

USO DE INDICES ESPECTRAIS OBTIDOS POR DRONE PARA MANEJO DE ADUBAÇÃO EM CAFEIEIRO¹

André Luiz de Jesus Dantas², Linisio Gomes Nery Da Silva³, Mauro Vitor Moreira Nascimento⁴, Ana Clara Souza Jardim⁵, Maria Fernanda Almeida Matos⁶, Barbara Louise Pacheco Ramos⁷, Odair Lacerda Lemos⁸.

RESUMO

A cafeicultura é dependente de um manejo eficiente da adubação nitrogenada, uma vez que o N é muito exigido pelo cafeeiro e sua absorção é sensível à disponibilidade hídrica. Nesse contexto, o sensoriamento remoto surge como alternativa para monitorar a resposta fisiológica das plantas, utilizando índices de vegetação, como NDVI e GNDVI, que se correlacionam com o teor de clorofila e, conseqüentemente, Nitrogênio. Porém, tais índices podem ser influenciados por estresse hídrico, dificultando a interpretação dos resultados. O estudo avaliou o impacto de diferentes doses de N sobre cafeeiros, correlacionando-as a índices espectrais obtidos por sensoriamento remoto (NDVI e GNDVI) e a medições diretas de clorofila (Clorofilog), com foco em compreender as respostas fisiológicas da cultura. O experimento foi conduzido entre janeiro e abril de 2025, em área experimental da UESB, Vitória da Conquista, BA, sob clima tropical de altitude. Foram aplicadas cinco doses de N (0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 da recomendação), em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As imagens multiespectrais foram coletadas por drone DJI Mavic 3M, processadas no Pix4D e analisadas no QGIS. Paralelamente, a clorofila foi avaliada em campo com o Clorofilog. Os resultados revelaram que as doses de N aplicadas não foram suficientes para gerar diferenças significativas entre os tratamentos. Valores mais elevados de NDVI foram obtidos nas menores aplicações, comportamento atribuído ao estresse hídrico, que limitou a absorção do nutriente, possivelmente agravado por deficiências pré-existentes em uma área há muito tempo não manejada. Verificou-se tendência de recuperação entre a terceira e a quarta leitura, acompanhada pelo aumento das chuvas. O NDVI elevou-se de 0,4 para 0,58, enquanto o GNDVI passou de 0,1 para 0,33, evidenciando a correlação positiva entre índices espectrais e precipitação. A sensibilidade ao teor de clorofila do GNDVI reforçou que a disponibilidade hídrica foi determinante para o incremento do vigor vegetativo. As medições diretas de clorofila com o Clorofilog registraram aumento progressivo a partir da terceira avaliação, atingindo 73,21 na última leitura, indicando intensificação da atividade fotossintética e validando a resposta observada nos índices de vegetação. Assim, é demonstrado o potencial do sensoriamento remoto no monitoramento da cultura, ressaltando a influência decisiva da disponibilidade hídrica sobre a eficiência da adubação nitrogenada.

¹ Entidade financiadora da pesquisa: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB)

² Estudante de graduação em Engenharia Agrônômica - UESB.

³ Estudante de graduação em Engenharia Agrônômica - UESB.

⁴ Estudante de graduação em Engenharia Agrônômica - UESB.

⁵ Estudante de graduação em Engenharia Agrônômica - UESB.

⁶ Estudante de graduação em Engenharia Agrônômica - UESB.

⁷ Pós-Doutoranda em Agronomia - UESB

⁸ Docente do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos – DEAS/UESB

PALAVRAS-CHAVE: Café, Clorofila, Estresse hídrico, Nitrogênio, Planalto da Conquista, Sensoriamento Remoto.

