ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE SOJA POR SENSORIAMENTO REMOTO NA MICRORREGIÃO DE CHAPADINHA, MARANHÃO, BRASIL

Janine Quadros Castro [1], Andreza Maciel de Sousa [1], Matheus Silva Oliveira [2], Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior[2], Cyntia Airagna Fortes dos Santos[3], Vitória Katarina Grobner[3], Alexandre dos Santos da Silva[3], Edmilson Igor[4] Bernardo Almeida, Nítalo André Farias Machado[5] e Washington da Silva Sousa [5]

[1]Mestrandas em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Maranhão, janine.quadros@discente.ufma.br; andreza.maciel@discente.ufma.br; [2]Mestrandos em Ciências Animal pela Universidade Federal do Maranhão, matheus.so@discente.ufma.br; ados.junior@discente.ufma.br; [3]Graduando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão, alexandre.santos@discente.ufma.br; [3]Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, vitoria.katarina@discente.ufma.br; [3]Graduada em Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, cyntia.airagna@discente.ufma.br; [4]Professor adjunto do curso de Agronomia pela Universidade Federal do Maranhão, edmilson.igor@ufma.br; [5]Professor adjunto do curso de Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão, nitalo.farias@ufma.br; washington.sousa@ufma.br

RESUMO

A produção de soja na microrregião de Chapadinha, Maranhão, tem crescido, consolidando a área como uma nova fronteira agrícola. Este estudo aplicou técnicas de sensoriamento remoto para mapear a variabilidade espacial das lavouras de soja e relacioná-la com a produtividade na safra 2023/2024. Fatores como época de plantio, espaçamento e nutrientes influenciam diretamente a produção. Usando imagens do satélite PlanetScope, processadas no software QGIS, foram calculados os índices de vegetação NDVI, NDRE e SAVI, com destaque para o NDRE, que mostrou maior eficácia na detecção de mudanças na vegetação. A modelagem com Random Forest identificou a clorofila total como variável essencial para a previsão de produtividade, destacando a densidade de plantas e o manejo agrícola. A combinação de dados espectrais e agronômicos forneceu uma base sólida para o manejo e previsão da produtividade, evidenciando a eficácia do sensoriamento remoto e da agricultura digital na gestão otimizada das lavouras de soja.

Palavras-chave — Manejo Agrícola, Variabilidade Espacial, *Random Forest*, *Glycine Max*, Agricultura Digital.

ABSTRACT

Soy production in the Chapadinha microregion, Maranhão, has been growing, establishing the area as a new agricultural frontier. This study applied remote sensing techniques to map the spatial variability of soybean fields and relate it to productivity in the 2023/2024 season. Factors such as planting timing, spacing, and nutrient availability directly influence production. Using PlanetScope satellite images processed with QGIS software, vegetation indices (NDVI, NDRE, and SAVI) were calculated, with NDRE showing the highest effectiveness in detecting vegetation changes. Random Forest modeling identified total chlorophyll as an essential variable for productivity forecasting, highlighting plant density and agricultural management. The combination of spectral and agronomic data provided a solid basis for management and productivity forecasting, demonstrating the effectiveness of remote sensing and digital agriculture in optimizing soybean crop management.

Key words — *Agricultural management, Spatial variability, Random Forest, Glycine Max, Digital agriculture.*

1. INTRODUÇÃO

A soja, uma planta herbácea da família Fabaceae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max* (L.) Merril, é uma cultura anual com ciclo de 70 a 200 dias, dependendo da variedade. A sua produtividade está ligada diretamente a fatores como época de plantio, espaçamento, fotoperíodo e disponibilidade de nutrientes [2]. O crescimento da soja no Brasil como cultura agrícola se dá em grande parte por conta dos avanços tecnológicos, como a implementação do sensoriamento remoto e agricultura digital, ferramentas que auxiliaram no desenvolvimento da produtividade no campo [5].

A safra de grãos de 2023/2024, aponta que a produção de grãos no país poderá atingir um total de 294,1 milhões de toneladas, 8% a menos do que foi obtido na safra passada, ou seja 25,7 milhões de toneladas a menos a serem colhidas. Em 2023, a produtividade média caiu de 4.072 kg/ha para 3.744 kg/ha [1].

A estimativa da produtividade média de um talhão não identifica a variabilidade espacial existente, levando ao aproveitamento insuficiente do potencial produtivo e à aplicação ineficaz de insumos. A agricultura digital busca abordar essas diferenças, otimizando a gestão por meio de tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento, que permitem aprimorar os processos produtivos das lavouras agrícolas [3].

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o uso de técnicas de sensoriamento remoto, por meio de índices de vegetação obtidos de imagens do satélite PlanetScope, para analisar a variabilidade e a produtividade da cultura da soja ao longo do ciclo produtivo em uma lavoura na Microrregião de Chapadinha, Maranhão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi conduzido em uma lavoura comercial de soja, localizada no município de Mata Roma, Leste do estado do Maranhão, Brasil, entre os meses de novembro de 2023 e maio de 2024. O clima do município é caracterizado por uma média anual de temperatura de 27,3 °C e precipitação de 1678,52 mm [4]. A região apresenta um balanço hídrico com períodos alternados de excedente e déficit hídrico ao longo do ano.

