with treated effluent in semiarid conditions, using multispectral images obtained by UAVs, observing that the evaluated plant species present a high and moderate coefficient of variation for the visible spectrum bands, but a low variation for the NDVI, high level of plant vigor. Thus, it was possible to conclude that the data obtained from UAVs make it possible to observe fundamental spectral signatures of ornamental plants irrigated with reused water and that it is promising in association with artificial intelligence techniques for the classification of vegetation based on the spectral signature of vegetation.

**Resumo:** O sensoriamento remoto é parte fundamental no monitoramento ambiental. Pode utilizar de drones equipados com câmeras multiespectrais, o que melhora a resolução espacial e temporal de dados da área de estudo. Plantas ornamentais compõem estética e ecologicamente os ambientes semiáridos, embora constantemente negligenciado, possui função fundamental no conforto térmico e conservação de umidade no solo. A produção deste tipo de planta pode ser associada ao uso de efluentes tratados de forma segura e eficiente, sem grandes problemas associados a sistemas de irrigação. Vegetais apresentam assinaturas espectrais que pode ser observado a partir da sua reflectância das faixas eletromagnéticas, dessa forma, o presente trabalho objetivou avaliar a reflectância espectral de plantas ornamentais irrigadas com efluente tratado em condições semiáridas, utilizando imagens multiespectrais obtidas por VANTs, observando que as espécies vegetais avaliadas apresentam alto e moderado coeficiente de variação para as bandas do espectro visível, porém uma baixa variação para o NDVI, indicando elevado nível de vigor vegetal. Dessa forma, foi possível concluir que dados obtidos de VANTs possibilitam observar assinaturas espectrais fundamentais das plantas ornamentais irrigadas com água de reuso e que é promissora na associação com técnicas de inteligência artificial para a classificação de vegetação a partir da assinatura espectral de vegetação.

1) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Recife, PE, Brasil; e-mail: jefersonantonio@ufrpe.br

2) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Recife, PE, Brasil; e-mail: eric.fernandez@ufrpe.br

3) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Recife, PE, Brasil; e-mail: ravi.melo@ufrpe.br

4) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Recife, PE, Brasil; e-mail: thayna.britoalmeida@ufrpe.br

5) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola; Recife, PE, Brasil; e-mail: abelardo.montenegro@ufrpe.br

**Palavras-Chave** – Sensoriamento remoto, Paisagismo, Índices espectrais

## INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto (SR) tem se consolidado como uma ferramenta indispensável para o monitoramento ambiental, especialmente na agricultura e no paisagismo urbano. Tecnologias recentes, como o uso de drones equipados com sensores multiespectrais, permitem análises de alta resolução espaço-temporal, oferecendo informações essenciais para o manejo sustentável da vegetação (Shan et al., 2025). Os sensores disponíveis, que podem ser acoplados em drones, incluem câmeras RGB e câmeras multiespectrais, dentre outros. Essa abordagem complementa o sensoriamento tradicional por satélites e tem ganhado destaque em áreas urbanas e periurbanas para fins de planejamento ecológico e gestão territorial (Musungu et al., 2024).

No contexto dos ambientes semiáridos, como no Agreste de Pernambuco, a presença de plantas ornamentais vai além do valor estético, desempenhando funções ecológicas fundamentais, como sombreamento, regulação microclimática e promoção de serviços ecossistêmicos (Sari et al., 2025). A vegetação ornamental, muitas vezes negligenciada em estudos ecológicos, contribui de forma significativa para a mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas e para a conservação da umidade do solo, especialmente em regiões com baixa pluviosidade (Musungu et al., 2024).

Estudos realizados em países de clima semiárido, como Marrocos, demonstram que o uso de efluentes tratados para irrigação de plantas ornamentais pode ser seguro e eficiente. El khoumsi et al. (2024) avaliaram a irrigação com água residual tratada na estufa de plantas ornamentais, comparando sistemas de gotejamento superficial e subsuperficial. Os resultados indicaram maior crescimento de altura, número de folhas e flores nas plantas irrigadas com efluente em relação àquelas com água de poço, sem prejuízo estético. Além disso, constatou-se excelente uniformidade de distribuição e ausência de entupimento nos emissores (El khoumsi et al., 2024).

