

ÍNDICES ESPECTRAIS NA ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO DO FEIJÃO-COMUM

ANDERSON PRATES COELHO ¹, GUILHERME APARECIDO TICHONINK ²,
VITOR CARVALHO AIDAR ³, ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA ⁴, ALEXANDRE
BARCELLOS DALRI ⁵, EDUARDO PINHEIRO DE FREITAS ⁶

¹ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Departamento de Engenharia, Unesp/FCAV, Jaboticabal - SP, anderson.coelho@unesp.br

² Graduando em Eng. Agrônômica, Unesp/FCAV, Jaboticabal - SP.

³ Graduando em Eng. Agrônômica, Unesp/FCAV, Jaboticabal - SP.

⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Departamento de Engenharia, Unesp/FCAV, Jaboticabal - SP.

⁵ Eng. Agrícola, Prof. Dr. Departamento de Engenharia, Unesp/FCAV, Jaboticabal - SP.

⁶ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. Instituto Federal de São Paulo - IFSP, Barretos - SP.

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

RESUMO: Uma das alternativas mais avançadas para a otimização de uso da água na agricultura é a irrigação em taxa variável. Entretanto, esta técnica necessita de trabalhos para abalzar as recomendações de manejo. Objetivou-se estimar o coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-comum a partir do índice de vegetação NDVI, índice de clorofila foliar (ICF) e da fração de cobertura do solo (FC) obtida por aplicativo mobile e verificar o índice que promoveu a maior precisão. O experimento foi realizado em Jaboticabal/SP, entre maio e setembro de 2023. Foram definidas dez parcelas na área experimental (irrigação uniforme) cultivada com feijão-comum cv. IPR Campos Gerais para a determinação semanal dos índices espectrais NDVI, FC e ICF. Os valores médios dos índices em cada avaliação foram associados aos valores dos coeficientes de cultivo para o ajuste dos modelos de estimativa. Estimou-se com elevada precisão o Kc do feijão-comum a partir dos índices espectrais, especialmente a partir do NDVI e FC. A precisão de estimativa a partir do NDVI foi de 83%, enquanto para a FC foi de 91%. Esses resultados demonstram a possibilidade do uso de técnicas digitais no manejo de irrigação em taxa variável para o feijão-comum.

PALAVRAS-CHAVE: índice de clorofila, fração de cobertura, NDVI

SPECTRAL INDICES IN COMMON BEAN CROP COEFFICIENT ESTIMATION

ABSTRACT: One of the most advanced alternatives for optimizing water use in agriculture is variable rate irrigation. However, this technique requires studies to support management recommendations. The aim was to estimate common bean crop coefficient (Kc) based on the NDVI vegetation index, leaf chlorophyll index (LCI) and soil cover fraction (CV) obtained by mobile app and verify the index that promoted the greatest precision. The experiment was carried out in Jaboticabal/SP, between May and September 2023. Ten plots were defined in the experimental area (uniform irrigation) cultivated with common bean cv. IPR Campos Gerais for weekly determination of the NDVI, CV and LCI spectral indices. The average values of the indices in each evaluation were associated with crop coefficients values to adjust the estimation models. It was possible to estimate common bean Kc with high precision from the spectral indices, especially from the NDVI and CV. The estimation accuracy from NDVI was 83%, while for CV it was 91%. These results demonstrate the possibility of using digital techniques in variable rate irrigation management for common bean.