USE OF SPECTRAL INDEXES OBTAINED BY DRONE FOR FERTILIZATION
MANAGEMENT IN COFFEE TREES

ABSTRACT

Coffee farming is dependent on efficient nitrogen fertilization management, as N is a highly demanded nutrient for the coffee plant and its absorption is sensitive to water availability. In this context, remote sensing emerges as an alternative to monitor the physiological response of plants, using vegetation indices like NDVI and GNDVI, which correlate with chlorophyll content and, consequently, Nitrogen. However, such indices can be influenced by water stress, making it difficult to interpret the results. The study evaluated the impact of different N doses on coffee plants, correlating them with spectral indices obtained by remote sensing (NDVI and GNDVI) and direct chlorophyll measurements (Clorofilog), with a focus on understanding the crop's physiological responses. The experiment was conducted from January to April 2025, in an experimental area of UESB, Vitória da Conquista, BA, under a tropical high-altitude climate. Five N doses (0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 of the recommendation) were applied in a completely randomized design with four replications. Multispectral images were collected by a DJI Mavic 3M drone, processed with Pix4D, and analyzed in QGIS. In parallel, chlorophyll was evaluated in the field with the Clorofilog. The results revealed that the applied N doses were not sufficient to generate significant differences between treatments. Higher NDVI values were obtained in the lower-dose applications, a behavior attributed to water stress, which limited nutrient absorption, possibly aggravated by pre-existing deficiencies in an area that had been unmanaged for a long time. A recovery trend was verified between the third and fourth readings, accompanied by increased rainfall. The NDVI rose from 0.4 to 0.58, while the GNDVI went from 0.1 to 0.33, showing a positive correlation between spectral indices and precipitation. The GNDVI's sensitivity to chlorophyll content reinforced that water availability was decisive for the increase in vegetative vigor. Direct chlorophyll measurements with the Clorofilog registered a progressive increase from the third evaluation, reaching 73.21 in the last reading, indicating an intensification of photosynthetic activity and validating the response observed in the vegetation indices. Thus, the potential of remote sensing for crop monitoring is demonstrated, highlighting the decisive influence of water availability on the efficiency of nitrogen fertilization.

KEYWORDS: Coffee, Chlorophyll, Water stress, Nitrogen, Conquista Plateau, Remote Sensing.

INTRODUÇÃO

A cafeicultura no Planalto da Conquista, responsável por grande parte da produção de café arábica na Bahia, enfrenta desafios de manejo que impactam a produtividade. A adubação nitrogenada é um fator crítico, visto que o nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro e sua deficiência afeta diretamente o crescimento e a atividade fotossintética, porém, sua eficácia é sensível à disponibilidade hídrica, portanto, eventual falta de chuvas pode anular a absorção do N aplicado, tornando a gestão hídrica crucial para o manejo nutricional (MATIELLO, et al. 2024).

O sensoriamento remoto se apresenta como uma ferramenta não destrutiva para otimizar o manejo, permitindo a transição da adubação de taxa fixa para variável. Índices como o NDVI e o GNDVI, obtidos por drones, inferem o vigor vegetativo e o teor de clorofila, que se correlacionam com a concentração de nitrogênio na planta. No entanto, a leitura desses índices pode ser influenciada por múltiplos fatores, como o estresse hídrico, dificultando a diferenciação entre as causas dos problemas na lavoura (SHIRATSUCHI, et al. 2014).

O presente estudo teve como objetivo analisar o impacto de diferentes doses de adubação nitrogenada na cultura do café, correlacionando os resultados com dados de sensoriamento remoto (índices NDVI e GNDVI) e medições diretas de clorofila (Clorofilog), a fim de compreender a dinâmica nutricional e a resposta fisiológica das plantas sob as condições edafoclimáticas do Planalto da Conquista.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido entre janeiro e abril de 2025 em uma área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), localizada em Vitória da Conquista, BA (14°53'12.19"S e 40°47'59.50"W - altitude de 892 metros). O clima local é classificado como tropical de altitude, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos, com temperatura média anual entre 18°C e 22°C e precipitação de aproximadamente 771 mm.

O experimento seguiu um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistiram em diferentes doses de nitrogênio (N), aplicadas nas seguintes proporções da dose calculada: 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0. A adubação foi realizada em duas etapas, com um intervalo de 30 dias entre cada aplicação, seguindo as recomendações de SANTINATO (2019).

