

## PREDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA SOB DIFERENTES MANEJOS DO SOLO E ROTAÇÃO DE CULTURAS ATRAVÉS DA ESPECTROSCOPIA DE REFLECTÂNCIA

AMANDA SILVEIRA REIS <sup>1</sup>, MARCOS RAFAEL NANNI <sup>2</sup>, MARLON RODRIGUES <sup>3</sup>, GLAUCIO LEBOSO ALEMPARTE ABRANTES DOS SANTOS <sup>4</sup>, RENATO HERRIG FURLANETTO <sup>5</sup>, KARYM MAYARA DE OLIVEIRA <sup>6</sup>

<sup>1</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora, Profª Adjunta, Depto. de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, UEM, Maringá/PR, asreis@uem.br.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Doutor, Depto. de Agronomia, UEM, Maringá/PR

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Instituto Federal do Paraná, IFPR, União da Vitória/PR.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor, UEM, Maringá/PR.

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor, Universidade da Flórida, UF-GCREC.

<sup>6</sup> Engenheira Agrônoma, Doutora, UEM, Maringá/PR

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** O conhecimento prévio da produtividade da cultura da soja torna-se importante para a tomada de decisão por parte do produtor. O objetivo do trabalho foi elaborar um modelo preditivo de rendimento da cultura utilizando reflectância foliar hiperespectral e regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR). O experimento foi conduzido na fazenda experimental da COAMO, em Campo Mourão, Paraná. Os dados foram coletados na safra 2019/2020 e analisados seguindo o delineamento experimental em blocos ao acaso, com doze tratamentos e quatro repetições. Foram coletadas informações espectrais através do FieldSpec 3 Jr, nos estádios V5, V6, V7, R2, R5, R6 e R7. A PLSR foi utilizada para estabelecer os modelos espectrais de produtividade da soja com base em sua reflectância foliar. Os modelos espectrais obtidos apresentaram de baixa a média acurácia na predição da produtividade da soja. O estádio R7 de desenvolvimento obteve os melhores resultados, com valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,50, RMSE de 222,85 kg ha<sup>-1</sup> e RPD de 1,60. Esses resultados podem contribuir com pesquisas futuras relacionadas à predição da produtividade da soja com o manejo do solo e diferentes condições de rotação de culturas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Assinatura espectral, estatística multivariada, rotação de culturas

## PREDICTION OF SOYBEAN PRODUCTIVITY UNDER DIFFERENT SOIL MANAGEMENT AND CROP ROTATION USING REFLECTANCE SPECTROSCOPY

**ABSTRACT:** Prior knowledge of soybean crop productivity becomes important for decision-making by the producer. The objective of the work was to develop a predictive model of crop yield using hyperspectral leaf reflectance and partial least squares regression (PLSR). The experiment was conducted at the COAMO experimental farm, in Campo Mourão, Paraná. Data were collected in the 2019/2020 harvest and analyzed following the experimental design in randomized blocks, with twelve treatments and four replications. Spectral information was collected using FieldSpec 3 Jr, at stages V5, V6, V7, R2, R5, R6 and R7. PLSR was used to establish spectral models of soybean productivity based on leaf reflectance. The spectral

models obtained showed low to medium accuracy in predicting soybean productivity. The R7 development stage obtained the best results, with coefficient of determination ( $R^2$ ) values of 0.50, RMSE of 222.85 kg ha<sup>-1</sup> and RPD of 1.60. These results can contribute to future research related to the prediction of soybean productivity with soil management and different crop rotation conditions.