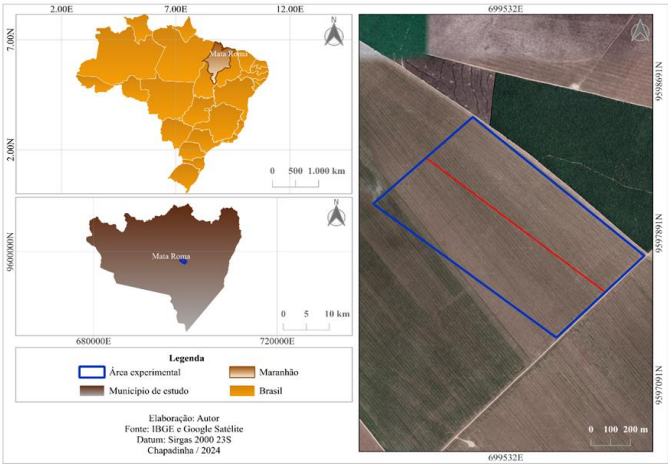


Figura 1. Mapa de localização do município de Mata Roma

2.1 Aquisição e processamento das imagens de satélite

Foram obtidas imagens do satélite *PlanetScope*, que passaram por etapas de processamento e análise utilizando o software QGIS® (Quantum GIS). A Tabela 1 apresenta os índices de vegetação, calculados a partir das diferentes bandas espectrais.

Tabela 1. Índices de vegetação (IVs) a serem utilizados para as imagens de satélite.

IV	ID	Equação	Referência
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$	(Rouse et al., 1976)
Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	$\frac{(1.5) \cdot (NIR - Red)}{(0.5 + NIR + Red)}$	(Huete, 1988)
Normalized Difference Red-Edge	NDRE	$\frac{(Nir - RedEdge)}{(Nir + RedEdge)}$	(Filzgerald et al,. 2010)

Os índices de vegetação foram calculados através da calculadora raster e geraram mapas renderizados em "banda simples falsa-cor". Os valores foram extraídos utilizando-se a ferramenta "amostrar valores do raster", e exportados para análise na planilha eletrônica, seguidos pela criação de *BoxPlots* para visualizar a distribuição dos índices, incluindo quartis, mínimos, máximos e outliers.

3. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta as imagens capturadas pelo satélite PlanetScope, incluindo RGB (imagem visível) e os índices de vegetação (NDVI, NDRE e SAVI) em três momentos distintos do desenvolvimento da cultura da soja.

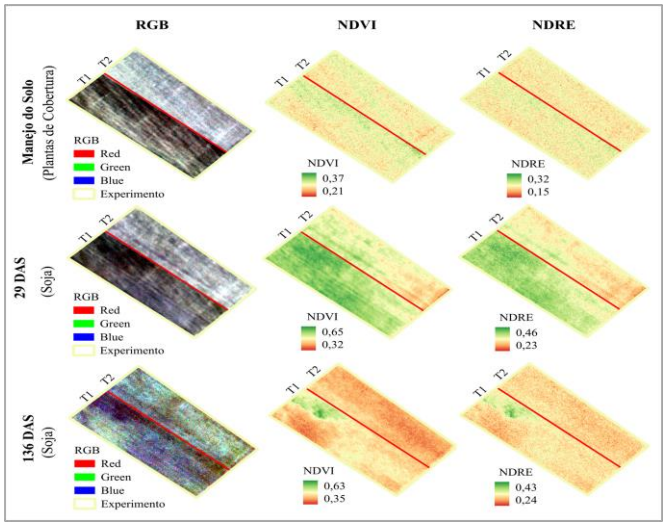


Figura 2. Imagens RGB e índices de vegetação (NDVI, NDRE, SAVI) em diferentes estágios da soja e de plantas de cobertura.

A primeira imagem mostra apenas as plantas de cobertura, enquanto as duas seguintes exibem a soja em diferentes estágios, com 29 e 136 dias após o plantio. As áreas de vegetação aparecem em verde e o solo exposto em tons de laranja, facilitando a distinção entre as diferentes condições do campo.

A Figura 3 mostra diagramas de caixa (*BoxPlot*) que ilustram a evolução dos índices de vegetação (NDVI, NDRE e SAVI) ao longo do desenvolvimento da soja.

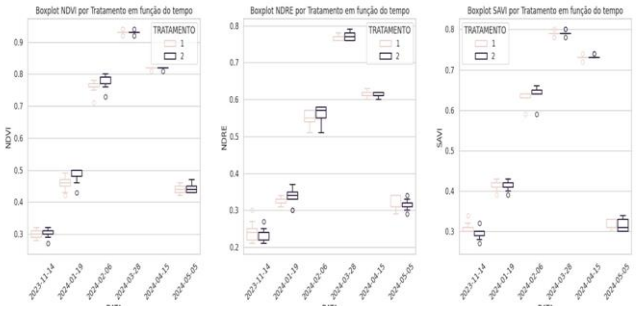


Figura 3. BoxPlots de NDVI, NDRE e SAVI comparando tratamentos ao longo do tempo.

