IMAGENS MULTIESPECTRAIS EM DRONES: APLICAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO E DIGITAL

Lúcio de Paula Amaral [1,2]; Sally Deborah Pereira da Silva [2]; Fernando Coelho Eugenio [3]

[1] Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP), Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (POLI/UFSM), Santa Maria, RS – lucio.amaral@ufsm.br

[2] Engenheira Florestal, Doutora em Eng. Florestal (UFSM) – sallydeborah@outlook.com

[3] Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Programas de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Produção Vegetal, Diamantina, MG – fernando.eugenio@ufvjm.edu.br

Resumo

As imagens multiespectrais obtidas por drones (aeronaves remotamente pilotadas - RPAs; aeronaves não tripuladas - UA) permitem observar diferenças na vegetação e acompanhar as culturas agrícolas com elevada resolução espacial. Entretanto, transformar essas imagens em informações úteis ao manejo exige cuidados na aquisição, no processamento e na interpretação dos resultados. Esta nota técnica apresenta os princípios básicos de funcionamento dos sensores multiespectrais, as principais etapas para obtenção de imagens confiáveis e exemplos de aplicações no monitoramento nutricional, hídrico e fitossanitário, na definição de zonas de manejo e na estimativa de produtividade. Também são apresentadas recomendações práticas para orientar a escolha da tecnologia e a utilização dos produtos gerados. Busca-se demonstrar que o potencial do sensoriamento multiespectral não depende apenas das características do equipamento, mas principalmente da qualidade dos dados e de sua capacidade de apoiar decisões agrícolas.

Introdução

Os sensores multiespectrais embarcados em drone (aeronaves não tripuladas - UA, nova nomenclatura adotada pela ANAC no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil RBAC n. 100 de 2026), ampliaram as possibilidades de monitoramento agrícola, permitindo observar diferenças na vegetação que nem sempre são perceptíveis em imagens convencionais. Com elevada resolução espacial e flexibilidade de aquisição, essas imagens podem apoiar avaliações do desenvolvimento das culturas, da variabilidade espacial e de alterações relacionadas às condições das plantas (Wang et al., 2024).

Entretanto, obter imagens multiespectrais não significa, necessariamente, produzir informações confiáveis para o manejo. A qualidade dos resultados depende das condições de aquisição, da calibração e do processamento das imagens, além da interpretação adequada dos dados. Um índice espectral ou índice de vegetação, por exemplo, pode evidenciar diferenças entre plantas, mas não identifica, isoladamente, suas causas.

Esta Nota Técnica apresenta os princípios básicos de funcionamento dos sensores multiespectrais, os principais cuidados na aquisição e no processamento das imagens e exemplos de suas aplicações na Agricultura de Precisão e Digital. O objetivo é mostrar como transformar dados espectrais em informações úteis para apoiar decisões de manejo.

Sensores multiespectrais: funcionamento e geração de informações

Os sensores multiespectrais registram a radiação proveniente dos alvos em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Na vegetação, parte da radiação solar é absorvida, parte é transmitida e outra parcela é refletida. Essas interações variam conforme as características das plantas e o comprimento de onda, permitindo observar diferenças relacionadas aos pigmentos, à estrutura das folhas e à organização do dossel (Formaggio e Sanches, 2017). A Figura 1, apresenta de forma simplificada, como a radiação refletida pela vegetação é registrada pelo sensor e transformada em informações sobre a área cultivada.

