



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

UTILIZAÇÃO DE SENSORES RGB ACOPLADOS A DRONES NO MONITORAMENTO AGRÍCOLA¹

Daniel Maldaner²
Me. Neuri Antonio Feldmann³
Dra. Fabiana Raquel Muhl⁴
Me. Marciano Balbinot⁵

RESUMO

A evolução tecnológica nos é evidente em diversos setores, e na agricultura não é diferente. Com o advento da tecnologia 5.0, novas ferramentas têm possibilitado o monitoramento de fenômenos fisiológicos, físicos e nutricionais das culturas. Nesse contexto, o sensoriamento remoto destaca-se como uma importante aliada do produtor rural. Entretanto, a relação custo-benefício ainda é um fator a ser considerado, em razão do investimento necessário na aquisição dos equipamentos. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar o uso de sensores convencionais, acoplados a drones, para o monitoramento agrícola. O estudo foi conduzido em uma lavoura localizada no município de Mondaí/SC, através de diferentes formas de aplicação de nitrogênio (incorporado, a lanço e testemunha) na cultura do milho. Os voos de monitoramento foram realizados a duas alturas distintas, 60 m e 120 m, e as análises basearam-se no índice de vegetação MPRI. Os resultados demonstraram a evolução do índice em relação ao incremento de biomassa seca da cultura, principalmente no último voo, realizado aos 37 dias após a emergência (DAE). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre as formas e doses de aplicação do nitrogênio, mas houve boa correlação entre o índice MPRI e a biomassa das plantas. Conclui-se que o uso de sensores convencionais do tipo RGB, acoplados a drones agrícolas convencionais, representa uma ferramenta viável para o monitoramento agrícola, especialmente em pequenas propriedades, devido ao investimento relativamente acessível.

Palavras-chave: agricultura de precisão; sensoriamento remoto; índice de vegetação.

ABSTRACT

Technological advances are evident in various sectors, and agriculture is no different. With the advent of 5.0 technology, new tools have made it possible to monitor the physiological, physical, and nutritional phenomena of crops. In this context, remote

¹ Pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

² Centro Universitário FAI - UCEFF. Acadêmico do Curso de Agronomia. E-mail: danielmaldaner2017@gmail.com.

³ Centro Universitário FAI - UCEFF. Me. em Fitotecnia E-mail: neuri@uceff.edu.br

⁴ Centro Universitário FAI - UCEFF. Dra em Agronomia E-mail: fabiana@uceff.edu.br

⁵ Centro Universitário FAI - UCEFF. Me. em Agronomia E-mail: marciano@uceff.edu.br



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

sensing stands out as an important ally for rural producers. However, the cost-benefit ratio is still a factor to be considered, due to the investment required to purchase the equipment. Given this, the objective of this study is to demonstrate the use of conventional sensors, coupled with drones, for agricultural monitoring. The study was conducted on a farm located in the municipality of Mondaí/SC, using different forms of nitrogen application (incorporated, broadcast, and control (without nitrogen)) in corn crops. The monitoring flights were carried out at two different heights, 60 m and 120 m, and the analyses were based on the MPRI vegetation index. The results demonstrated the evolution of the index in relation to the increase in dry biomass of the crop, especially in the last flight, carried out 37 days after emergence (DAE). However, no significant differences were observed between the forms and doses of nitrogen application, but there was a good correlation between the MPRI index and plant biomass. It is concluded that the use of conventional RGB sensors, coupled with conventional agricultural drones, represents a viable tool for agricultural monitoring, especially on small properties, due to the relatively affordable investment.

Keywords: precision agriculture; remote sensing; vegetation index.

1 INTRODUÇÃO

A agricultura atual vem sendo palco de várias evoluções. A tecnologia, cada vez mais, proporciona maior precisão, favorecendo a obtenção de informações que servem como parâmetros para a tomada de decisões. Na agricultura por exemplo, o monitoramento do desenvolvimento das plantas é facilitado quando acontece a aplicação destas tecnologias.

A presença de desafios que interferem na produção atual é uma constante, como as oscilações climáticas, ataques de pragas, infestações de doenças e o aumento da resistência de plantas daninhas. São situações que, cada vez mais, exigem uma atenção diferenciada quando se trata de produção vegetal. A necessidade de produzir mais com menos mostra a importância desse monitoramento. Autores como Shiratsuchi *et al.* (2014) complementam que o sensoriamento remoto permite a obtenção de informações de algum objeto físico sem a necessidade do contato para com ele, ou seja, há a possibilidade de obtenção de imagens a longas distâncias.

Dentro do sensoriamento remoto, a obtenção de informações em níveis orbitais por exemplo, é limitada devido à baixa resolução espacial da imagem, além disso, há

a necessidade de condições climáticas sem a presença de nuvens, as quais são consideradas outro empecilho na captura de informações. Contudo, na atualidade, esse problema pode ser superado pelo uso de outras plataformas, como sensores terrestres e drones. A agricultura em que vivemos, é conhecida por agricultura 5.0, tendo como principais evoluções o sensoriamento remoto, a eficácia dos drones, o aprimoramento da inteligência artificial, a superconectividade e a evolução na gestão de processos autônomos (Cruz; Velazco, 2025).

Nos dias de hoje, há uma infinidade de sensores de monitoramento agrícola que podem ser usados para o sensoriamento remoto, porém muitos possuem um custo alto, inviabilizando esta tecnologia. Contudo, muitos desses dispositivos apresentam custos elevados, o que dificulta a adoção da tecnologia, especialmente por produtores com propriedades menores e menor poder aquisitivo. Nesse contexto, os drones destacam-se como equipamentos viáveis para a implementação dessa ferramenta.

Um estudo de Panday *et al.* (2020) mostra que drones usados em pequenas propriedades possuem uma grande capacidade de crescimento com uma operação de custos baixos, levando em consideração que imagens de satélite com altas qualidades dependem de alto custo de aquisição, o que acaba por ser inviável para um pequeno produtor.

Essas informações possuem correlação com atributos morfológicos, fenológicos e físicos da cultura, que muitas vezes podem ser obtidas através de sensores convencionais como sensores RGB, que estão presentes na maioria dos drones atualmente. Portanto, o presente projeto tem por foco principal, apresentar a funcionabilidade e o emprego de sensoriamento remoto à pequenas propriedades, por meio do monitoramento de culturas de interesse agrícola como o milho, gerando índices de vegetação e seus produtos com sensores RGB, acoplados a drones convencionais.

