

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO DO FEIJÃO-
COMUM UTILIZANDO ÍNDICES ESPECTRAIS**

GUILHERME APARECIDO TICHONINK

Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Barcelos Dalri

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO DO FEIJÃO-
COMUM UTILIZANDO ÍNDICES ESPECTRAIS**

GUILHERME APARECIDO TICHONINK

Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Barcelos Dalri

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP

1º semestre/2024

T555e	Tichonink, Guilherme Aparecido Estimativa do coeficiente de cultivo do feijão-comum utilizando índices espectrais / Guilherme Aparecido Tichonink. -- Jaboticabal, 2024 17 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Anderson Prates Coelho Coorientador: Alexandre Barcelos Dalri 1. Irrigação. 2. Feijão comum. 3. Feijão irrigado. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



GUILHERME APARECIDO TICHONINK

**ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE CULTIVO DO FELJÃO-COMUM
UTILIZANDO ÍNDICES ESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri

Área de Concentração: Recursos Hídricos

Data da defesa: 04/07/2024

☒ Aprovado

☐ Reprovado

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Anderson Prates Coelho

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

M.Sc Victor Augusto da Costa Escarela

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

M.Sc João Carlos dos Santos Duarte

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 05/07/2024 + aprovado "ad referendum" do Conselho do Departamento

Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
Chefe do Departamento

AGRADECIMENTOS

Queria agradecer primeiramente a Deus, depois ao meu pai Nivaldo e minha mãe Rosana que sempre me apoiaram e graças ao esforço deles que estou terminando a faculdade, depois agradecer minha avó Maria, e após isso ao meu orientador Anderson e coorientador Alexandre.

ÍNDICE

1. RESUMO	1
2. ABSTRACT.....	1
3. INTRODUÇÃO	2
4. MATERIAL E MÉTODOS	3
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	5
6. CONCLUSÃO	8
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8

Trabalho escrito nas normas do periódico Irriga

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

1 RESUMO

A estimativa do coeficiente de cultivo (Kc) de culturas por meio de índices espectrais pode ser uma alternativa para o manejo de irrigação em tempo real, podendo promover incrementos na eficiência de uso da água. Objetivou-se estimar o coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-comum a partir do índice de vegetação NDVI, índice de clorofila foliar e da fração de cobertura do solo, e verificar o índice que promoveu a maior acurácia de estimativa na cultura do feijão. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, no câmpus de Jaboticabal-SP, onde foi instalado o experimento na safra de inverno de 2023. Foram utilizadas 10 parcelas de feijão-comum para a determinação dos índices espectrais. Com a emergência da cultura, foram avaliados periodicamente os índices: fração de cobertura usando o aplicativo de celular Canopeo, o índice de clorofila foliar utilizando o clorofilômetro portátil e o NDVI a partir do sensor GreenSeeker. Não foi possível estimar com precisão satisfatória ($R^2 < 0,40$) o coeficiente de cultivo (Kc) do feijão-comum a partir do NDVI. Entretanto, os ajustes ficaram acima de 60% para a estimativa a partir da fração de cobertura do solo e acima de 70% a partir do índice de clorofila.

Palavras-chave: NDVI, índice de clorofila foliar, fração de cobertura, safra de inverno.

COMMON BEAN CROP COEFFICIENT PREDICTION USING SPECTRAL INDICES

2 ABSTRACT

Estimating crop coefficient (Kc) using spectral indices may be an alternative for real-time irrigation management, which can promote increases in water use efficiency. The aim was to estimate the crop coefficient (Kc) of common beans based on the NDVI vegetation index, leaf chlorophyll index and soil cover fraction, and verify the index that promoted the greatest accuracy of estimation in common bean. The experiment was conducted at Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, on the Jaboticabal-SP campus, where the experiment was installed in the 2023 winter harvest. Ten common bean plots were used to determine the spectral indices. With the emergence of the crop, the following indices were periodically evaluated: cover fraction using the Canopeo mobile application, the leaf chlorophyll index using the portable chlorophyll meter and the NDVI from the GreenSeeker sensor. It was not possible to estimate with satisfactory accuracy ($R^2 < 0.40$) the cultivation coefficient (Kc) of common bean from the NDVI. However, the adjustments were above 60% for the estimate from the soil cover fraction and above 70% from the chlorophyll index.

Keywords: NDVI, leaf chlorophyll index, soil cover fraction, winter crop.

3 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão possui uma área cultivada de, aproximadamente, 2,5 milhões de hectares no Brasil, com uma produção média de 3,3 milhões de toneladas no total, e 1.138 kg ha⁻¹ no Brasil. No estado de São Paulo a produtividade média por hectare é de 2.284 kg. A agricultura irrigada compreende, aproximadamente, 20% da área cultivada no mundo, entretanto, a sua produção representa 40% do total (Unesco, 2021). Diante da necessidade de aumentar a produção, sem necessariamente incrementar a área, a irrigação é essencial, pois ela pode contribuir para o aumento da produtividade das culturas em mais de 80% (Torres et al., 2013, Ray et al., 2018) assimilada a outros fatores importantes, uma vez que a água é limitante ao crescimento e produtividade das plantas (Taiz et al., 2017). Considerando um cenário de mudanças climáticas, a irrigação se torna ainda mais essencial, visto a maior probabilidade de ocorrência de períodos de seca (veranicos) por maior tempo (Rodrigues et al., 2020).