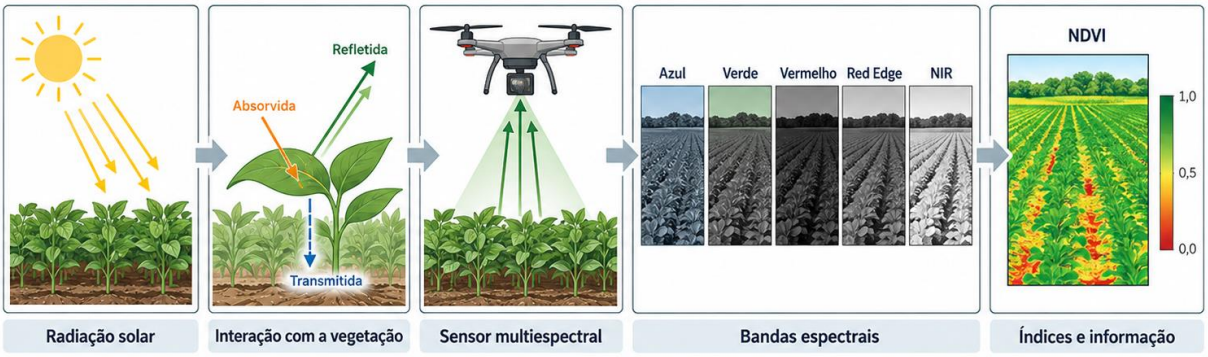


Figura 1. *Representação simplificada do funcionamento do sensoriamento multiespectral aplicado à vegetação, desde a interação da radiação com as plantas até a geração de imagens e índices de vegetação.*

Diferentemente das câmeras convencionais, que registram principalmente as bandas azul, verde e vermelha (RGB), entre 400 nm (azul) a 700 nm (vermelho) em uma imagem resultante da combinação destas bandas, os sensores multiespectrais utilizados na agricultura geralmente incluem a borda do vermelho ou vermelho limítrofe - red edge (proximidade de 700 nm) e o infravermelho próximo - NIR (entre 700 nm e 1300 nm). Enquanto as bandas do visível estão fortemente relacionadas à presença de pigmentos, o red edge é sensível a mudanças relacionadas à clorofila e ao desenvolvimento do dossel. O NIR, por sua vez, fornece informações complementares sobre a estrutura interna das folhas e da cobertura vegetal (Formaggio e Sanches, 2017). Entretanto, utilizar mais bandas não garante melhores resultados, pois a escolha do sensor deve considerar a cultura e o objetivo do monitoramento.

Uma das principais formas de aproveitar essas informações é por meio dos índices de vegetação (IVs), calculados a partir da combinação matemática de bandas espectrais. Entre os mais utilizados estão o NDVI, que combina vermelho e NIR; o NDRE, que utiliza red edge e NIR; e o GNDVI, calculado a partir das bandas verde e NIR. Esses índices permitem gerar mapas que evidenciam diferenças na vegetação e ajudam a direcionar avaliações específicas dentro da área cultivada.

É importante compreender, porém, que diferenças nos valores dos índices de vegetação não representam necessariamente problemas nas plantas. Alterações relacionadas à nutrição, disponibilidade de água, ocorrência de doenças ou desenvolvimento da cultura podem produzir respostas espectrais semelhantes. Além disso, sombras, solo exposto e condições de iluminação influenciam os valores registrados. Portanto, os mapas devem ser interpretados considerando as características da cultura, tais como estádio fenológico, e, sempre que possível, associados a observações de campo.

Aquisição e processamento das imagens

A obtenção de imagens multiespectrais confiáveis começa pelo planejamento do voo do drone. A altura deve ser definida considerando a resolução espacial necessária para observar plantas, linhas de cultivo ou parcelas. A

sobreposição entre imagens deve ser suficiente para permitir o processamento fotogramétrico, enquanto condições como vento, nebulosidade e iluminação precisam ser avaliadas antes da operação. Em levantamentos realizados em diferentes datas, é recomendável padronizar, sempre que possível, as condições de aquisição para facilitar a comparação dos resultados (Wang et al., 2024).

Durante a aquisição, é importante acompanhar as condições de iluminação, pois suas variações podem alterar os valores registrados pelo sensor. Alguns equipamentos possuem sensores de irradiância para monitorar essas mudanças, enquanto painéis de referência com reflectância conhecida podem auxiliar na calibração radiométrica. O uso desses recursos deve seguir as recomendações do fabricante e as exigências de cada aplicação (Chakhvashvili et al., 2024).

Após o voo, as imagens devem passar por uma verificação inicial para identificar registros desfocados, saturados ou com falhas de cobertura. No processamento, as correções radiométricas consideram a resposta do sensor e, quando disponíveis, informações sobre a iluminação, permitindo estimar valores de reflectância. É importante lembrar que os números digitais registrados originalmente não correspondem necessariamente à reflectância e que a calibração não elimina completamente os efeitos das sombras e da geometria de observação.