A aplicação desta técnica aliada a conceitos de agricultura de precisão, permite acesso de ferramentas tecnológicas em propriedades com menor escala, as quais naturalmente possuem dificuldades diante da instabilidade enfrentada pelo pequeno produtor em relação às condições ambientais, sociais e econômicas do meio em que



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

está inserido. Atualmente, poucos autores trazem conceitos notórios para o emprego destes índices de vegetação, principalmente se tratando em propriedades rurais de pequeno porte, demonstrando a necessidade da busca por informações mais aprofundadas sobre tal tema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura passou por processos evolutivos constantes ao longo da existência da humanidade. Castanho e Teixeira (2017) relatam que a agricultura se iniciou com intensa atividade braçal, seguida pelo uso da tração animal. O uso das primeiras tecnologias e ferramentas digitais é descrito por Viola e Mendes (2022), que destacam o surgimento dos sistemas de gestão, dos sistemas de monitoramento e do emprego do GPS, marcando posteriormente o que ficou conhecido como agricultura 2.0 e 3.0.

Dentro desse contexto de evolução, como tornar essas tecnologias aplicáveis e ao mesmo tempo eficientes? Considerando as dificuldades enfrentadas por muitas propriedades na adoção dessas inovações, evidencia-se a necessidade de tornar a agricultura mais eficiente e acessível aos pequenos produtores, que em muitos casos, ainda utilizam métodos de produção ultrapassados, como a tração animal.

A cadeia produtiva mais uma vez foi revolucionada pelo uso de práticas mais eficientes: como a automação, big data e IOT a capacidade de interligação entre sistemas eletrônicos, aumentando assim o armazenamento de informações e dados na nuvem (Cavichioli; Silva, 2020). A agricultura de precisão, traz conceitos relacionados a estudos de variabilidade espacial, na aplicação localizada em insumos, corretivos, pesticidas, sementes, levando em conta a variabilidade temporal, permitindo um uso mais racional de insumos, em momentos ideais, com doses mais assertivas, trazendo benefícios socioambientais (Ezenne *et al.*, 2019).

Dentro de uma prática agrícola é necessário obter precisão das informações geradas, deste modo, os SIG's ou sistemas de informações geográficas contemplam



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, que quando integrados, tornam possível um estudo com uma acurácia muito maior, o que permite o produtor obter informações com um nível de detalhe muito maior (Tozi, 2000).

Esta evolução vem sendo tratada como um novo fator de produção, sendo a base do crescimento econômico de muitos países. A transformação digital é uma abordagem onde as TIC's (Tecnologias da informação e comunicação) desempenham um papel fundamental no desenvolvimento da agricultura digital do mundo, buscando aplicações diversificadas e amplas, como o sensoriamento remoto (SR) (Leite; Masshurá; Coral, 2024).

A utilidade do sensoriamento remoto contempla conceitos notáveis para o setor, tornando-se um elo indispensável no uso agrícola e em diversos setores, permitindo gerar informações no momento da semeadura, na emergência das plântulas, nas mensurações de vigor até o final do ciclo da cultura quando atingida a maturidade fisiológica (Shiratsuchi *et al.*, 2014).

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O emprego do sensoriamento remoto em propriedades rurais permite a obtenção de informações de algum objeto físico sem a necessidade do contato para com ele, ou seja, há a possibilidade de obtenção de imagens a longas distâncias. Souza (2022) salienta que o emprego desta ferramenta já acontecia na década de 70, com o lançamento do programa Landsat, satélites que captavam imagens orbitais de alta resolução para a época.

Esta área tem grande potencial de expansão, tanto para produtores que cultivam culturas agrícolas quanto para profissionais do ramo, a utilização de diferentes práticas torna possível a obtenção de informações em quantidade por área muito maior do que em outros métodos de amostragem tradicionalmente conhecidos, permitindo detalhes que geram maior confiabilidade dentro de uma lavoura (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

As formas que estas informações são coletadas variam de acordo com o nível de tecnologia embarcada e a forma que esta ferramenta é aplicada, ou seja, é



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

totalmente dependente de seu nível de aquisição de dados. Estes níveis de aquisição de dados são evidenciados por diversos autores, a exemplo de Steffen (2008), que explica como estas informações se encontram disponíveis nos níveis orbital, suborbital e terrestre.

Na obtenção de dados a nível terrestre destaca-se principalmente o uso de sensores a campo, e o uso de sensores em laboratório. No nível orbital, destaca-se principalmente o uso de satélites, que fornecem em alguns casos imagens gratuitas com uma amplitude de dados. Tais informações podem ser disponibilizadas em diferentes resoluções: espaciais, espectrais, radiométricas e até temporais.

No nível suborbital o emprego de aeronaves é bastante utilizado, destacando-se as aeronaves tripuladas como aviões, balões e as RPAS (Aeronaves remotamente pilotadas) popularmente conhecidas como drones, que trazem grandes vantagens, como a agilidade no processamento e possibilidade de uso associado a outras tecnologias.

Quando comparada com outras plataformas convencionais de imageamento, seu emprego é bastante relevante, possuindo boa autonomia de voo, possibilidade de informações com altas resoluções temporais e espaciais, trazendo notoriedade para a tecnologia. Este rendimento e alta precisão na obtenção de dados por meio destas fotografias aéreas, ajuda na avaliação de genótipos, de danos por efeitos bióticos e abióticos, viabilizando o uso desta tecnologia em larga escala (Franchini *et al.*, 2018).

Deste modo, o uso de sensores na agricultura de precisão facilita de forma significativa o alcance da produtividade agrícola, graças aos desenvolvimentos tecnológicos dos últimos anos, removendo assim barreiras que impediam tal uso (Pajares; Peruzzi; Santos, 2013).

Os sensores são os equipamentos que geram as informações necessárias para avaliação de diversos fenômenos que acontecem na agricultura, Molin, Amaral e Colaço (2015) destacam a empregabilidade diversificada que o uso destes instrumentos, como avaliar a predominância de plantas daninhas em uma área (devido a diferença de arquitetura foliar que a planta pode possuir se diferenciando de plantas de interesse econômico).

A estimativa de produtividade pela biomassa também pode ser realizada com



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

base na diferença de leitura da distância entre o sensor embarcado no drone e o solo, bem como o sensor e o topo do dossel da cultura. A variação desta diferença indica o aumento de crescimento da cultura e consequentemente de biomassa.

Estudos na cultura da cana de açúcar realizados por Martello (2017) trazem afirmações interessantes comparando produção de biomassa e produtividade, obtendo boas correlações dos modelos de altura obtidos nas imagens com drone e dados observados a campo, identificando a variabilidade espacial.

Ao que se trata de sensores remotos, a disponibilidade de sensores permite uma tomada de decisão ampla dependendo da tecnologia disponível no momento do monitoramento. Atualmente, possui-se quatro tipos de sensores principais disponíveis para tal finalidade, sendo as câmeras RGB, os sensores Multi e Hiperespectrais e por fim os sensores térmicos (Senar, 2018).