Cada espécie vegetal possui uma assinatura espectral distinta, que pode ser detectada por sensores ópticos a partir da análise da reflectância em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Esses padrões espectrais têm sido amplamente utilizados como indicadores do estado fisiológico da vegetação, permitindo inferências sobre a saúde, o tipo de cobertura vegetal e sua interação com o meio (Sun et al., 2023). Correa et al. (2022) observaram a possibilidade da utilização de assinaturas espectrais associadas a algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado na classificação da soja atacada por pragas, obtendo resultados promissores.

Silva et al. (2024) destacaram o potencial dos índices biofísicos derivados de imagens espectrais capturadas por VANTs, tanto para o monitoramento do estado da vegetação, como no caso da palma forrageira, quanto para a detecção de solos descobertos e salinizados, fatores que contribuem significativamente para práticas agrícolas mais sustentáveis. Por sua vez, Andrade et al. (2024) observaram que índices que utilizam bandas fora do espectro visível apresentam melhor desempenho na identificação e classificação da palma forrageira por meio de algoritmos de inteligência artificial. Entre os índices multiespectrais, destaca-se o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), amplamente utilizado devido à sua sensibilidade à biomassa fotossinteticamente ativa, explorando o contraste entre a reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Huang et al., 2021).

Apesar dos avanços na aplicação de imagens multiespectrais em sistemas agrícolas, ainda são escassas as pesquisas que exploram o potencial dessas tecnologias para o monitoramento de plantas ornamentais em regiões com condições semiáridas. Conhecer as assinaturas espectrais dessas espécies pode subsidiar políticas públicas de arborização, paisagismo funcional e planejamento urbano sustentável, promovendo cidades mais resilientes frente às mudanças climáticas (Lao et al., 2025). Assim, objetivou-se no presente trabalho avaliar a reflectância espectral de plantas ornamentais irrigadas com efluente tratado em condições semiáridas, utilizando imagens multiespectrais obtidas por UAVs.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo será conduzido na Estação de Tratamento de Esgotos Rendeiras (ETE Rendeiras), localizada no município de Caruaru, Pernambuco, cujo clima é classificado como semiárido (BSh) segundo Koppen–Geiger. A unidade experimental encontra-se inserida na microrregião do Vale do Ipojuca, mesorregião do Agreste Pernambucano (Alvares et al., 2014). O município está situado a aproximadamente 130 km da capital do Estado, Recife, e apresenta sede municipal com altitude de 533,5 metros e coordenadas geográficas de 8°28'S de latitude e 35°96'W de longitude (Figura 1).

Figura 1 – Estação de tratamento de esgoto da COMPESA - Rendeiras e locação da área experimental.



A ETE Rendeiras possui um sistema implantado de reúso de esgoto tratado, autorizado pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), destinado a usos não potáveis. O efluente é utilizado na irrigação de canteiros de flores, mudas de árvores, áreas verdes, campo de futebol e também na lavagem de equipamentos da própria unidade. O sistema é composto por uma estação elevatória de esgoto tratado, linha de recalque, torre de carga, sistema de cloração, tanques de armazenamento com capacidade total de 60 m<sup>3</sup> e rede de distribuição com sistema de irrigação por gotejamento. Parte da produção de mudas (cerca de 10%) é utilizada em ações ambientais promovidas pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), incluindo o paisagismo da unidade e a recuperação de Áreas de Preservação Permanente (APPs) adjacentes (COMPESA, 2020).

O tratamento do esgoto é realizado por meio de um sistema composto por um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), seguido por lagoas em série: aerada, facultativa e de maturação, garantindo qualidade adequada do efluente para fins de reúso ambiental e paisagístico (COMPESA, 2020).