KEYWORDS: chlorophyll index, cover fraction, NDVI

INTRODUÇÃO: A agricultura irrigada compreende 20% da área cultivada no mundo, entretanto, a sua produção representa 40% do total (UNESCO, 2021). Como a demanda de água potável tem aumentado nos últimos anos, várias estratégias têm sido empregadas e estudadas para aumentar a eficiência de uso da água na agricultura irrigada. Incipientemente, com o advento da agricultura 4.0, estratégias como a irrigação em taxa variável têm sido empregadas para otimizar o uso de água na agricultura (BARKER et al., 2018; MENDES et al., 2019). Esse manejo se baseia na identificação de variabilidades existentes dentro dos talhões, promovendo variações no crescimento das plantas e, conseqüentemente, na demanda hídrica. O coeficiente de cultivo (K_c) é um índice que representa a relação entre a evapotranspiração da cultura de interesse pela evapotranspiração de uma cultura padrão (ALLEN et al., 1998). A sua determinação em campo é realizada por equipamentos, denominados de lisímetros. Como esse tipo de determinação do K_c *in situ* promove elevado custo e requer mão-de-obra especializada, existem valores de K_c tabelados para o manejo de irrigação das diversas culturas (ALLEN et al., 1998). Pensando em estratégias para determinar a variabilidade espacial da demanda hídrica para fins de manejo de irrigação em taxa variável, a estimativa do K_c a partir de técnicas de agricultura digital, como os índices espectrais NDVI, fração de cobertura do solo e índice de clorofila, são ferramentas promissoras. O objetivo deste trabalho é estimar o coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-comum a partir do índice de vegetação NDVI, índice de clorofila foliar e da fração de cobertura do solo obtida por aplicativo mobile e verificar o índice que promoveu a maior acurácia de estimativa.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido em Jaboticabal/SP, que apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical de inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C. A temperatura média anual da região é de 22°C, com precipitação anual normal de 1.425 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, com textura argilosa (~500 g kg⁻¹ de argila na camada 0,00-0,20 m). A semeadura do feijão-comum foi realizada no final de maio de 2023, correspondendo a safra de inverno da cultura. Foi utilizada a cultivar IPR Campos Gerais, caracterizada por apresentar grãos do grupo comercial ‘Carioca’, ciclo normal/médio (90 dias) e crescimento indeterminado (Tipo II). A semeadura foi realizada mecanicamente, utilizando uma semeadora/adubadora, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, visando obter população de 240.000 plantas ha⁻¹. As adubações de semeadura e de cobertura foram realizadas conforme os resultados da análise de solo e recomendações de Wutke et al. (2022), bem como os tratos culturais. Foram definidas 10 parcelas na área experimental para as avaliações dos índices espectrais. As parcelas apresentaram 10 linhas de feijão-comum por 5 m de comprimento cada, utilizando as 8 linhas centrais como parcela útil. O manejo da irrigação foi realizado com base na demanda hídrica da cultura (ALLEN et al., 1998), de acordo com o método FAO 56, utilizando dados climáticos obtidos diariamente em estação agrometeorológica automatizada localizada a 1.500 m do experimento. Após a emergência da cultura, foi realizada semanalmente a determinação do índice de vegetação NDVI, bem como a fração de cobertura do solo e do índice de clorofila foliar. O índice de vegetação NDVI foi determinado utilizando o sensor terrestre óptico ativo GreenSeeker HandHeld™. Esse sensor gera automaticamente o índice de vegetação NDVI (Eq. 1), a partir da medida da resposta espectral da banda do vermelho (650 nm) e do infravermelho próximo (770 nm). A obtenção de dados com o GreenSeeker foi realizada manualmente, com passagem sobre o dossel (0,60 m acima) das linhas de feijão-comum em cada parcela. A fração de cobertura (FC) do solo foi determinada pelo aplicativo mobile Canopeo® (PATRIGNANI & OCHSNER, 2015). Foram realizadas 3 determinações em cada parcela, gerando um valor médio de cobertura do solo para cada. O Canopeo® é um

aplicativo desenvolvido na linguagem de programação Matlab para estimar a fração de cobertura do solo pelo dossel da cultura a partir de comprimentos de onda da faixa RGB. Para a obtenção do índice de clorofila foliar (ICF), foi utilizado o clorofilômetro portátil Falker ClorofiLOG 1030. O índice de clorofila foi medido em cinco folhas trifoliadas por parcela, utilizando a terceira folha trifoliada totalmente expandida a partir do ápice (MAIA et al., 2017). De posse dos dados dos índices de vegetação, foram ajustadas regressões polinomiais para estimar o Kc do feijão-comum, conforme realizado por Sandrini et al. (2021), escolhendo-se àquela com maior precisão (R^2) de estimativa. Para isso, os valores tabelados de Kc foram associados aos valores de NDVI, FC e ICF. Os valores de Kc adotados para a calibração dos modelos foram os definidos por Allen et al. (1998). Esses valores tabelados foram interpolados ao longo do tempo para a cultivar IPR Campos Gerais, conforme recomendado por Allen et al. (1998). Os valores de Kc inicial (K_{cini}), Kc de meia estação (K_{cmed}) e Kc final (K_{cf}) para o feijão-comum foram de 0,50; 1,15 e 0,35, respectivamente. O Kc do estágio de desenvolvimento inicial (estágio I = K_{cini}) foi utilizado quando a cultura apresentou até 10% do seu desenvolvimento vegetativo máximo. No estágio II, quando a cultura possuiu de 10 a 80% do desenvolvimento vegetativo máximo, os valores de Kc foram interpolados diariamente, tendo como início o K_{cini} e o final o K_{cmed} . No estágio de desenvolvimento III, quando a cultura possuiu de 80 a 100% do desenvolvimento vegetativo máximo, foi utilizado os valores de K_{cmed} . No estágio de desenvolvimento IV, quando a cultura estava na maturação dos grãos, os valores de Kc foram interpolados diariamente, tendo como início o K_{cmed} e o final o K_{cf} . Esses valores foram definidos temporalmente de acordo com o acompanhamento do desenvolvimento da cultura em campo. Além disso, a interpolação destes valores ao longo do ciclo foi baseada em estudos anteriores sobre manejo de irrigação realizados na área experimental com a cultivar IPR Campos Gerais. O desempenho dos modelos (regressões) para a estimativa do Kc do feijão-comum a partir dos índices espectrais foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os três modelos para a estimativa do coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-comum a partir dos índices espectrais foi significativo (Figura 1).