De acordo com Pereira, Silva e Pamboukian (2017) para gerar estas informações necessita-se de uma fotografia, formando uma imagem refletida pelos elementos do solo, esta obtenção de informações se dá pelos comprimentos de onda que planta e o solo emitem, sendo chamada de Radiação Eletromagnética (REM). Esta REM é vista em um espectro de luz visível que pode ser vista em faixas de cor azul, verde e vermelho.

Após a absorção desta radiação, a planta reflete ondas específicas, que podem ser compiladas a cálculos matemáticos específicos gerando assim índices de vegetação, que possibilitam um monitoramento das plantas, identificando fenômenos que podem surgir de forma negativa desde a semeadura até a colheita (Vieira; Barboza; Tieppo, 2020).

2.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Normalmente os Índices de Vegetação (IV) são avaliados por bandas espectrais, desta forma, a maioria dos IV são avaliados pelo NIR (infravermelho próximo) que permite uma ótima reflectância na sua largura de banda, permitindo uma melhor avaliação de sanidade das plantas (Vieira; Barboza; Tieppo, 2020).

Um dos principais IV que são utilizados na agricultura é o NDVI (índice de



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

vegetação por diferença normalizada). Segundo Carvalho (2021), os valores vistos neste índice variam da escala -1 à escala 1, sendo a escala 0,2 referente a uma vegetação baixa em crescimento, até à uma escala 1 que se refere a uma vegetação muito mais densa e sem solo exposto. Rouse *et al.* (1973) demonstram o NDVI na seguinte equação [$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$]. Sendo assim, a representação do Infravermelho Próximo (NIR) se dá na faixa de 0,76 a 0,90 nm, e o Vermelho (RED) numa faixa de 0.63 a 0.74 nm.

Este índice permite avaliar o dossel das plantas em estágios iniciais e intermediários de desenvolvimento, fornecendo informações sobre o vigor vegetal, o monitoramento de plantas daninhas, a identificação de manchas de fertilidade, entre outros aspectos que podem ser analisados por meio dessa tecnologia ao longo do ciclo das culturas (Carvalho, 2021). Embora amplamente utilizado, o NDVI pode sofrer limitações, como saturação em áreas com vegetação muito densa e sensibilidade à refletância do solo (Vilela, 2023).

O uso deste sensor pode ser usado para avaliação de índices de vegetação, o MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*) proposto por Yang, Willis e Mueller (2008) sendo uma das alternativas em modelos que possuem sensores RGB. Este índice possui grande correlação com o índice NDVI, onde ocorre uma substituição da região infravermelho por uma região de faixa espectral verde (Scherer *et al.* 2023).

Estudos conduzidos por Linhares *et al.* (2014) propõe que o MPRI possui boa representatividade na avaliação de culturas agrícolas, considerando assim um ótimo índice de vegetação. Yang, Willis e Mueller (2008) demonstram que a equação do índice MPRI atua nas regiões espectrais verde (Green (G)) e vermelho (Red (R)) como visto na equação: $MPRI = (Green - Red) / (Green + Red)$. Assim, tanto o NDVI quanto o MPRI apresentam grande potencial no monitoramento agrícola, diferindo principalmente no tipo de sensor necessário, custo de aquisição e robustez da análise.

3 METODOLOGIA

A área onde o experimento foi conduzido localiza-se no município de Mondaí,

Extremo Oeste de Santa Catarina, altitude média é de 235 m acima do nível do mar, clima subtropical úmido (Cfa) de verão quente, segundo a classificação Köppen-Geiger, com temperaturas médias variando de 14,5 a 27°C (Pandolfo; Braga; Silva Júnior, 2002). O solo da região é caracterizado como Cambissolo (Potter *et al.*, 2004).

A área do experimento é utilizada para produção de volumoso para o rebanho leiteiro e também no período entre safra, utilizado com pastejo de plantas de inverno. O delineamento utilizado foi blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos testados envolvem o manejo de nitrogênio na cultura do milho, sendo: (T1; 200 kg de N.ha⁻¹ incorporados na linha de semeadura); (T2: 200 kg de N.ha⁻¹ aplicados em cobertura em estágio fenológico do milho V3 (3 folhas desenvolvidas)); (T3: Testemunha – sem aplicação de nitrogênio).

A adubação de base foi realizada somente com aplicação de Potássio e Fósforo com mistura de Cloreto de Potássio (adubação potássica) e Super Fosfato Triplo (adubação fosfatada). A mistura atendeu a formulação comercial 0-20-20 (20% de potássio e 20% de fósforo) sob uma dosagem de 400 kg.ha⁻¹.

A semeadura ocorreu no dia 14 de setembro, de acordo com o Zoneamento de Risco Agroclimático (ZARC) para a cultura do milho, primeira safra 2025/26 (Brasil, 2025), utilizando um espaçamento de 0,45 m entre linhas e uma população final de aproximadamente 8 plantas por m².

Foram avaliadas a biomassa seca da parte aérea das plantas. As amostras foram coletadas em uma área de 1 m² por parcela e cortadas próximas ao solo, sendo posteriormente secas em estufa de aeração forçada a 65°C, conforme metodologia descrita por Feldmann (2014). A geração do índice MPRI foi realizada por meio da calculadora de campo, seguindo o procedimento proposto por Scherer *et al.* (2023).

Além disso a correlação da altura de voo com os mapas obtidos também foi avaliada buscando visualizar se há diferença em 60 e 120m. E por fim a correlação das formas de aplicação x dados obtidos a campo x avaliação do índice de vegetação buscando analisar se de fato o índice de vegetação MPRI tem relação ou não com os dados obtidos á campo.

Nesse contexto foi avaliado somente o desenvolvimento vegetativo inicial da cultura até o estágio fenológico V10 – V12 (plantas de 10 a 12 folhas abertas



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

completamente) levando em consideração que quando a cultura atingir este porte já estará com 85 a 90% de seu IAF (índice de área foliar) como relatado por Fancelli (2013).

A coleta de dados realizou-se por meio de um drone de modelo DJI AIR 3S. O modelo usado no projeto conta com duas câmeras, sendo uma delas grande angular RGB com sensor CMOS de 1" com 50 MP efetivos, possuindo uma lente FOV de 84° e abertura fixa em f/1.8 (DJI, 2024). O sensor da câmera possui a capacidade de captar informações apenas das faixas do espectro visível: Red (400-500 nm), Green (500-600 nm) e Blue (600-700nm). O planejamento da missão e a obtenção de pontos para captura das imagens aconteceu pelo aplicativo MAP PILOT PRO da empresa Maps Made Easy desenvolvida em 2014 (Easy, 2025).