**KEYWORDS:** Spectral signature, multivariate statistic, crop rotation.

**INTRODUÇÃO:** O Brasil está entre os maiores produtores mundiais de soja. Por ser uma das culturas agrícolas de maior expressão no país e com papel fundamental na economia nacional, a busca por tecnologias que visem o cultivo da soja sem o aumento da área de plantio vem crescendo. Dessa maneira, há necessidade do monitoramento constante das áreas antes da colheita. Nesse sentido, o sensoriamento remoto (SR) se apresenta como uma dessas tecnologias, oferecendo informações importantes sobre a cultura de maneira rápida e não destrutiva. Com a obtenção dos dados espectrais da planta e/ou dossel é possível obter parâmetros capazes de prever a produtividade da soja. Essa linha de pesquisa tem sido reportada por diversos autores (SAKAMOTO, 2020; ZHANG et al., 2019). Assim, o objetivo desse trabalho foi elaborar um modelo preditivo de rendimento da cultura da soja utilizando reflectância foliar hiperespectral e regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido na COAMO Cooperativa Agroindustrial, na cidade de Campo Mourão, Paraná, na safra 2019/2020. A área total do experimento possui 1,55 ha (310 m x 50 m) sendo cada parcela com 180 m<sup>2</sup> (30 m x 6 m). Os dados foram coletados e analisado seguindo o delineamento experimental de blocos ao acaso, com doze tratamentos e quatro repetições. A coleta das curvas espectrais da soja ocorreu utilizando o espectrorradiômetro FieldSpec 3 Jr, com resolução espectral de 3 nm na faixa entre 350 a 1400 nm; e 30 nm na faixa de 1400 a 2500 nm (ASD, 2008). As configurações do software, coleta e armazenamento de dados foram realizadas por um computador ligado ao sensor por um cabo de rede (Figura 1).



FIGURA 1. Sistema operacional em campo com FieldSpec 3 Jr.

As leituras são feitas nas porções do visível e do infravermelho próximo (VisNIR), posicionando o lado adaxial da folha de frente para o sensor de leitura, sobre um fundo negro e opaco. Para padronizar as avaliações, buscou-se sempre a folha central do terceiro trifólio totalmente expandido do ápice para a base. Para melhorar a representatividade das leituras, foram coletados dados espectrais de cinco plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela experimental, sendo que cada coleta espectral é resultado de outras 20 leituras realizadas internamente pelo sensor, garantindo maior confiabilidade aos resultados obtidos. Os estádios avaliados foram V5, V6, V7, R2, R5, R6 e R7, entre 9 e 11 horas da manhã. Os valores de

reflectância foram separados nas bandas vermelho, verde, azul e infravermelho próximo, o que permite a normalização dos dados obtidos com consequente eliminação de possíveis ruídos. Após o processamento das curvas espectrais, realizou-se as análises estatísticas para todos os estádios avaliados. Foi elaborado o modelo de predição a partir de seus dados de reflectância foliar, utilizando a PLSR ( $p \leq 0,05$ ) por meio do software The Unscrambler X 10.3. Na construção do modelo, 48 amostras foram divididas aleatoriamente em dois conjuntos: calibração (contendo 70% dos dados – 34 amostras), usadas para desenvolver o modelo PLSR, e validação externa (contendo os 30% restantes dos dados – 14 amostras), usadas para testar o modelo PLSR desenvolvido. A avaliação da capacidade preditiva do modelo PLSR foi analisada com base no  $R^2$ , RMSE e Bias obtidos na fase de calibração e validação cruzada, além do RPD da fase de predição.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após a análise do teste de média das produtividades da soja, foi realizado a PLSR utilizando os dados de reflectância das curvas espectrais para obter modelos preditivos de produtividade. Os valores de produtividade da safra de soja 2019/2020 e os dados de reflectância da folha da soja da mesma safra foram utilizados para elaborar o modelo. Foram analisadas todas as datas de avaliação, mas apenas os estádios V7, R2 e R7 apresentaram dados coerentes (Tabela 1).

TABELA 1. Parâmetros estatísticos do modelo PLSR para estimativa de produtividade em diferentes estádios fenológicos na cultura da soja.

Estádio*	Etapa PLSR	$R^2$	RMSE (kg ha <sup>-1</sup> )	SE (kg ha <sup>-1</sup> )	Bias	RPD
V7	Calibração	0,47	262,86	266,93	0	
	Validação	0,09	355,86	361,35	-4,99	
	Predição	0,16	300,85	309,81	-37,29	1,14
R2	Calibração	0,61	190,92	193,98	0	
	Validação	0,17	290,16	296,08	-5,95	
	Predição	0,19	405,24	419,90	22,23	0,84
R7	Calibração	0,62	226,45	229,96	0	
	Validação	0,15	329,75	336,05	-22,69	
	Predição	0,50	222,85	222,55	60,63	1,60

\*Estádios da soja que foi realizado o modelo PLSR para estimativa de produtividade.  $R^2$ : Coeficiente de determinação; RMSE: raiz quadrada do erro médio; SE: erro padrão; Bias: erro sistemático; RPD: desempenho do modelo (razão entre desvio padrão e erro na fase da predição).