O processamento geométrico permite gerar ortomosaicos georreferenciados a partir das imagens adquiridas. Dependendo da precisão exigida, podem ser utilizados pontos de controle em campo ou sistemas de posicionamento de maior precisão. Nos sensores multiespectrais, deve-se verificar também o alinhamento entre as bandas, pois pequenos deslocamentos podem comprometer o cálculo dos índices de vegetação, especialmente nas bordas das plantas e nas áreas com solo exposto.

Com as imagens processadas, podem ser produzidos mapas das bandas espectrais e dos índices de vegetação (Figura 2). Antes de utilizar esses produtos no manejo, recomenda-se verificar sua consistência radiométrica e geométrica e, sempre que possível, confrontar os resultados com observações de campo. Esses cuidados ajudam a evitar interpretações equivocadas e tornam as informações mais confiáveis para a tomada de decisão.

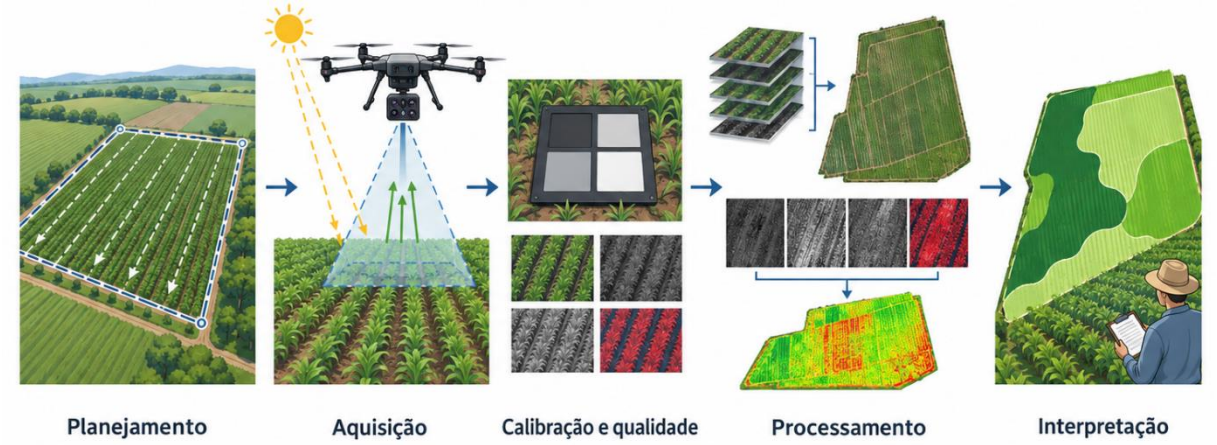


Figura 2. *Etapas básicas do uso de imagens multiespectrais na agricultura de precisão e digital, desde a aquisição até a interpretação dos resultados.*

Aplicações práticas do sensoriamento multiespectral

As imagens multiespectrais obtidas por sensores embarcados em drones podem apoiar diferentes atividades agrícolas, desde a identificação de diferenças dentro da lavoura até o acompanhamento das plantas ao longo do ciclo produtivo. A seguir, são apresentados exemplos de como essas informações podem contribuir para o manejo.

Variabilidade espacial e definição de zonas de manejo

As plantas de uma mesma lavoura podem apresentar diferenças de crescimento e produtividade. Imagens multiespectrais ajudam a localizar essas variações e definir zonas de manejo, orientando ações específicas em cada área. Em vinhedos do Rio Grande do Sul, imagens aéreas e dados de campo permitiram identificar três zonas de produtividade: baixa, média e alta (Ferreira et al., 2023). Outros estudos destacam a importância de considerar a cobertura vegetal e as características do solo nessa análise (Heberle et al., 2025). Assim, os mapas ajudam a direcionar avaliações e práticas de manejo.

Monitoramento nutricional e uso eficiente de fertilizantes

As imagens multiespectrais ajudam a acompanhar a resposta das culturas à adubação, identificando diferenças no desenvolvimento e na resposta espectral das plantas. Em lavouras de tabaco Virgínia, índices de vegetação associados a dados agronômicos permitiram avaliar doses de nitrogênio e reduzir a adubação, sem prejudicar a produtividade e qualidade das folhas de tabaco nas condições estudadas (Soares et al., 2023). Contudo, os mapas não substituem as análises de solo e de plantas necessárias às recomendações de adubação.