Um voo de drone foi realizado utilizando um drone de alta precisão, modelo DJI P4 Multispectral. O sistema de imagem multiespectral do modelo contém seis câmeras, incluindo uma

câmera RGB e cinco câmeras para imagens multiespectrais, cobrindo as seguintes bandas: Azul; Verde; Vermelho; Borda vermelha; e Infravermelho próximo. O voo foi realizado a uma altitude de 40 metros. Além disso, um painel de calibração radiométrica foi usado para calibrar os valores de reflectância para processamento dos índices de vegetação. O ortomosaico da imagem foi processado no software Agisoft Metashape. Para a extração dos dados de reflectância das cinco bandas e determinação do NDVI. O processamento da imagem foi realizado utilizando o software Agisoft Metashape para a produção do ortomosaico e o índice de vegetação e mapas foram processados no software QGis 3.42.3.

O NDVI consiste em um índice multiespectral proposto por Rouse et al. (1974) baseado nas bandas do Infravermelho Próximo e Vermelho objetivando identificar estado de desenvolvimento vegetal, sendo determinado a partir da equação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Em que:

NIR - Banda do Infravermelho Próximo

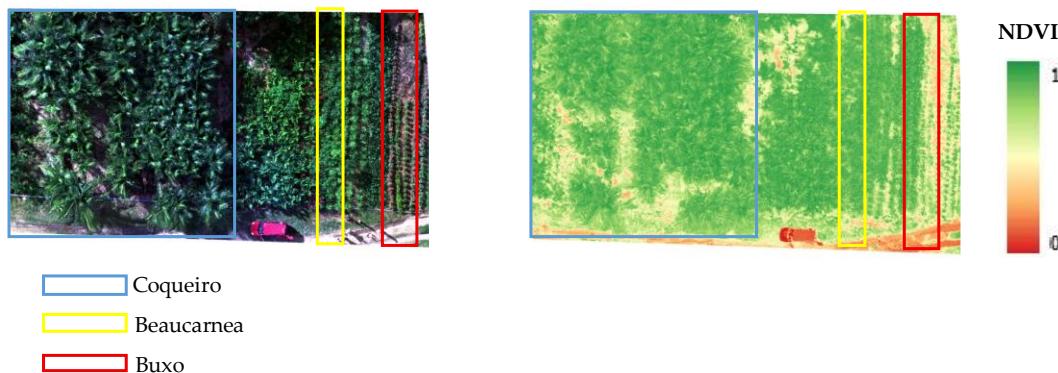
R - Banda do Vermelho

Foram escolhidas três plantas de cada espécie, Coqueiro (*Cocos nucifera* Dwarf), Beaucarnea (*Beaucarnea recurvata*) e Buxo (*Buxus sempervirens*), e selecionados três pixels para cada unidade de planta, totalizando nove pontos de extração por espécie. A partir do conjunto de dados extraídos, aplicou-se estatística básica para identificação dos valores médio, desvio padrão, máximos e mínimos e coeficiente de variação para cada banda. Após observação, foram plotados em gráfico para observação da assinatura espectral das espécies escolhidas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem do drone DJI P4 Multispectral permitiu a verificação do NDVI, conforme Figura 2. A variação de NDVI no mapa foi de 0 a 1. Nota-se que todas as áreas apresentaram densidade de vegetação semelhante, variando de 0,84 a 0,86.

Figura 2 - Distribuição espacial do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).



Os resultados da estatística básica aplicada à extração de reflectância para as espécies escolhidas estão apresentados na tabela 1:

Tabela 1 – Estatística básica aplicada a reflectância e ao NDVI com base nas três espécies ornamentais estudadas.