A safra de inverno na cultura do feijão, tem um alto custo de implementação, e requer um nível mais elevado de tecnologia, pois é um período em que a incidência de chuvas é mais baixa, podendo ter veranicos por longos períodos. A irrigação por aspersão nesse período e de extrema importância quando se procura uma alta produtividade da cultura feijão, que quando associados a outras práticas importantes podem-se alcançar produções altas.

Como a demanda de água potável tem aumentado nos últimos anos e esse recurso possui oferta limitada considerando curto e médio prazo (Unesco, 2021), 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.

Diversos sensores e índices podem ser utilizados para identificar o vigor e a variabilidade das áreas agrícolas, apresentando baixo custo e elevada aplicabilidade. Existem índices estruturais, de clorofila, fotoquímicos e indicadores termais (Zarco-Tejada et al., 2013). Dentre os índices mais conhecidos estão os estruturais, no qual está inserido o índice de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse et al., 1974). A avaliação deste índice permite identificar indiretamente o crescimento e o estado nutricional das plantas Santos et al., (2017); Carneiro et al., (2019), estimar a produtividade, o acúmulo de biomassa, além de auxiliar no manejo da adubação nitrogenada e irrigação Vian et al., (2018); Coelho et al., (2019); Carneiro et al., (2020). Ao se correlacionar com os atributos biométricos e produtivos das culturas, os índices de vegetação nada mais medem do que as condições edafoclimáticas, de manejo e estresses bióticos e abióticos que as plantas foram submetidas até o momento de avaliação (Bredemeier et al., 2013; Coelho et al., 2019). Para manejar a irrigação em taxa variável, por exemplo, essa característica é fundamental, pois somente a partir de um índice é possível inferir o estado fisiológico das plantas, sua capacidade de crescimento e, conseqüentemente, a sua demanda hídrica. Para índices de vegetação diretamente correlacionados com o crescimento das culturas, a variabilidade temporal acompanha o crescimento das plantas. Inicialmente as áreas apresentam valores baixos que, posteriormente, crescem em taxas pequenas, seguido por um crescimento linear, acompanhado por uma

estabilização e, posteriormente, um decréscimo, conforme pode ser verificado nos trabalhos de Oliveira et al. (2016) e Carneiro et al. (2020).

Dentre essas técnicas, destaca-se o uso de aplicativos móveis, através de smartphones. Semelhante aos índices de vegetação, existem aplicativos que indicam diferenças de crescimento das plantas em função dos tratamentos aplicados, medindo a taxa de cobertura do solo pelo dossel da cultura (Patrignani e Ochsner, 2015). Esses aplicativos se baseiam nos comprimentos de onda da faixa RGB para estimar a taxa de cobertura do solo (Patrignani e Ochsner, 2015). Desse modo, os valores variam de 0 a 100%, com as medidas acompanhando a taxa de crescimento da cultura. No amendoim, França et al. (2020) avaliaram a fração de cobertura do solo pelo dossel da cultura utilizando aplicativo e verificaram que o modelo quadrático foi o que melhor representou a variação temporal desse índice na cultura. Os índices de clorofila, obtidos por clorofilômetro portátil, também podem ser utilizados para o acompanhamento do estado fisiológico das culturas (Maia et al., 2017). Trabalhos na literatura destacam que índices de clorofila podem ser utilizados para o manejo da adubação nitrogenada e irrigação Maia et al., (2017); Coelho et al., (2018). A variação temporal deste índice também possui um padrão quadrático, indicando indiretamente a capacidade fisiológicas das plantas ao longo do ciclo.

Assim como nos índices comentados anteriormente, o coeficiente de cultura (K_c) possui uma variação temporal semelhante. De acordo com Allen et al. (1998), o K_c inicial das culturas apresenta um valor pequeno, seguido por um incremento linear, que é acompanhado por uma estabilização e, posteriormente, por um decréscimo. Esse padrão semelhante de variação temporal dos índices espectrais com o K_c torna viável a estimativa do K_c para fins de manejo de irrigação a partir de índices de vegetação, como o NDVI, além de índices de fração de cobertura do solo e de clorofila (Kamble et al., 2013; Oliveira et al., 2016; Alfacc et al., 2019).

Objetivou-se com o trabalho estimar o coeficiente de cultivo (K_c) do feijão-comum utilizando 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 para fins de manejo de irrigação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em região com 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 (Santos et al., 2018), com textura argilosa ($\sim 500 \text{ g kg}^{-1}$ de argila na camada 0,00-0,20 m).