Com base na Tabela 1, em todos os estádios analisados, a maior precisão na previsão do rendimento de grãos foi encontrada na fase de calibração. Consequentemente, o RMSE da validação foi maior do que os valores obtidos na etapa de calibração. O menor valor de  $R^2$  foi observado em V7 nas três fases (0,47 para calibração, 0,09 para validação e 0,16 para predição). Nesse estádio, o RMSEp (300,85 kg ha<sup>-1</sup>) foi menor comparado ao estádio R2 (405,24 kg ha<sup>-1</sup>) e maior comparado ao R7 (222,85 kg ha<sup>-1</sup>). Ao analisar os estádios reprodutivos nota-se que os valores de  $R^2$  das fases de calibração e validação foram muito próximos, sobressaindo o estádio R7 na fase de predição (0,50). Esse estádio de desenvolvimento se caracteriza pelo início da maturação. Em seu trabalho, Crusiol et al. (2021) relataram que a acurácia da predição da produtividade de grãos da soja aumentou até o estádio R5 de desenvolvimento e diminuiu conforme à maturação da cultura. Para o parâmetro RMSE, o estádio R2 apresentou menor erro nas fases de calibração (190,92 kg ha<sup>-1</sup>) e validação (290,16 kg ha<sup>-1</sup>). Enquanto que na fase de predição, R7 obteve menor valor, com 222,85 kg ha<sup>-1</sup>. Resultados encontrados nesse estudo corroboram com outros

pesquisadores utilizando a PLSR para produtividade em diferentes culturas (ANCIN-MURGUZUR et al., 2019); SHAIBU E ADNAN, 2015) encontraram valores altos de  $R^2$  (0,99) e baixos de RMSE (17,73 kg ha<sup>-1</sup>). Para avaliar a qualidade de desempenho do modelo foi aplicado o parâmetro RPD, que possui três escalas, sendo bom, valores acima de 2; médio, entre 1,5 a 2; e abaixo de 1,5 é considerado modelo ruim (D'ACQUI, PUCCI E JANIK, 2010). Os estádios V7 e R2 se mostraram ruins quanto à essa escala, e o estágio R7 teve uma precisão média em relação à estimativa de produtividade. Apesar dos resultados não terem atingidos parâmetro ótimos para a predição de rendimento da soja, nota-se que o estágio mais avançado da cultura permitiu prever rendimentos da produtividade da soja com menor valor de erro (222,85 kg ha<sup>-1</sup>) que os demais estádios, além de apresentar uma precisão média (RPD = 1,60).

**CONCLUSÕES:** O estágio R7 de desenvolvimento apresentou maior acurácia para predição de produtividade, com  $R^2$  de 0,50, RMSE de 222,85 kg ha<sup>-1</sup> e RPD de 1,60. Embora tal estágio ser caracterizado pelo início da maturação, esses resultados podem contribuir com pesquisas futuras relacionadas à predição da produtividade da soja com o manejo do solo e diferentes condições de rotação de culturas.

**AGRADECIMENTOS:** A COAMO Cooperativa Agroindustrial pela disponibilidade da área experimental e por todo auxílio prestado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de pós-doutorado junior.

#### **REFERÊNCIAS:**

ANCIN-MURGUZUR, F. et al. Yield Estimates by a Two-Step Approach Using Hyperspectral Methods in Grasslands at High Latitudes. **Remote Sensing**, v. 11, n. 4, p. 400, 2019.

CRUSIOL, T. et al. Yield Prediction in Soybean Crop Grown under Different Levels of Water Availability Using Reflectance Spectroscopy and Partial Least Squares Regression. **Remote Sensing**, v. 13, n. 5, p. 1-21, 2021.

D'ACQUI, L. P.; PUCCI, A.; JANIK, L. J. Soil properties prediction of western Mediterranean islands with similar climatic environments by means of mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy. **European Journal of Soil Science**, v. 61, n. 6, p. 865–876, 2010.

SAKAMOTO, T. Incorporating environmental variables into a MODIS-based crop yield estimation method for United States corn and soybeans through the use of a random forest regression algorithm. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 160, p. 208–228, 2020.

SHAIBU, A. S.; ADNAN, A. A. Predicting grain yield of maize using drought tolerance traits. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 33, p. 3332–3337, 2015.

ZHANG, X. et al. Establishment of Plot-Yield Prediction Models in Soybean Breeding Programs Using UAV-Based Hyperspectral Remote Sensing. **Remote Sensing**, v. 11, n. 23, p. 2752, 2019.