Bandas	B	G	R	RE	NIR	NDVI
<i>Cocos nucifera Dwarf</i>						
Média	1483,56	2822,44	1600,67	12565,56	20540,11	0,86
Desvio Padrão	436,87	1004,59	513,73	3645,31	4336,58	0,02
CV (%)	29,45	35,59	32,09	29,01	21,11	2,27
Mediana	1557,00	3092,00	1757,00	13463,00	21475,00	0,85
Máximo	2153,00	4258,00	2258,00	18571,00	29147,00	0,88
Mínimo	841,00	1242,00	867,00	5979,00	13114,00	0,82
<i>Beaucarnea recurvata</i>						
Média	1362,556	3576,222	1787,556	13680,44	21854,44	0,84866
Desvio Padrão	480,9121	1298,65	732,5772	3160,832	4142,963	0,042029
CV (%)	35,29	36,31	40,98	23,10	18,96	4,95
Mediana	1189	3535	1725	14019	22270	0,85627
Máximo	2501	5715	3139	18402	28714	0,92053
Mínimo	825	1932	717	10109	17258	0,77668
<i>Buxus sempervirens</i>						
Média	1014,778	2613,333	1459,111	11508	18145,56	0,84874
Desvio Padrão	216,3453	606,2918	346,2383	2454,574	3666,34	0,03074
CV (%)	21,32	23,20	23,73	21,33	20,21	3,62
Mediana	989	2637	1455	10988	17563	0,86126
Máximo	1359	3662	2092	15846	24775	0,87844
Mínimo	704	1620	936	7272	11887	0,78447

Onde, B = Banda do Azul; G = Banda do Verde; R = Banda do Vermelho; RE = Borda do Vermelho; NIR = Infravermelho próximo; NDVI = Normalized Difference Vegetation Index.

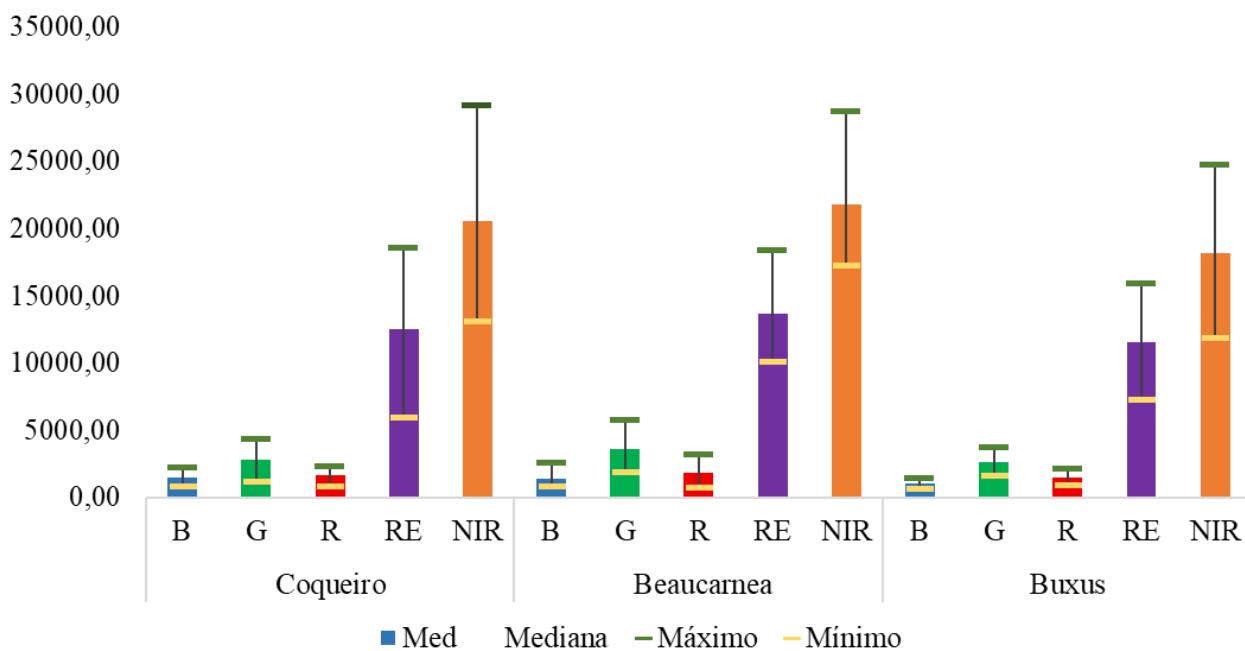
Observa-se que o coqueiro apresentou maior média de reflectância da banda do azul, contudo, apresentando coeficiente de variação de 29,45%, sendo classificado como alta variabilidade de acordo com o critério estabelecido por Warrick e Nielsen (1980). Paringit et al. (2014) obtiveram dados semelhantes para o coqueiro, destacando a alta reflectância da banda do verde em plantas saudáveis e alta reflectância nas bandas da borda do vermelho e infravermelho próximo.