Acompanhamento do desenvolvimento e estimativa de produtividade

As imagens multiespectrais permitem acompanhar o crescimento das culturas e, quando combinadas com dados de campo e modelos computacionais, estimar características das plantas e sua produtividade. Na soja, o índice EVI-2 apresentou resultados promissores na avaliação da produtividade (Andrade Júnior et al., 2022). Em arroz irrigado, imagens multiespectrais e algoritmos de aprendizagem de máquina permitiram estimar produtividade e características relacionadas ao nitrogênio e ao desenvolvimento das plantas (Eugenio et al., 2023a, 2023b).

Manejo da irrigação e identificação de estresse hídrico

As imagens multiespectrais podem ajudar a identificar áreas com possíveis diferenças na disponibilidade de água, orientando avaliações e decisões sobre irrigação. Em milho submetido a diferentes regimes de irrigação, índices de vegetação apresentaram relações com o conteúdo de água nas folhas, a condutância estomática e a produtividade (Lopes et al., 2024). Na soja, imagens multiespectrais e térmicas foram combinadas para estimar a evapotranspiração e mapear sua variação ao longo do ciclo (Casari et al., 2024). Esses resultados podem apoiar o manejo hídrico, mas a identificação de deficiência de água exige informações complementares.

Monitoramento fitossanitário e identificação de plantas daninhas

Imagens multiespectrais obtidas por sensores embarcados em drones, combinadas com inteligência artificial, podem ajudar a localizar plantas daninhas e alterações na vegetação, facilitando o monitoramento de grandes áreas. Em Goiás, imagens de drones e o algoritmo Random Forest foram utilizados para identificar plantas daninhas (Ferreira Neto et al., 2024). Em plantios de *Eucalyptus saligna*, imagens multiespectrais e redes neurais permitiram classificar árvores saudáveis, estressadas e mortas, com acurácia geral de 98,77% nas condições avaliadas (da Silva et al., 2026). Essas ferramentas ajudam a direcionar inspeções, mas a confirmação dos problemas exige avaliações de campo.

Recomendações práticas: quando e como utilizar imagens multiespectrais

Antes de escolher um sensor multiespectral, é preciso definir o problema agrícola, mas como que uma nota técnica sobre

essa tecnologia recomenda não começar por ela? Porque para identificar falhas de plantio, imagens RGB podem ser suficientes e você não precisará gastar mais com outros sensores. Já sensores multiespectrais, com bandas red edge e NIR, podem revelar diferenças adicionais na vegetação. Portanto, a escolha depende do seu objetivo, e a Tabela 1 apresenta orientações práticas para essa decisão. Além da escolha do equipamento, é essencial verificar a qualidade das imagens, o alinhamento entre as bandas e os procedimentos de processamento. Para comparações entre datas ou análises quantitativas, a calibração radiométrica merece atenção especial.

Também é importante lembrar que mapas de NDVI, NDRE ou outros índices mostram diferenças na vegetação, mas não indicam, isoladamente, a necessidade de adubação, irrigação ou controle fitossanitário. Essas decisões exigem conhecimento da cultura e, sempre que possível, avaliações de campo. Portanto, a escolha da tecnologia deve partir do problema agrícola. O valor das imagens multiespectrais está em fornecer informações adicionais, confiáveis e úteis às decisões de manejo.

Tabela 1. *Orientações práticas para a escolha e utilização de imagens multiespectrais obtidas com drones para o manejo agrícola*

O que você pretende fazer?	**O que considerar?**
Identificar falhas de plantio, linhas de cultivo ou solo exposto	Imagens RGB podem ser suficientes, dependendo da resolução espacial e das condições da área.
Gerar modelos digitais do terreno, curvas de nível, declividade, linhas de orientação de plantio	
Obter medidas de distâncias, área, desnível, perímetro e formato dos talhões, volumes	
Acompanhar diferenças no desenvolvimento da vegetação.	Sensores multiespectrais podem acrescentar informações úteis, especialmente por meio das bandas red edge e NIR.
Comparar uma lavoura em diferentes datas ou estádios fenológicos	Padronize as aquisições e verifique a calibração radiométrica para obter resultados mais comparáveis.
Identificar possíveis problemas nutricionais, hídricos ou fitossanitários	Utilize os mapas para localizar áreas que merecem inspeção. A confirmação das causas exige avaliações complementares.
Definir zonas de manejo	Combine os mapas espectrais com informações sobre solo, produtividade e características da área.
Contratar um levantamento com drone	Defina previamente a resolução necessária, os produtos que serão entregues e os procedimentos de controle de qualidade.