Os índices aumentam gradualmente, atingem o pico em março e depois diminuem na fase de maturação. NDVI e SAVI saturam em estágios avançados, enquanto o NDRE mantém variabilidade, indicando maior eficácia para detectar mudanças sutis em alta biomassa.

Para estimar a produtividade da soja, utilizou-se um modelo de regressão Random Forest, considerando as variáveis coletadas em campo. A Tabela 2 destaca a importância de cada variável, sendo a clorofila total a mais relevante, seguida pela população de plantas, tratamento, NDRE, SAVI e NDVI.

Tabela 2. Grau de importância de cada grandeza para estimativa do modelo

Variáveis	Importância
Clorofila total	0.715538
População (pl ha-¹)	0.130362
NDRE	0.031245
SAVI	0.019574
NDVI	0.010649

Essas variáveis e índices auxiliam na avaliação do vigor da soja ao longo do ciclo de desenvolvimento, fornecendo subsídios para prever o potencial produtivo da cultura.

4. DISCUSSÃO

Os resultados das imagens de satélite e dos índices de vegetação obtidos demonstram a importância do monitoramento contínuo da cultura para entender sua variabilidade espacial e temporal.

A complexidade do ambiente agrícola dificulta a separação de fatores bióticos e abióticos que interferem na precisão de dados do desenvolvimento da planta [6]. No entanto, o uso de sensoriamento remoto para avaliar esses fatores permite identificar padrões e tomar decisões mais informadas no manejo da cultura.

Os índices de vegetação, como NDVI, NDRE e SAVI, mostraram comportamentos distintos ao longo do ciclo de desenvolvimento da soja. O NDVI e o SAVI apresentaram sinais de saturação em fases avançadas, limitando sua capacidade de distinguir variações na biomassa em estágios de alta densidade. Em contrapartida, o NDRE continuou apresentando variabilidade em todas as fases, o que sugere sua utilidade em acompanhar o desenvolvimento da cultura mesmo em condições de alta biomassa, sendo uma ferramenta mais eficaz para diferenciar variações sutis durante essas etapas.

Além disso, a modelagem de regressão utilizando o modelo de Machine Learning Random Forest reforçou a importância da clorofila total como um indicador-chave para prever o desempenho da soja, seguido pela densidade populacional de plantas e pelos índices de vegetação. Isso evidencia que, além dos índices derivados das imagens de satélite, outros fatores agronômicos, como a densidade populacional e o manejo adotado, têm um papel significativo na produtividade final da cultura.

5. CONCLUSÕES

O estudo explorou o uso de técnicas de sensoriamento remoto e análise de índice de vegetação para compreender a variabilidade e temporal da sojicultura e sua relação com a produtividade. As informações obtidas das imagens pelo satélite PlanetScope combinadas com índices NDVI, NDRE e SAVI foram suficientes para o acompanhamento durante o ciclo da cultura. Com melhor desempenho, o NDRE apresentou maior eficiência, com dados constantes ao longo do tempo.

A aplicação de modelos de regressão e Random Forest revelaram a importância dessas variáveis agronômicas para previsão da produtividade da soja. Desse modo, os resultados mostraram que uma abordagem integrada para monitoramento agrícola, unindo índices espectrais e agronômicos oferecem suporte mais completo para o manejo de lavouras.

6. REFERÊNCIAS

[1] CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. 2024. Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas. Disponível em: https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas. Acesso em: 27 outubro 2024.

[2] E. D. C. Costa. Epidemiologia comparativa de mancha alvo da soja no Cerrado brasileiro. 74f. Dissertation. (Programa de Pós-graduação em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

[3] FERNANDES, Pablo et al. Determinação da Produtividade de Soja por Sensoriamento Remoto em Nível de Talhão. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2009-2015.

[4] L. E. de O. Aparecido, K. C. de. Meneses, P. A. Lorençone, J. A. Lorençone, J. R. da S. Cabral de Morais, e G. de S Rolim, Climate classification by Thornthwaite (1948) humidity index in future scenarios for Maranhão State, Brazil. *Environment, Development and Sustainability*, 25, pp.855-878, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10668-021-02082-9

[5] R. G. Andrade, L. E. Vicente, A. H. de C. Teixeira, J. F. Leivas, D. de C. Victoria, S. Roggia, and J. C. Franchini. Uso do sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja. In A. C. de C. Bernardi, J. de M. Naime, A. V. de Resende, L. H. Bassoi, and R. Y. Inamasu (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, DF: Embrapa, pp. 239-245, 2014. Disponível em:

http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1002454. Acesso: 28 de outubro de 2024

[6] Y. Zhang, Q. Liu, J. Li, X. Wang, S. Chen, H. Zhou, and T. Zhang. Integration of bare soil and crop growth remote sensing data to improve the accuracy of soil organic matter mapping in black soil areas. *Soil and Tillage Research*, 244, pp. 106269, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106269.