Destaca-se a maior uniformidade nos dados da *Buxus sempervirens*, com variabilidade moderada para todos os espectros avaliados, com 21,32%, 23,20%, 23,73%, 21,33% e 20,21% para as bandas do azul, verde, vermelho, borda do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. Observa-se ainda que, seguindo a mesma classificação, a *Beaucarnea* apresentou maior coeficiente de variação para as bandas do espectro visível, com 35,29%, 36,31% e 40,98% para as bandas do azul, verde e vermelho, respectivamente. É possível observar também o baixo coeficiente de variação para o NDVI, ficando em 2,27%, 4,95% e 3,62% para o Coqueiro, Beaucarnea e Buxo, respectivamente.

Yones et al. (2019) utilizaram da reflectometria de diferentes espécies para obtenção de sua assinatura sob condição saudável e com a presença de infecções, observando as variações da reflectância entre espécies nas diferentes condições. Semelhante, Torres-Madronero et al. (2022) observaram variações na assinatura espectral do milho em diferentes condições de deficiência de nitrogênio. Assim, ao analisar os dados espectrais das plantas ornamentais objeto deste estudo foi observado ainda que todas apresentam o comportamento espectral característico de vegetação saudável, com altos valores de reflectância referentes ao Infravermelho próximo.

Segundo Simkin et al. (2021), a clorofila absorve a luz nas regiões do azul e vermelho do espectro visível, sendo essencial para a fotossíntese, fazendo com que a reflectância da banda do verde seja relativamente mais alta. O gráfico a seguir demonstra o comportamento obtido para as plantas avaliadas para as cinco bandas (Figura 3A) e para as bandas do espectro visível (Figura 3B).

Figura 3 - Resposta espectral média, mediana, valores máximos e mínimos das espécies estudadas.



Nota-se que o coqueiro apresentou as maiores respostas espectrais nas bandas RE e NIR, evidenciando forte refletância fora do espectro visível. A Beaucarnea destacou-se principalmente nas bandas verde (G) e vermelha (R), indicando maior atividade fotossintética. Já o Buxus sempervirens teve comportamento intermediário, com respostas mais discretas nas faixas analisadas.

## CONCLUSÕES

Os padrões espectrais captados evidenciam a maior resposta do coqueiro nas faixas RE e NIR, enquanto Beaucarnea se destaca nas bandas visíveis (G e R). Esses resultados confirmam a eficácia das imagens multiespectrais obtidas por VANTs em discriminar as assinaturas espectrais das espécies.

