

Estimativa de produtividade de silagem de milho por meio de imagem NDVI

Estimation of corn silage productivity using ndvi image

MURIEL CARDOSO ROSA
Discente de Agronomia (UNIPAM)
murielcr95@gmail.com

RODRIGO MENDES DE OLIVEIRA
Professor orientador (UNIPAM)
rodrigomo@unipam.edu.br

Resumo: O objetivo deste estudo foi avaliar a relação entre os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a produtividade da cultura do milho para silagem. O experimento foi conduzido na Escola Agrotécnica Afonso de Queiroz, durante a safra agrícola de 2024/2025. Utilizaram-se imagens do satélite Sentinel-2, obtidas em dezembro de 2024, com os tratamentos definidos por diferentes níveis de NDVI (0,60; 0,65; 0,70; 0,74; 0,74; 0,83). Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A estimativa da produtividade foi realizada no estágio fenológico R5 das plantas. Os dados foram submetidos à análise de variância e ajustados por modelos de regressão. Os resultados indicaram um coeficiente de determinação próximo de 0,78, porém sem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Conclui-se que o NDVI apresenta potencial como ferramenta para o estudo da variabilidade espacial, embora sua correlação com a produtividade do milho para silagem ainda necessite de investigações mais aprofundadas.

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

Abstract: The objective of this study was to evaluate the relationship between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values and the yield of corn crops for silage. The experiment was conducted at the Afonso de Queiroz Agricultural School during the 2024/2025 growing season. Satellite images from Sentinel-2, obtained in December 2024, were used, with treatments defined by different NDVI levels (0.60; 0.65; 0.70; 0.74; 0.74; 0.83). A randomized block design with four replications was adopted. Yield estimation was performed at the R5 phenological stage of the plants. Data were subjected to analysis of variance and fitted to regression models. The results indicated a coefficient of determination close to 0.78, but no statistically significant differences were found among treatments. It is concluded that NDVI shows potential as a tool for studying spatial variability, although its correlation with corn silage yield still requires further investigation.

Keywords: precision agriculture; vegetation index; remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

Segundo os autores Ortiz *et al.* (2025), o milho é um dos cereais mais cultivados e consumidos no mundo, devido principalmente ao seu alto valor nutritivo e à elevada produtividade, assumindo, assim, grande relevância social e econômica. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção de milho na safra 2024/2025 no Brasil foi de 122.760,3 mil toneladas, com 21.143,8 mil hectares de área plantada e produtividade média de 5.495 kg/ha (CONAB, 2025).

A crescente demanda por alimentos, impulsionada pelo aumento populacional, tem exigido maior eficiência na produção agrícola, tornando o uso de ferramentas e tecnologias um importante aliado do produtor rural para garantir altas produtividades. A Agricultura de Precisão (AP) teve seu desenvolvimento inicial vinculado, sobretudo, ao georreferenciamento de dados nas lavouras, por meio de tecnologias como o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Com o avanço tecnológico, consolidou-se o conceito de AP como a gestão agrícola baseada em informações detalhadas, que considera a variabilidade espacial e temporal de atributos específicos da lavoura (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

Dentro dos temas abordados na AP, destaca-se o sensoriamento remoto (SR), técnica que consiste na obtenção de informações por meio de sensores que não mantêm contato direto com o objeto analisado, utilizando imagens georreferenciadas (Molin; Amaral; Colaço, 2015). Na AP, o SR é comumente aplicado por meio de sensores multiespectrais, os quais permitem inferir a densidade da cobertura vegetal. Essa aplicação baseia-se no princípio de que cada material possui comportamentos distintos de absorção e reflexão em diferentes faixas do espectro eletromagnético, possibilitando a associação desses dados a características fisiológicas das plantas, como área foliar e acúmulo de biomassa (Molin; Amaral; Colaço, 2015).

De acordo com Lima, Cunha e Oliveira (2023), programas computacionais são empregados no processamento dessas imagens, e, por meio de equações matemáticas, são gerados os Índices de Vegetação (IV), os quais variam conforme o parâmetro de interesse, como a estimativa de teor de clorofila ou a eficiência da fotossíntese. Dentre os IVs disponíveis, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), amplamente utilizado em estudos voltados à avaliação nutricional das plantas, à correlação com estádios fenológicos e à estimativa da produtividade agrícola (Shiratsuchi *et al.*, 2014).