Para a coleta de dados, foram empregados dois métodos. Para o sensoriamento remoto, uma aeronave remotamente pilotada (ARP), modelo quadricóptero DJI Mavic 3M, equipada com uma câmera multiespectral, foi utilizada para a obtenção de imagens. Posteriormente, as imagens foram processadas no software Pix4D para gerar um ortomosaico. Este foi então exportado para o programa Quantum GIS, que foi utilizado para a obtenção dos índices de vegetação NDVI e GNDVI.

Além da avaliação com o sensor multiespectral, a clorofila das plantas de café também foi medida diretamente no campo. Para isso, utilizou-se o aparelho Clorofilog para obter a clorofila diretamente de ramos plagiotrópicos previamente marcados. Foram realizadas cinco avaliações durante o período experimental.

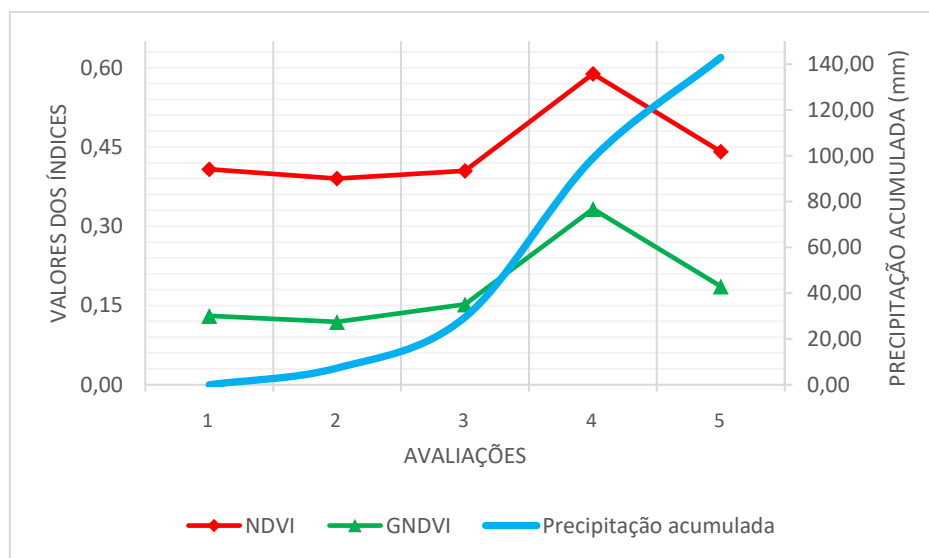
A análise estatística dos dados foi conduzida utilizando o programa SISVAR. As médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Tukey, considerando um nível de significância de 5% ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o comportamento do NDVI, observou-se que as doses de nitrogênio (N) aplicadas foram insuficientes para expressar diferenças significativas entre os tratamentos. Estudos indicam uma forte correlação positiva entre o índice e o teor de N foliar (NIȚU, et al., 2025), no entanto, observou-se que os tratamentos com menores doses de N, como a testemunha, apresentaram valores mais elevados em comparação com as doses mais altas. Este resultado pode ser atribuído ao estresse hídrico que as plantas enfrentavam, pois este é um fator limitante para absorção de Nitrogênio (SANTINATO, 2019), possivelmente agravado por deficiências nutricionais pré-existentes, principalmente por se tratar de uma área há muito tempo não manejada.

Apesar da falta de resposta à fertilização, houve uma tendência de melhora dos índices entre a terceira e a quarta leitura, diretamente relacionada ao aumento do volume de chuvas (Figura 1). O NDVI, que estava próximo de 0,4, subiu para 0,58 na quarta leitura, corroborando a correlação positiva entre o índice e a precipitação. O GNDVI seguiu um padrão similar, saltando de 0,1 para 0,33 na quarta avaliação (Figura 1). Por ser mais preciso na medição do teor de clorofila, o GNDVI reforça que as chuvas foram o fator principal a impulsionar a saúde das plantas (LI, 2023).