Os voos foram realizados a partir dos 17 a 20 dias após a emergência da cultura, os mesmos aconteceram em diferentes alturas: 60 m e 120 m sob o experimento, podendo avaliar a correlação da altura com a resolução espacial dos resultados obtidos, sendo que em ambos a sobreposição foi de 80% lateral e 85% frontal, a velocidade será de aproximadamente 7,0 m/s ou 25,2 km/h.

A captação destas imagens aconteceu entre as 11:00 e 13:00, procurando insolação plena. Para obter uma uniformidade de informações, a configuração da câmera foi ajustada manualmente, sendo: ISO 100, shutter speed de 1/800s, White Balance 5700K, proporção da foto de 3:2, formato de foto JPEG, abertura em f/1.8.

Como o estudo requer análise temporal, foi necessário georreferenciar a área do experimento com o uso de RTK, conforme apresentado na Figura 1. Esse equipamento proporciona elevada acurácia na renderização das imagens, evitando distorções durante a geração das informações.

Figura 1 - Georreferenciamento da área experimental.



Fonte: Do autor (2025).

Todo o processo de alinhamento de imagens até a obtenção do ortomosaico aconteceu no aplicativo Agisoft Metashape, da desenvolvedora Agisoft. Já o processamento aconteceu na plataforma QGIS, sendo criados polígonos em cada parcela, possibilitando a extração de informações do índice de vegetação conforme equação: $MPRI = (Green - Red) / (Green + Red)$.

Após obtenção das informações, os valores foram submetidos a análises estatísticas pelo teste de variância ANOVA e submetidos a testes de comparação de médias Tukey, como visto em um experimento semelhante de Scherer *et al.* (2023).

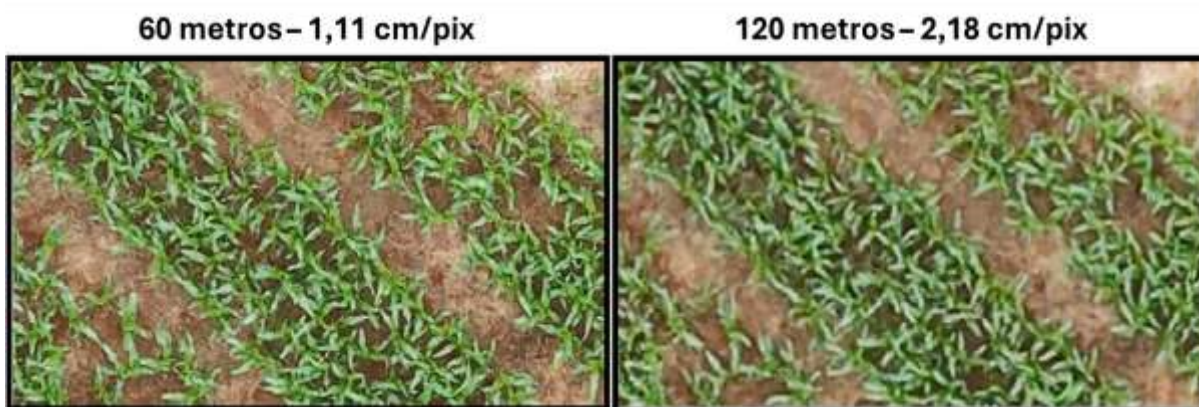
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS DADOS

As informações obtidas nas alturas de voo não tiveram diferenças significativas sugerindo que as alturas de 60 m e 120 m, não tem diferenciação no momento da geração do índice MPRI, apenas na resolução espacial dos produtos obtidos durante

o experimento. Sendo que para altura de 60 m a resolução obtida na geração do ortomosaico foi de 1,11 cm/pix, e na altura de 120 m, uma resolução de 2,18 cm/pix (Figura 2) na média dos quatro voos realizados sob a cultura.

Schadeck, Rosa e Bortolini (2019) testaram diferentes alturas de voo com um VANT (80 m, 100 m e 120 m) para avaliar a influência no índice MPRI e concluíram que a variação da altitude não interfere significativamente na qualidade dos ortomosaicos gerados. Resultados semelhantes também foram observados por Scherer *et al.* (2023), onde não encontraram diferença dos produtos gerados a partir das alturas de 50 m e 120 m. demonstrando que os drones de baixo custo conseguem fornecer dados confiáveis para o monitoramento espectral das culturas agrícolas.

Figura 2 - Resolução espacial em função da altura de cada voo.



Fonte: Do autor (2025).

As amostras de matéria verde (MV) e matéria seca (MS), demonstraram comportamento crescente ao longo das coletas, refletindo o acúmulo natural de biomassa durante seu ciclo vegetativo, o que é coerente com a fisiologia da cultura. Destaca-se que as médias mais elevadas foram observadas na quarta coleta (dia 27/10), onde a cultura já apresentava um crescimento exponencial de matéria seca, como representado na Figura 3.

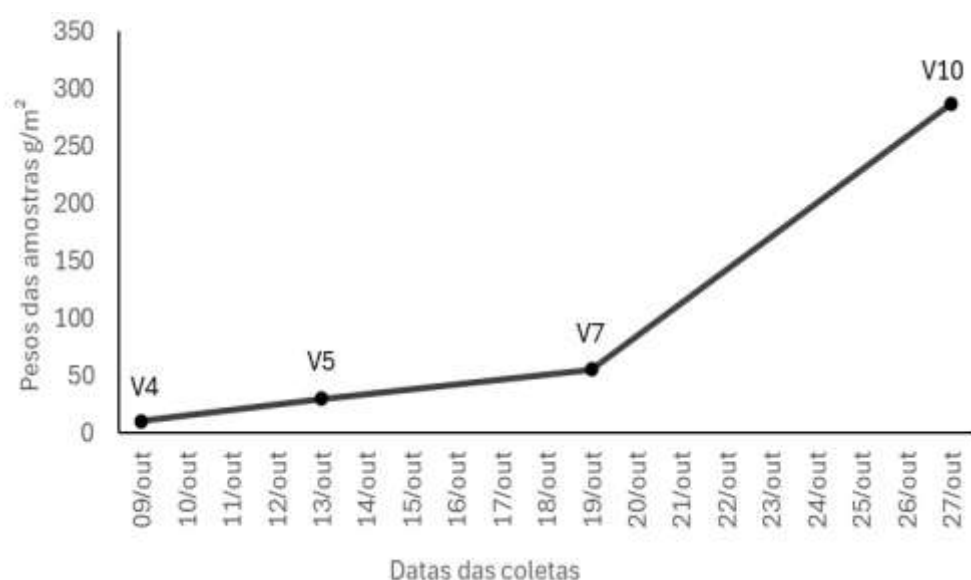


Figura 3 - Acúmulo de biomassa seca da cultura do milho.

Fonte: Do autor (2025).