Diversos estudos têm evidenciado a relação entre Índices de Vegetação (IV) e a produtividade de culturas agrícolas. Vian *et al.* (2018) demonstraram correlação significativa entre os valores de NDVI obtidos em diferentes estádios fenológicos e a produtividade das parcelas. Bredemeier *et al.* (2013), por sua vez, utilizaram valores de NDVI capturados por sensor óptico ativo para estimar a produtividade de distintas cultivares de trigo em variados estádios de desenvolvimento, obtendo correlações estatisticamente relevantes. Embora o NDVI apresente forte correlação com a produtividade de determinadas culturas, ainda são escassos os estudos que abordam sua aplicação na estimativa da produção de milho para silagem. Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo relacionar os valores do Índice de Vegetação por

Diferença Normalizada (NDVI) com classes de potencial produtivo do milho destinado à produção de silagem.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Escola Estadual Agrotécnica Afonso Queiroz, situada no município de Patos de Minas – MG, nas coordenadas geográficas 18°36'32" S de latitude e 46°29'10" O de longitude, no período compreendido entre novembro de 2024 e fevereiro de 2025. A área experimental correspondeu a um talhão destinado ao cultivo de milho para silagem, totalizando 14,50 hectares. O clima local é classificado como Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado como tropical com estação seca no inverno, apresentando temperatura média no mês mais frio superior a 18 °C e precipitação anual variando entre 750 mm e 1800 mm. A cultura implantada foi o milho híbrido Pioneer 4285, com densidade populacional de 70.000 plantas por hectare e espaçamento de 0,50 m entre linhas. A adubação de base consistiu na aplicação de 300 kg ha⁻¹ de MAP no plantio, enquanto a adubação de cobertura foi realizada no estágio fenológico V4, com 400 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado NPK 30-00-20.

Os tratamentos foram organizados segundo o delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos (Tabela 1) distribuídos em quatro blocos, totalizando 20 parcelas experimentais. Os blocos foram constituídos por faixas de terra com área total de 1.575,00 m² cada. A área de cada parcela correspondeu a 5 m², sendo considerada como área útil as duas linhas centrais da parcela, com 1 metro de comprimento, totalizando 2 m² por unidade experimental.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos. Patos de Minas - MG, 2025

Tratamentos	NDVI
T ₁	0,60
T ₂	0,65
T ₃	0,70
T ₄	0,74
T ₅	0,83

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Os níveis de NDVI foram determinados conforme a metodologia descrita por Lima, Cunha e Oliveira (2023). Para isso, utilizou-se uma imagem obtida por meio da plataforma Sentinel Hub, proveniente do satélite Sentinel-2. A imagem selecionada corresponde à segunda semana de dezembro de 2024, período em que as plantas de milho estavam no estágio fenológico V4.

O NDVI foi calculado por meio da Equação 1, em que R_{NIR} representa a refletância no infravermelho próximo e R_R a refletância no vermelho. Foram utilizadas, respectivamente, as bandas 8 (infravermelho próximo) e 4 (vermelho) do satélite. O processamento e o tratamento das imagens foram realizados no software QGIS, versão 3.16.3.

$$\text{Equação 1 - NDVI} = \frac{(R_{NIR} - R_R)}{(R_{NIR} + R_R)}$$

A imagem gerada no formato NDVI foi composta por pixels com resolução espacial de 30×30 metros. Após a geração do mapa, foram selecionados os pontos correspondentes a cada tratamento dentro dos blocos experimentais. As coordenadas desses pontos foram extraídas e inseridas em um receptor GPS Garmin eTrex 10. Por meio do recurso de navegação por satélite do equipamento, foi possível localizar com precisão cada ponto para a realização da amostragem em campo.