O aprofundamento da análise e a ampliação do número de espécies avaliadas poderão fortalecer sua aplicação em técnicas de inteligência artificial voltadas à classificação de vegetação no semiárido.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA), ao Laboratório de Água e Solo (LAS), e à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pelo apoio para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. (2014). "Köppen's climate classification map for Brazil". *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711–728.
- ANDRADE, O. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; NETO, M. A. S.; SOUSA, L. B.; ALMEIDA, T. A. B.; LIMA, J. L. M. P.; CARVALHO, A. A.; SILVA, M. V.; MEDEIROS, V. W. C.; SOARES, R. G. F.; SILVA, T. G. F.; VILAR, B. P. (2024). "UAV-based classification of intercropped forage cactus: A comparison of RGB and multispectral sample spaces using machine learning in an irrigated area". *AgriEngineering*, 6, 509–525.
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO – COMPESA. (2020). "Chamamento Público COMPESA nº 004/2020. Anexo II - Nota Técnica – Panorama do Reuso na COMPESA". Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos, Governo de Pernambuco.
- CORREA, D. V.; RAMOS, A. P. M.; OSCO, L. P.; JORGE, L. A. C. (2022). "Aprendizagem de máquina para identificação de plantas de soja sob ataque de insetos usando dados hiperespectrais". *Colloquium Exactarum*, 14, 146–153.
- EL KHOUMSI, W.; ESSIBA, W.; BASIR, I.; HARROUNI, C.; REDOUANE, C.-A.; BOURZIZA, R. (2024). "Effect of treated wastewater irrigation on ornamental plants: Case study of Lantana and Hibiscus, Morocco". *World Water Policy*, 10(1), 280–296.
- HUANG, S.; HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. (2021). "A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing". *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1–6.
- LAO, Z.; FU, B.; SUN, W.; WANG, Y.; ZHOU, Y.; HE, H.; DENG, T.; GAO, E. (2025). "A novel constrained spectral matching approach for extending UAV multispectral reflectance measurements and estimating nitrogen and phosphorus contents in wetland vegetation species". *Plant Phenomics*, 7(2), 100059.
- MUSUNGU, K.; DUBE, T.; SMIT, J.; SHOKO, M. (2024). "Using UAV multispectral photography to discriminate plant species in a seep wetland of the Fynbos Biome". *Wetlands Ecology and Management*, 32, pp. 207–227.
- PARINGIT, E. C.; FABILA, J. L.; ILAGAN, M. J.; CRUZ, C.; SAMALBURO, S. (2014). "Spectral characterization of coconut scale insect (CSI) from field spectroradiometric measurements and high-resolution hyperspectral imagery". 35th Asian Conference on Remote Sensing.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. (1974). "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS". In: FREDEN, S. C.; MERCANTI, E. P.; BECKER, M. (Eds.). *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*. NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., 309–317.
- SARI, I.L.; ROSWINTIARTI, O.; KUSTIYO, K.; INDRIASARI, N.; KARTIKA, T.; WIDYASMOKO, G.; PERMANA, S.A.B.S.; TOSIANI, A.; PRAMONO, T.H.; MUSLIMAH, H.; SUPRIANTO, H.E.; FADIL, F.; DALILLA, F.; ARIEF, R. (2025). "Tree counting of tropical tree plantations using the maximum probability spectral features of high-resolution satellite images and drones". *Geomatica*, 77(1), 100045.

- SHAN, Y.; YAO, Y.; WANG, L.; WANG, Z.; YI, H.; FU, Y.; LI, W.; ZHANG, X.; WANG, W.; JING, Z. (2025). "Prediction of canopy mean traits in herbaceous plants by the UAV multispectral data: The quest for a better leaf-to-canopy upscaling method". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 141, 104650.
- SILVA, G. I. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SANTOS, W. M.; BEZERRA, A. C.; ALBA, E.; SILVA, M. V.; SILVA, J. L. B.; SOUZA, L. S. B.; MARINHO, G. T. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, T. G. F. (2024). "Estimation of biophysical parameters of forage cactus under different agricultural systems through vegetation indices and machine learning using RGB images acquired with unmanned aerial vehicles". *Agriculture*, 14(12), 2166.
- SIMKIN, A. J.; KAPOOR, L.; DOOS, C. G. P.; HOFMANN, T. A.; LAWSON, T.; RAMAMOORTHY, S. (2022). "The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta". *Photosynthesis Research*, 152, 23–42.
- SUN, H.; GUO, L.; ZHANG, Y. (2025). "Accurate Conversion of Land Surface Reflectance for Drone-Based Multispectral Remote Sensing Images Using a Solar Radiation Component Separation Approach". *Sensors*, 25(8), 2604.
- TORRES-MADRONE, M. C.; GOEZ, M. M.; GUZMÁN, M.; RONDON, T.; RODRÍGUEZ CARMONA, P. C.; ACEVEDO-CORREA, C.; GOMEZ-ORTEGA, S.; DURANGO-FLÓREZ, M.; LÓPEZ, S. V.; GALEANO ZEA, J. A.; CASAMITJANA, M. (2022). "Spectral library of maize leaves under nitrogen deficiency stress". *Data*, 8(1), 2.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. (1980). "Spatial variability of soil physical properties in the field". *Applied Soil Physics*, 319–344.
- YONES, M. S.; ABOELGHAR, M.; KHDERY, G. A.; DAHI, H. F.; SOWILEM, M. (2019). "Spectral signature for detecting pest infestation of some cultivated plants in the northern west coast of Egypt". *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 12(3), 73–83.