Embora os tratamentos tenham influenciado o índice de vegetação MPRI, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos avaliados (T1; T2 e T3) para as variáveis agrônômicas (MV e MS), demonstrando que as distintas formas de aplicação do nitrogênio (incorporado e lanço) e até mesmo a ausência do nitrogênio não resultaram em diferenças estatísticas na produção de biomassa durante o período avaliado. Tal uniformidade entre os tratamentos pode ser explicada pelo bom nível de fertilidade do solo (Quadro 1), e principalmente pela boa quantidade de MO (3,3%) que para as condições do local do experimento tem capacidade de fornecer nitrogênio as plantas no início do ciclo, período em que se concentraram as avaliações.

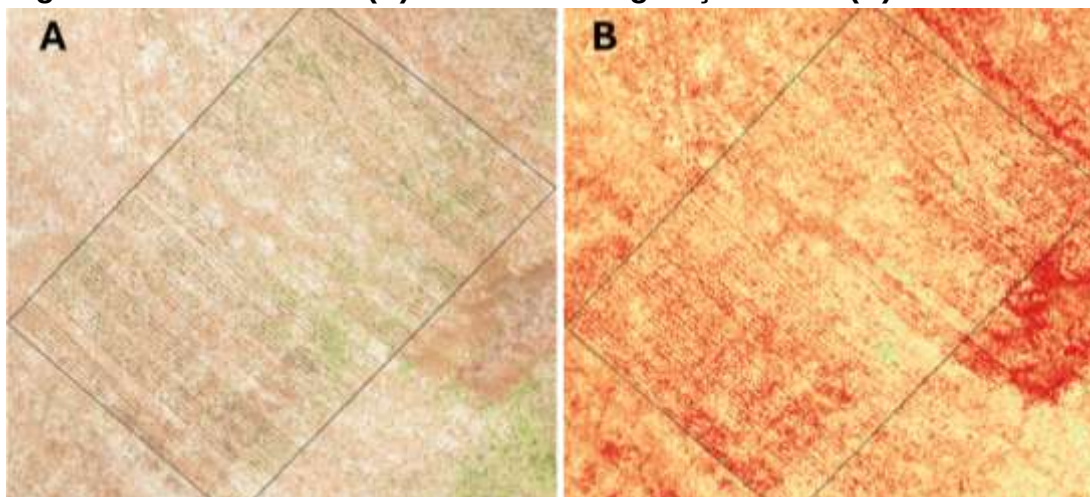
Quadro 1 – Principais características físico-químicas do solo.

Argila (%)	pH (H ₂ O)	P (mg/dm ³)	K (mg/dm ³)	M.O. (%)
32,0	5,1	23,5	328,0	3,3

Fonte: Do autor (2025).

No primeiro voo realizado sobre a cultura (17 DAE), nota-se uma grande influência do solo e da cobertura morta sobre a mesma (coloração vermelha), devido ao porte pequeno da cultura (estádio fenológico V4). Nesta avaliação foi observado um valor médio do MPRI de -0,065 equivalente a biomassa seca média de 9,97 g/m², como visualizado na figura 4 A e 4 B.

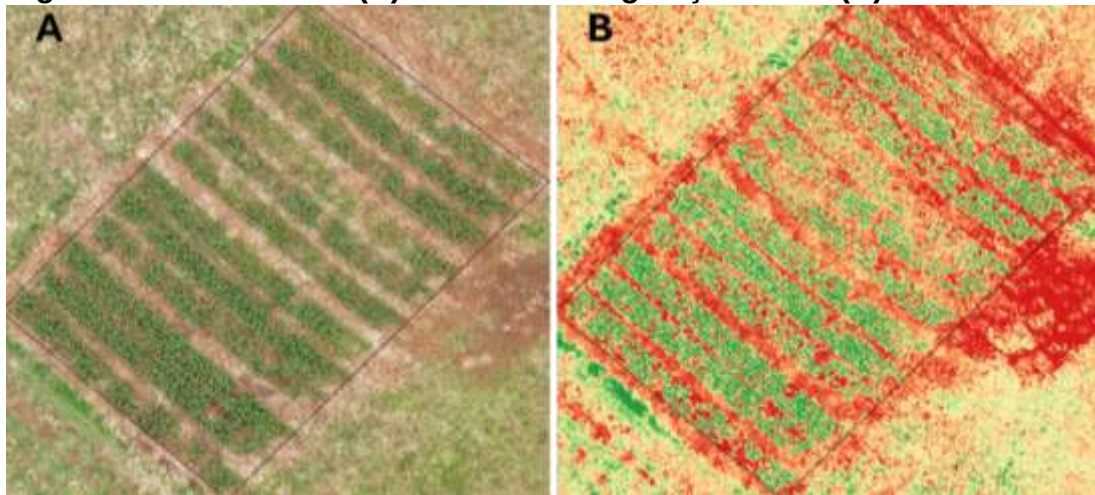
Figura 4 - Ortomosaico (A) e Índice de vegetação MPRI (B).



Fonte: Do autor (2025).

A evolução do índice MPRI é notável durante o ciclo da cultura pois quando comparado com o último voo realizado (36 DAE), já é visível o incremento de biomassa pela cultura, reduzindo de forma significativa a interferência do solo e da cobertura morta no momento da realização do voo. O índice MPRI subiu para -0,006 e a biomassa da matéria seca ficou em 286,98 g/m², como vistos na figura 5 A e 5 B.

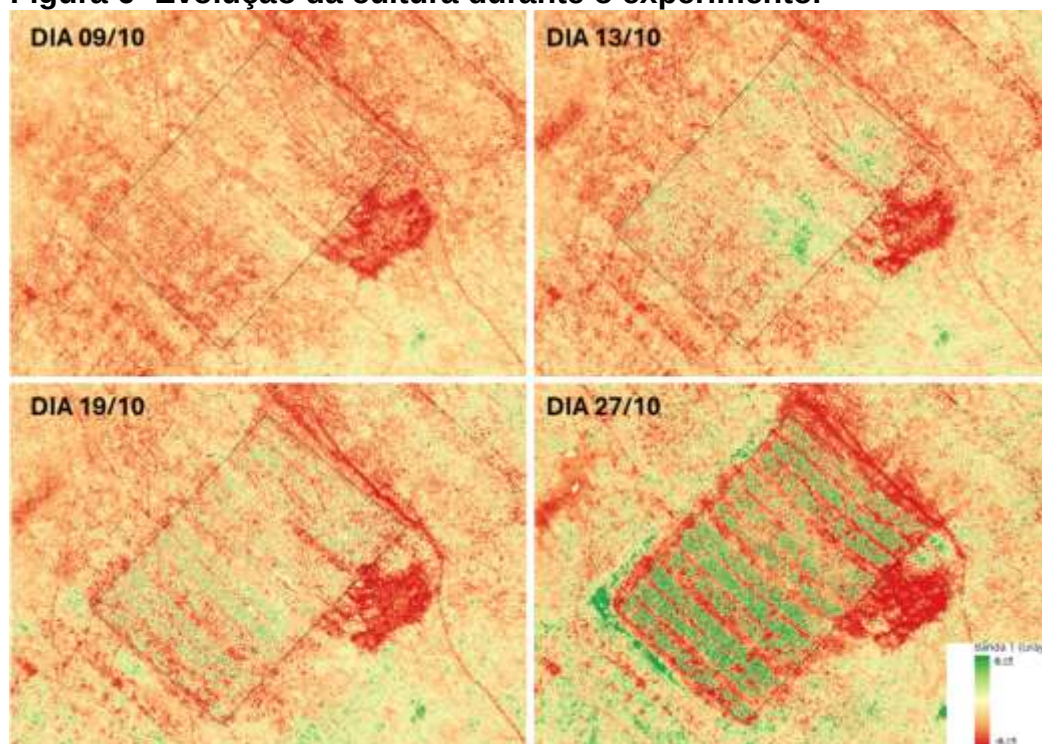
Figura 5- Ortomosaico (A) e Índice de vegetação MPRI (B).