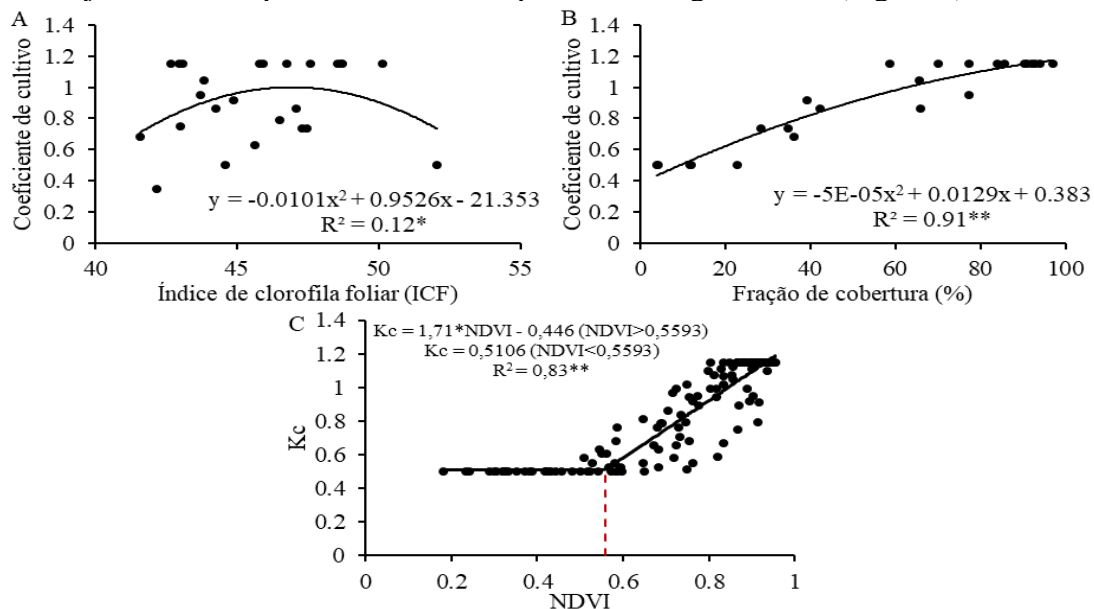


FIGURA 1. Estimativa do coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-comum em função do índice de clorofila foliar (A), da fração de cobertura do solo pelo dossel da cultura (B) e do índice de vegetação NDVI (C). * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

A maior precisão foi obtida pelo modelo de estimativa a partir da fração de cobertura do solo (FC - 91%), seguido pelo NDVI (83%) e pelo índice de clorofila foliar (ICF - 12%). Para o ICF e FC, o modelo que melhor se ajustou foi o quadrático, enquanto para o NDVI o modelo que melhor se ajustou foi o linear-plateau. Neste último caso, o Kc apresentou valores constantes de 0,5106 para valores de NDVI inferiores a 0,5593. Acima deste valor de NDVI o Kc da cultura aumentou linearmente em 0,171 para cada incremento decimal no índice de vegetação. Esses resultados demonstram a baixa aplicabilidade do ICF para a estimativa do Kc do feijão-comum. Isso ocorre, pois o ICF é muito afetado pelas práticas de manejo e pelo clima, tais como adubação, calor excessivo e incidência de pragas e doenças. Estes estresses podem causar efeitos de diluição da clorofila nas folhas e, dessa maneira, o ICF tende a não indicar com precisão satisfatória a demanda hídrica da cultura (COELHO et al., 2022). Diferentemente do NDVI e FC, que são índices que representam indiretamente todo o dossel da cultura e não somente uma folha específica, como é o caso da avaliação de ICF.

CONCLUSÕES: A maior precisão de estimativa do coeficiente de cultivo do feijão-comum foi a partir do índice de fração de cobertura do solo obtido por aplicativo mobile (91%), seguido pelo NDVI (83%) e, mais abaixo, o índice de clorofila foliar (12%). Esses resultados demonstram a possibilidade do uso de técnicas de agricultura digital para fins de manejo de irrigação em taxa variável na cultura do feijão-comum.

REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) - Irrigation and drainage paper 56, Rome, 1998.
- BARKER, J. B. et al. Evaluation of variable rate irrigation using a remote-sensing-based model. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 63-74, 2018.
- COELHO, A. P. et al. Yield predict and physiological state evaluation of irrigated common bean cultivars with contrasting growth habits by learning algorithms using spectral indices. **Geocarto International**, v. 37, n. 27, p. 15212-15234, 2022.
- MAIA, S. C. M. et al. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 512-520, 2017.
- MENDES, W. R. et al. Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. **Expert Systems with Applications**, v. 124, p. 13-24, 2019.
- PATRIGNANI, A.; OCHSNER, T. E. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2312-2320, 2015.
- SANDRINI, M. E. N. et al. Evapotranspiração, coeficiente de cultura e crescimento de cana-de-açúcar plantada por mudas pré-brotadas e por toletes. **Irriga**, v. 1, n. 3, p. 517-529, 2021.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. (2021). **Irrigated agriculture represents 20% of cultivated land and accounts for 40% of global food production.** Available in: <<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-24-irrigated-land/>> Access in 04th Apr. 2022.
- WUTKE, E. B. et al. Feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JÚNIOR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. (Eds.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2ed. Campinas, IAC. 2022. p.246-249.