A avaliação final foi realizada no mês de fevereiro, quando as plantas de milho encontravam-se no estágio fenológico V4. A estimativa de produtividade de cada parcela foi obtida por meio da contagem do número de plantas presentes na área útil (2 m^2). Em seguida, as plantas foram coletadas, sendo cortadas a 30 cm do solo com o auxílio de uma foice e uma trena para aferição da altura de corte. As plantas foram então fragmentadas em porções menores e acondicionadas em sacos devidamente identificados.

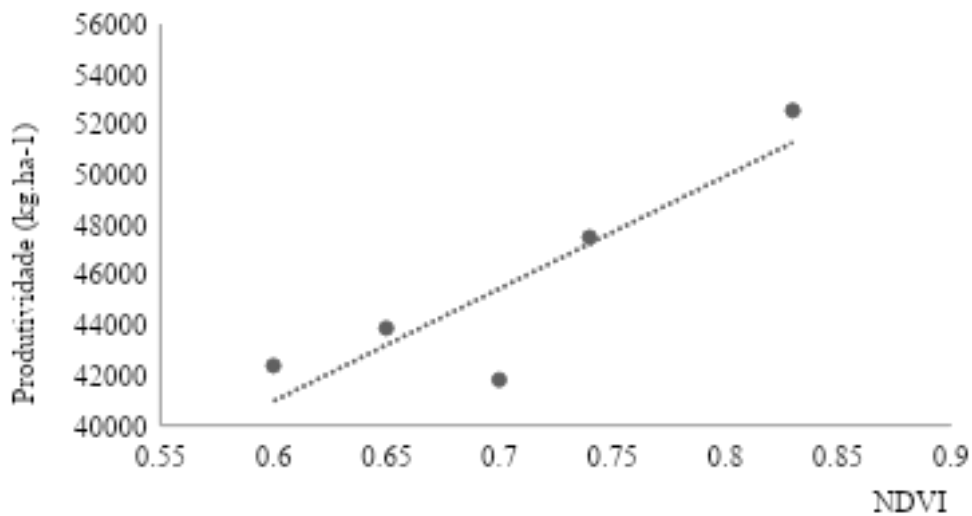
Posteriormente, o material foi pesado com o auxílio de uma balança mecânica, obtendo-se o peso da matéria verde. A estimativa de produtividade foi então extrapolada para uma área de 10.000 m^2 , e os resultados foram expressos em quilos por hectare (kg. ha^{-1}).

Os dados de produtividade foram organizados em planilhas e submetidos à análise de variância (ANOVA) por meio do software Sisvar® (FERREIRA, 2011). Para verificar a significância estatística dos efeitos dos tratamentos, aplicou-se o teste F com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). Além disso, foram realizados ajustes por regressão, com o objetivo de identificar o modelo matemático que melhor representasse a relação entre os níveis de NDVI e a produtividade do milho para silagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de produtividade dos pontos georreferenciados, comparados aos respectivos valores de NDVI obtidos em 9 de dezembro de 2024, são apresentados na Figura 1. Observa-se uma boa aproximação dos valores quando submetidos à análise de regressão linear, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,78, indicando uma tendência positiva entre as variáveis. Contudo, ao serem submetidos à análise de variância (ANOVA), os resultados não apresentaram significância estatística ($p > 0,05$), não permitindo afirmar, com rigor estatístico, a existência de uma correlação consistente entre as variáveis avaliadas.

Figura 1: Produtividade dos tratamentos em relação aos valores de NDVI
Patos de Minas - MG, 2025



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, observa-se uma variabilidade espacial na produtividade do milho para silagem nos pontos amostrados, com tendência de aumento da produtividade à medida que os valores de NDVI se elevam. Essa variação representa, aproximadamente, um incremento de 24% na produtividade quando se comparam os valores de NDVI iguais a 0,60 e 0,85. No entanto, para o NDVI de valor 0,70, foi verificada uma queda na produtividade em relação aos demais. Esse comportamento pode estar associado à presença de plantas daninhas nas parcelas correspondentes a esse índice, as quais podem ter contribuído para o aumento do valor de NDVI, interferindo no desenvolvimento das plantas de milho.