Fonte: Do autor (2025).

Estudos semelhantes são visualizados por Silveira *et al.* (2020), onde os níveis visualizados do índice MPRI nas primeiras medições também demonstraram valores baixos (devido a interferência do solo), entretanto à medida que a planta se desenvolvia os valores também evoluíam. Na figura 6 é possível visualizar um esquema temporal que demonstra a evolução da cultura aplicada ao índice durante o experimento. Outros autores recomendam este índice para avaliações mais detalhadas da interferência do solo e da palhada nas culturas, Pereira (2023) reforça a ideia do emprego deste índice na avaliação da presença de palhada e da interferência do solo durante a captação de informações.

Figura 6- Evolução da cultura durante o experimento.



Fonte: Do autor (2025).

Outros estudos dentro desta metodologia também foram realizados, como o de Gonçalves *et al.* (2017) que explica esta correlação sob um experimento realizado em pastagem (grama São Carlos) observando uma evolução em relação ao DAC da cultura (dias após o corte), demonstrando que neste caso, o uso deste índice apresenta potencial auxílio no controle e manejo em áreas de cultivo de grama.

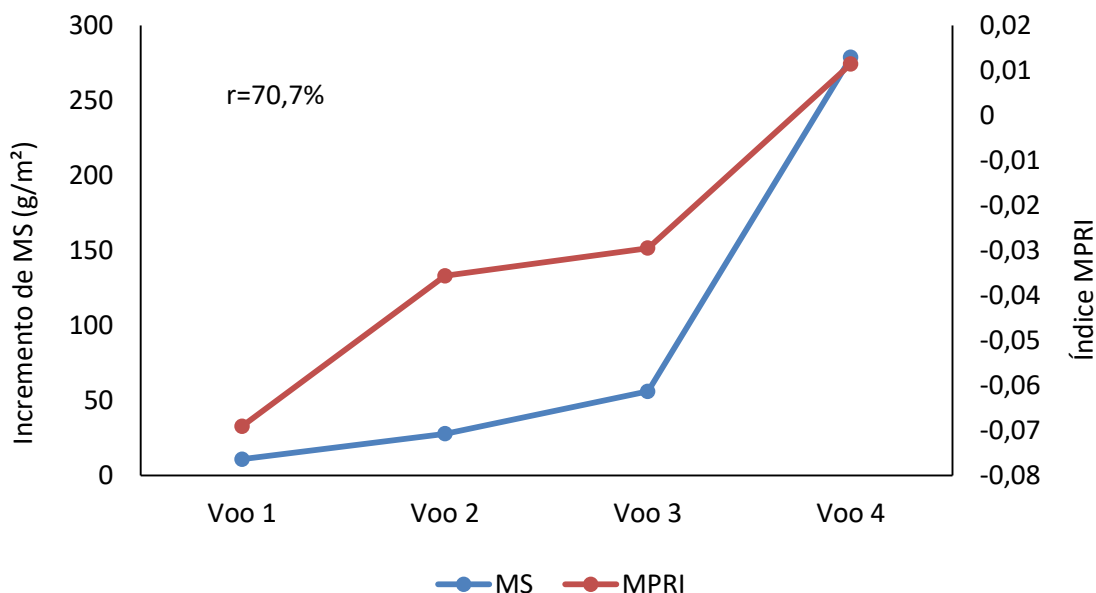
Assim, o MPRI é considerado um dos índices de vegetação mais interessantes para avaliação de diferença de vegetação e a cobertura do solo, proporcionando distinções visuais adequadas como vistas nas figuras 4 B e 5 B. Estudos trazidos por Sampaio *et al.* (2020) comparando índices de vegetação obtidos por imagens aéreas por VANT's e imagens de satélite, obtiveram semelhanças nestas avaliações.

Trabalhos conduzidos por Rosa (2021) avaliando várias culturas também traz resultados significantes para o uso deste índice de vegetação, acompanhamentos realizados na cultura da soja, do trigo e principalmente do milho demonstraram correlações significativas entre produtividade e o emprego do índice.

No estudo realizado por Brandão, Grego e Zonta (2022) no cultivo de algodoeiro, o MPRI mostrou ser um índice funcional para estimar vigor e variabilidade espacial da cultura utilizando apenas imagens RGB de drones, demonstrando capacidade consistente de diferenciar zonas de produção acompanhando o desenvolvimento da lavoura.

Quando comparado a evolução do Índice MPRI com o incremento de MS, é possível verificar uma correlação de 70,7% na média das alturas de voo, conforme pode ser visualizado na Figura 7. Tal resultado comprova que a utilização do índice MPRI pode ser utilizado como uma ferramenta de amostragem em larga escala que tem a capacidade de identificar o desenvolvimento e incremento de biomassa das plantas de milho durante a fase vegetativa.