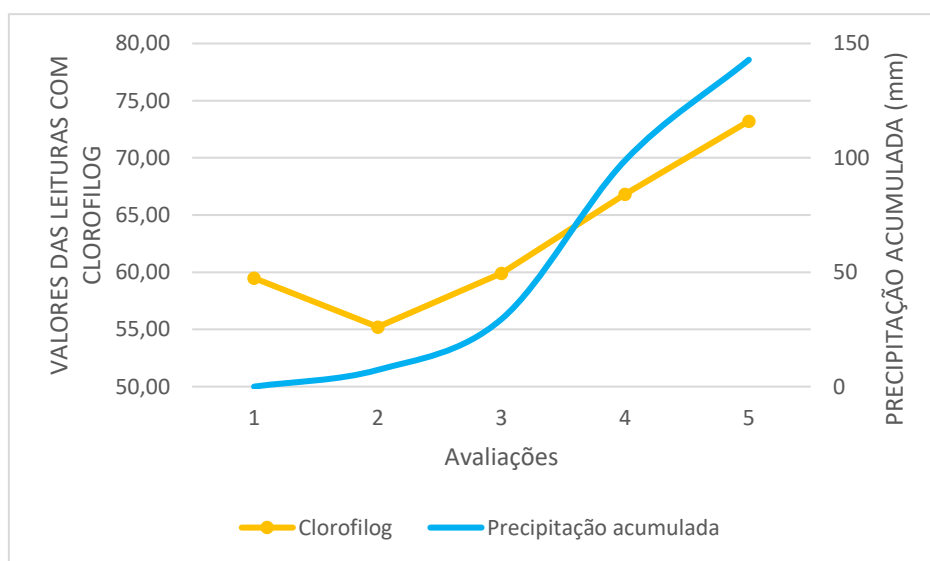
Figura 1. Precipitação acumulada e comportamento dos índices NDVI e GNDVI ao longo das avaliações do experimento.



Fonte: Autores, 2025.

O aumento da concentração de clorofila, indicado pelos índices de vegetação e correlacionado com o maior volume de chuvas, foi confirmado pelas medições diretas em campo (Figura 2). O medidor de clorofila portátil Clorofilog registrou um aumento significativo nos níveis a partir da terceira avaliação, atingindo um pico de 73,21 na última leitura. Esse resultado valida que a atividade fotossintética da planta aumentou, corroborando as observações obtidas por sensoriamento remoto.

Figura 2. Precipitação acumulada e leituras com Clorofilog ao longo das avaliações do experimento.



Fonte: Autores, 2025.

CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES

As análises espectrais conduzidas no estudo demonstraram uma forte correlação positiva entre os índices de vegetação (NDVI e GNDVI) e o volume de precipitação. Essa relação foi corroborada pelas medições de clorofila realizadas em campo com o Clorofilog, validando a capacidade da tecnologia de sensoriamento remoto de monitorar com precisão o estado fisiológico da lavoura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Li, W; Wang, K; Han, G; Wang, H; Tan, N; Yan, Z. Integrated diagnosis and time-series sensitivity evaluation of nutrient deficiencies in medicinal plant (*Ligusticum chuanxiong* Hort.) based on UAV multispectral sensors. *Front Plant Sci.* 2023, Jan, 10;13:1092610. doi: 10.3389/fpls.2022.1092610.
2. MATIELLO, J. E. et al. Manual de recomendações. 11. ed. Varginha, MG: Fundação Procafé, 2024. 798 p.
3. NIȚU, A; FLOREA, C; IVANOVICI, M; RACOVITEANU, A. NDVI and Beyond: Vegetation Indices as Features for Crop Recognition and Segmentation in Hyperspectral Data. *Sensors (Basel)*. 2025, Jun, 18; 25(12):3817. doi: 10.3390/s25123817.
4. SANTINATO, Roberto; SANTINATO, Felipe. Cultura do cafeeiro. Composição química do cafeeiro, extração e exportação de nutrientes. 1. ed. Campinas, SP: Do autor, 2020. 379 p. In.: SANTINATO, Felipe et al. A moderna cafeicultura brasileira: tecnologias que afetam a produtividade. Jaboticabal: Funep, 2022. 565 p.
5. SHIRATSUCHI, L. S. et al. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C. et al. (ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.