.

Considerações finais

Os sensores multiespectrais embarcados em drones flexibilizam a coleta de dados e oferecem possibilidades para acompanhar as culturas e identificar diferenças que nem sempre são percebidas em imagens convencionais. Entretanto, produzir mapas não significa, necessariamente, obter respostas para os problemas encontrados na lavoura. A qualidade das informações depende dos cuidados durante a aquisição e o processamento das imagens, além de sua interpretação com base no conhecimento agronômico.

Mais do que gerar imagens e calcular índices de vegetação, o desafio é transformar os dados em informações que ajudem agricultores e profissionais a tomar decisões. Afinal, o valor dessa tecnologia não está apenas no que conseguimos observar, mas no que podemos fazer com essa informação.

Agradecimentos: As informações apresentadas nesta nota técnica foram originadas em estudo financiado, em parte, pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Brasil, por meio dos processos nº 309234/2022-0 e 402204/2024-7.

Referências

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de et al. Predicting soybean grain yield using aerial drone images. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 26, n. 6, p. 466–476, 2022. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p466-476.

CASARI, R. A. das C. N. et al. Estimation of soybean evapotranspiration using SSEBop model with high-resolution imagery from an unmanned aerial vehicle. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 39, e39240007, 2024. DOI: 10.1590/0102-77863910007.

CHAKHVASHVILI, E. et al. Crop stress detection from UAVs: best practices and lessons learned for exploiting sensor synergies. Precision Agriculture, v. 25, p. 2614–2642, 2024. DOI: 10.1007/s11119-024-10168-3.

DA SILVA, S. D. P. et al. Remote detection of root malformation disorder in Eucalyptus saligna using UAV multispectral imagery and U-Net++. Computers and Electronics in Agriculture, v. 244, 111522, 2026. DOI: 10.1016/j.compag.2026.111522.

EUGENIO, F. C. et al. Estimated flooded rice grain yield and nitrogen content in leaves based on RPAS images and machine learning. Field Crops Research, v. 292, 108823, 2023a. DOI: 10.1016/j.fcr.2023.108823.

EUGENIO, F. C. et al. Flooded rice variables from high-resolution multispectral images and machine learning algorithms. Remote Sensing Applications: society and environment, v. 31, 100998, 2023b. DOI: 10.1016/j.rsase.2023.100998.

FERREIRA NETO, A. R.; ROSA, M. C.; NUÑEZ, D. N. C. Uso de inteligência artificial na detecção de plantas daninhas. Brazilian Journal of Science, v. 3, n. 1, p. 14–27, 2024. DOI: 10.14295/bjs.v3i1.439.

FERREIRA, R. A. et al. Análise da variabilidade espacial e zonas de produtividade em vinhedos, no Vale Central Gaúcho. Nativa, v. 11, n. 3, p. 297–308, 2023. DOI: 10.31413/nativa.v11i3.15696.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

HEBERLE, D. A. et al. Soil spatial heterogeneity in vineyards for fine wine production: pedological support for precision viticulture. Engenharia Agrícola, v. 45, n. spe2, e20250061, 2025. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v45nespe220250061/2025.

LOPES, A. da S. et al. Assessment of maize hybrid water status using aerial images from an unmanned aerial vehicle. Revista Caatinga, v. 37, 2024. DOI: 10.1590/1983-21252024v3711701rc.

SOARES, A. L. et al. Adubação nitrogenada em tabaco Virgínia monitorado por plataforma multiespectral embarcada em aeronave remotamente pilotada. Nativa, v. 11, n. 3, p. 309–322, 2023. DOI: 10.31413/nativa.v11i3.15688.

WANG, J. et al. UAS-based remote sensing for agricultural monitoring: current status and perspectives. Computers and Electronics in Agriculture, v. 227, 109501, 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109501.