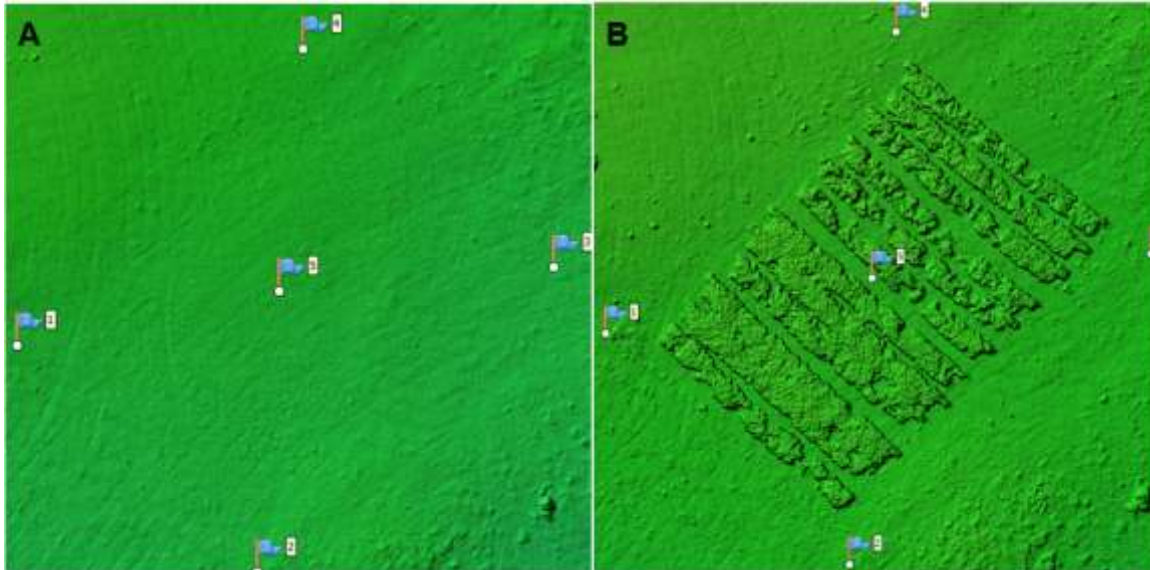
Figura 7- Acúmulo de Biomassa da cultura x Índice MPRI.



Fonte: Do autor (2025).

Esse acúmulo de biomassa pode ser visualizado na diferença de altura obtido pelo modelo digital de elevação (MDE). Na Figura 8 A retrata-se a planta em seu estágio vegetativo inicial com baixo aporte de biomassa (V4), e na figura 8 B, visualiza-se um aporte de biomassa devido ao crescimento da cultura (V10).

Figura 8- Comparativo dos modelos digitais de elevação.



Fonte: Do autor (2025).

No trabalho desenvolvido por Oliveira (2023) a partir de imagens de satélite Sentinel-2, utilizando o índice MPRI para avaliar a variabilidade temporal e espacial da vegetação em um sistema agrossilvipastoril, demonstrou a identificação de diferenças no vigor da vegetação ao longo da área estudada e entre diferentes períodos, evidenciando variações significativas na biomassa e no desenvolvimento da vegetação, indicando que o sistema não era homogêneo no espaço nem ao longo do tempo, tornando este índice uma ferramenta útil na avaliação de sistemas de integração como o agrossilvipastoril.

A fim de comprovar a validação deste índice de vegetação, correlacioná-lo com outros índices disponíveis na agricultura é necessário. Estudos realizados por Vilela (2023) na cultura da soja avaliando infestações de oídio, demonstraram resultados significativos entre os índices, obtendo uma correlação Pearson ($MPRI = 0,76$ e $NDVI = 0,62$), atestando a capacidade de utilizar índices de vegetação por meio de índices RGB, ao invés do uso de sensores multiespectrais.

Quando se fala em monitoramento agrícola, normalmente se associa a sistemas extremamente tecnológicos, imagens de satélites de alta qualidade, drones com câmeras multiespectrais que na maior parte dos casos tem custos elevados por



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

serem mais sofisticados como destacado por Scherer *et al.* (2023). No entanto quando se trata de agricultura familiar, a realidade muitas vezes não é possível o acesso a tecnologias deste padrão, assim drones com sensores convencionais do tipo RGB oferecem qualidade em seus produtos gerados. Reforçando as ideias de Anzar *et al.* (2025) que destacam os benefícios práticos da integração de imagens geradas por estes sensores na agricultura de precisão, demonstrando um ótimo custo/benefício.

5 CONCLUSÃO

As diferentes formas de aplicação de nitrogênio não interferiram significativamente no aporte de biomassa da cultura do milho.

O índice de vegetação MPRI apresentou boa correlação com o desenvolvimento da cultura, capacitando seu uso em propriedades no monitoramento agrícola.

A qualidade dos índices gerados a partir das duas alturas testadas não se diferenciaram entre si, demonstrando que é possível obter produtos com excelentes qualidades tanto em 60 m e 120 m de altura. O uso de sensores convencionais do tipo RGB acoplados em drones de baixo custo, podem ser usados no monitoramento agrícola em pequenas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANZAR, S. M. *et al.* Evaluation of UAV-Based RGB and Multispectral Vegetation Indices for Precision Agriculture in Palm Tree Cultivation. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 48, p. 163-170, 2025.

BRANDAO, Z. N.; GREGO, C. R.; ZONTA, J. H. Estudo de caso 7-imagens aéreas na avaliação do vigor e estimativa de produtividade do algodoeiro na Fazenda Pamplona, Cristalina, GO. In: PASINATO *et al.* **Experimentação on-farm na agricultura de precisão**. p. 97 – 107, Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2022. 154 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1150179>. Acesso em: 1 dez. 2025.



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Portaria SPA/MAPA nº 193, de 23 de maio de 2025. Aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático – ZARC para a cultura do milho 1ª safra no estado de Santa Catarina, ano-safra 2025/2026. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 27 maio 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/santa-catarina/PORTN193MILHO1SAFRASC.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

CARVALHO, S. R. **Índices de vegetação e produtividade de cultivares de trigo submetidas à diferentes épocas de semeadura**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Vacaria, 2021.

CASTANHO, R. B.; TEIXEIRA, M. E. S. A evolução da agricultura no mundo: da gênese até os dias atuais. **Brazilian Geographical Journal**, Ituiutaba, v. 8, n. 1, p. 136–146, 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/50874>. Acesso em: 27 jun. 2025.

CAVICHIOLO, F. A.; SILVA, J. M. P. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. **Revista Interface Tecnológica**, Taquaritinga, SP, v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>. Acesso em: 30 mar. 2025.

CRUZ, R. R.; VELAZCO, C. J. E. Habilidades directivas en la agricultura 5.0. **Revista Científica Ecociencia**, v. 12, n. 1, p. 21–42, 2025. Disponível em: <https://revistas.ecotec.edu.ec/index.php/ecociencia/article/view/994>. Acesso em: 2 out. 2025.

DJI. **DJI Air 3S – Especificações**. DJI, 2024. Disponível em: <https://www.dji.com/br/air-3s/specs>. Acesso em: 30 mai. 2025.

EASY, M. M. **Maps Made Easy - Home**. Disponível em: <https://www.mapsmadeeasy.com/>. Acesso em: 14 out. 2025.