Segundo os autores Huete *et al.* (2002), o NDVI detecta a presença de clorofila e outros pigmentos relacionados à absorção da radiação solar na banda do vermelho. No presente estudo, essa detecção não distinguiu as plantas de milho das plantas daninhas, o que pode ter provocado um aumento artificial nos valores de NDVI nas parcelas com índice 0,70, sem refletir, de fato, uma condição favorável à cultura.

Os autores Matias, Streeck e Aguilar (2015) também verificaram maiores produtividades em áreas com elevados valores de NDVI, observando um incremento aproximado de 3,72%. De modo semelhante, Vian *et al.* (2018) constataram que áreas com maiores valores de NDVI apresentaram produtividades superiores na cultura do milho para grão. Segundo os referidos autores, a variação nos valores de produtividade pode estar relacionada a fatores como população e crescimento das plantas, estado nutricional, incidência de pragas, ocorrência de doenças e presença de plantas daninhas.

Trabalhando com estimativa de produtividade de sorgo por meio de imagem NDVI os autores Lima, Cunha e Oliveira (2023) observaram um aumento na produtividade associado a maiores índices de NDVI; contudo, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Os autores sugerem que esse efeito pode ter sido

influenciado pela matocompetição nos pontos amostrados. De acordo com Rossi *et al.* (1996), a presença de plantas infestantes reduz a produtividade da cultura devido à competição por recursos, fenômeno constatado nas parcelas com índice de NDVI igual a 0,70 no presente estudo.

Segundo Raupp e Rosa (2024), o NDVI tem se mostrado um bom indicador do vigor vegetativo das plantas, sendo utilizado para monitoramento e acompanhamento de lavouras. Para Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) e Ferreira *et al.* (2024), esse índice destaca-se pela capacidade de avaliar o vigor das plantas, possibilitando intervenções mais precisas em momentos críticos. Ainda assim, são escassos os estudos que exploram essa tecnologia, o que evidencia a necessidade de novas pesquisas sobre o tema.

4 CONCLUSÃO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) demonstrou ser uma ferramenta promissora para o estudo da variabilidade espacial do milho destinado à produção de silagem. No entanto, a correlação entre esse índice e o potencial produtivo da cultura ainda requer aprofundamento por meio de novos estudos, a fim de se obter resultados mais assertivos.

REFERÊNCIAS

- BREDEMEIER, C. *et al.* Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, jul, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013005000080>.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Portal de Informações Agrícolas**: Safra – Série Histórica dos Grãos. 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, W. B. *et al.* Comparação de três diferentes sensores espectrais na produção de NDVI e NDRE para Agricultura de Precisão. **Ciência Agrícola**, v. 22, p. 1-6, 2024. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/18461>.
- HUETE, A. R. *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).

LIMA, A. H.; CUNHA, L. P.; OLIVEIRA, R. M. Acompanhamento temporal e estimativa de produtividade de sorgo por meio de imagem NDVI. **Revista Cerrado Agrocências**, v. 14, p. 56-64, 2023. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrocencias/article/view/5150>.

MATIAS, J. F. G.; STRECK, L. AGUILAR, D. D. Geração de mapas de produtividade de milho (*Zea mays*) com índice de vegetação NDVI de imagens Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: SBSR, 2015. p. 157-162.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 224 p.

ORTIZ, S. *et al.* Análise de crescimento em genótipos de milho para produção de silagem e grãos. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 1, p. e13513, 2025. DOI: 10.54033/cadpedv22n1-189.

PONZONI, J., SHIMABUKURO, Y. E., KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RAUPP, S. M.; ROSA, H. A. Análise da correlação entre parâmetros produtivos da soja e índices de vegetação obtidos com imagens do satélite Sentinel-2. **Revista Cultivando o Saber**, Edição Especial, 2024. p. 64-77.

ROSSI, I. H. *et al.* Interferência das plantas daninhas sobre algumas características agrônômicas e a produtividade de sete cultivares de milho. **Planta Daninha**, v. 14, n. 2, p. 134-148, 1996. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-83581996000200007>.

SHIRATSUCHI *et al.* Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: EMBRAPA. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Cubo, 2014. cap. 4. p. 58-73.

VIAN, A. L. *et al.* Limites críticos de NDVI para estimativa do potencial produtivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 1, p. 91-100. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/256545>.