EZENNE, G. I.; JUPP, L.; MANTEL, S. K.; TANNER, J. L. Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 158–164, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418318298>. Acesso em: 30 out. 2025.

FANCELLI, A. L. Cultivo racional e sustentável requer maior conhecimento sobre



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

planta do milho. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – ESALQ. **Visão agrícola: milho**. Piracicaba, p. 20–24, 2013. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/Esalq-VA13-Milho.pdf>. Acesso em: 8 nov. 2025.

FELDMANN, N. A. **Cultivares de trigo submetidas à inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* e à aplicação de nitrogênio em quatro ambientes**. 2014. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/135416>. Acesso em: 30 mai. 2025.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; JORGE, L. A. de C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; GODOY, C. V.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CORRÊA, F. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de. Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja. **Embrapa Soja**, Londrina, 2018. 41 p.

GONÇALVES, L. M.; BARBOSA, B. D. S.; FERRAZ, G. A. S.; MACIEL, D. T.; SANTOS, H. F. D. Variabilidade espacial e temporal do índice vegetação MPRI aplicado às imagens de grama São Carlos obtidas por aeronave remotamente pilotada. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Lavras, v. 11, p. 340–349, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/322092141>. Acesso em: 5 nov. 2025.

LEITE, M. A. A.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; CORAL, K. J. **PL – Agricultura Digital 2024**. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 22 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1166995/1/PL-Agricultura-digital-2024.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.

LINHARES, M. M. A.; AMARAL, B. A. S.; COSTA, A. P.; ROCHA, N. C. C.; CÂNDIDO, L. G. C. Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. São Pedro. 20 p., 2014.

MARTELLO, M. **Estimativa da altura e produtividade da cana de açúcar utilizando imagens por aeronave remotamente pilotada**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-16102017-170204/publico/Mauricio_Martello_versao_revisada.pdf. Acesso em: 12 nov. 2025.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. Agricultura de Precisão. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2015. E-book. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>. Acesso em: 12 out. 2025.



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

OLIVEIRA, G. C.J. **Variabilidade espaço-temporal de índices de vegetação e parâmetros de fertilidade do solo em sistema silvipastoril**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Veterinárias, Jaboticabal, 2023.

PAJARES, G.; PERUZZI, A.; GONZALEZ-DE-SANTOS, P. Sensors in Agriculture and Forestry. **Sensors Basel**, Switzerland, v. 13, n. 9, p. 12132–12139, 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/13/9/12132>. Acesso em: 26 out. 2025.

PANDAY U.; PRATIHAST K. A.; ARYAL J.; KAYASTHA B. R. A review on drone based data solutions for cereal crops. *In: Drones*, v. 4, n. 3, p. 41, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones4030041>. Acesso em: 28 mar. 2025.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-ROM.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, n. 1, 2017. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/9972>. Acesso em: 27 jun. 2025.

PEREIRA, C. **Uso de imagens obtidas por aeronave remotamente pilotada (rpa) no estudo de índices de vegetação, em cultivo de milho (zea mays) consorciado com soja (Glycine max) na produção de silagem**, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, 2023.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. **Solos do estado de Santa Catarina**. 2004.

ROSA, A. H. **Sensoriamento remoto orbital e não orbital no delineamento de zonas de manejo para agricultura de precisão**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2021.

ROUSE, J. W., Jr.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington, D.C. **Proceedings** [...]. NASA, 1974. p. 309–317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2025.

SAMPAIO, H. S.; BOURSCHEIDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. A. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. C. C. Comparison between vegetative indexes obtained by aerial images with unmanned aerial vehicles (UAV) and satellite. **Revista Brasileira**



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

de Engenharia de Biossistemas, v. 14, n. 2, p. 111–124, 2020. Disponível em: <https://seer.cloud.prodb.com.br/BIOENG/article/view/888>. Acesso em: 8 nov. 2025.

SCHADECK, A.; ROSA, H. A.; BORTOLINI, J. Influência da altura de voo no índice MPRI obtido com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). **Revista Cultivando o Saber**, v. 12, n. 4, p. 107–116, 2019.

SCHERER, L. G.; FELDMANN, N. A.; RHODEN, A. C.; GABRIEL, V. J.; MÜHL, F. R.; PAVAN, D. Índice de vegetação baseado no espectro visível para monitoramento de cultivares de trigo submetidas a diferentes doses de nitrogênio. **Revista Inovação: Gestão e Tecnologia no Agronegócio**, Itapiranga, v. 2, p. 227–254, 2023. Disponível em: <http://revistas.uceff.edu.br/inovacao/article/view/245>. Acesso em: 1 mai. 2025.

SENAR. Agricultura de precisão: operação de drones. **Serviço Nacional de Aprendizagem Rural**, Brasília: Senar, 2018. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/249-DRONES.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2025.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. C. *et al.* **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, p. 58–73, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1003275/1/2014cpamtlucianoshi.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2025.

SILVEIRA, G. L. D. *et al.* Estimativa do índice de vegetação na cultura do milho (*Zea mays*) utilizando o índice de refletância fotoquímica modificado (MPRI). In: **Fórum Internacional ECOINOVAR**, v.9, p.13, 2020, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2020. Disponível em: <https://ecoinovar.submissao.com.br/9ecoinovar/anais/arquivos/165.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2025.

SOUZA, F. G. **Agricultura de precisão por sensoriamento remoto: estudo aplicado na fertirrigação de cana-de-açúcar**. 2022. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 2008. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 28 out. 2025.

TOZI, F. A. de. Sistemas de informação geográfica na agricultura. In: BALASTREIRE, L. A. (Ed.). **O Estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. p. 187–192.

VIEIRA, V. A. G. M.; BARBOZA, G. V.; TIEPPO, R. C. Índices de vegetação aplicados à agricultura. **GeoClimaMT**, Tangará da Serra: UNEMAT, v. 5, n. 1, p. 12, 2020.



Revista Inovação, vol. 4, 2025.
ISSN 2764-9199

Disponível em:

https://pesquisa.unemat.br/geoclimamt/upload/boletins/boletim_ivap_v6.pdf. Acesso em: 19 abr. 2025.

VILELA, N. J. D. **Use of aerial imagery and high-throughput phenotyping in soybean crop**. 2023. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/server/api/core/bitstreams/69fe1173-5768-4bf0-9538-b66c1c8e5623/content>. Acesso em: 8 nov. 2025.

VIOLA, E.; MENDES, V. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 25, p. 20, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Bwg7NVTs5kcrK6WRxbqh4LS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2025.

YANG, Z.; WILLIS, P.; MUELLER, R. Impact of band-ratio enhanced AWIFS image to crop classification accuracy. *In: Proc. Pecora – The Future of Land Imaging*, Denver, v. 17, p. 1–11, 2008. Disponível em: <https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/pecora17/0041.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2025.