Antes da instalação do experimento, foi realizada a caracterização física do solo da área experimental. Para isso, três pontos da área foram amostrados nas camadas 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-1,00 m utilizando amostras indeformadas de solo, com auxílio de anéis volumétricos (0,05 x 0,05 m) e amostrador do tipo Uhland (Tabela 1). Nessas amostras foram determinadas a umidade na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (Teixeira et al., 2017). Também foi realizada a análise da fertilidade do solo para fins de manejo de adubação (Tabela 2).

Tabela 1. Atributos físicos da área experimental.

Camada (m)	Ds g cm ⁻³	Umidade CC m ³ m ⁻³	Umidade PMP m ³ m ⁻³	Argila g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Areia g kg ⁻¹
0,00-0,20	1,33	0,357	0,171	492	279	229
0,20-0,40	1,24	0,325	0,166	536	266	198

*ds: densidade do solo; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente

Tabela 2. Atributos químicos do solo da área experimental

Camada (m)	pH CaCl ₂	H+Al -----	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
					mmol _c dm ⁻³				%
0,00-0,20	5,9	25	0	5,1	50	14	69,1	94	74
0,20-0,40	5,5	28	0	5,2	33	10	48,2	76	63
Camada (m)	MO g dm ⁻³	Presina -----	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
					mg dm ⁻³				
0,00-0,20	24	66	5	0,46	4,5	16	25,8	3,2	
0,20-0,40	19	49	7	0,39	4,4	11	24,5	1,6	

MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; V%: saturação por bases.

A semeadura do feijão-comum foi realizada em agosto, correspondendo a safra de inverno da cultura. Utilizou-se a cultivar IPR Campos Gerais, caracterizada por apresentar grãos do grupo comercial ‘Carioca’, ciclo normal/médio (90 dias) e crescimento indeterminado (Tipo II). Antes da semeadura do experimento, as sementes foram tratadas com o produto Standak-Top© (Fipronil, Piraclostrobina, Tiofanato Metílico) para garantir um bom estabelecimento inicial da cultura, e inoculadas com *Rhizobium tropici* (Starfix Feijão®), para a fixação biológica do nitrogênio, utilizando as doses recomendadas pelos fabricantes. A semeadura foi realizada mecanicamente, utilizando uma semeadora/adubadora, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, visando obter população de 240.000 a 260.000 plantas ha⁻¹. As adubações de semeadura e de cobertura ocorreram conforme os resultados da análise de solo e recomendações de Wutke et al. (2022), bem como os tratos culturais. O manejo de solo ocorreu em plantio direto, com a semeadura sendo realizada sob a palhada de *Urochloa brizantha*.

Definiu-se 10 parcelas na área experimental para as avaliações dos índices espectrais e das variáveis biométricas do feijão-comum. As parcelas apresentam 10 linhas de feijão-comum por 5 m de comprimento cada, utilizando as 8 linhas centrais como parcela útil.

O manejo da irrigação foi manejado com base na demanda hídrica da cultura, de acordo com o método FAO 56, utilizando dados climáticos obtidos diariamente em estação agrometeorológica automatizada localizada a 1.500 m do experimento. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada diariamente pelo método FAO 56 Allen et al., (1998). A evapotranspiração da cultura do feijão (ET_c) estimou-se pelo produto da ET_o com os coeficientes de cultura (K_c) Allen et al., (1998). A irrigação ocorrerá quando o déficit hídrico acumulado na área for igual a água facilmente disponível (AFD) do solo. Essa lâmina foi calculada em função dos atributos físicos do solo, que foram determinados em laboratório, e da cultura do feijão-comum. Para o cálculo da AFD foi considerado uma profundidade efetiva de raízes de 0,30 m e fator de disponibilidade de água no solo de 0,40 (Allen et al., 1998). A umidade do solo foi determinada semanalmente em três pontos por parcela, utilizando a técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR) Fellner Feldegg, (1969). Os valores de K_c inicial (K_{cini}), K_c de meia estação (K_{cmed}) e K_c final (K_{cf}) para o feijão-comum foram de 0,40; 1,15 e 0,35, respectivamente. O K_c 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 apresentou de 10 a 80% do desenvolvimento vegetativo máximo, os valores de K_c foram interpolados diariamente, tendo como início o $K_{c_{ini}}$ e o final o $K_{c_{med}}$. No estágio de desenvolvimento III, quando a cultura apresentou de 80 a 100% do desenvolvimento vegetativo máximo, foram utilizados os valores de $K_{c_{med}}$. No estágio de desenvolvimento IV, quando a cultura estava na maturação, os valores de K_c foram interpolados diariamente, tendo como início o $K_{c_{med}}$ e o final o K_{c_f} . 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 baseou-se em estudos anteriores sobre manejo de irrigação realizados na área experimental com a cultivar IPR Campos Gerais.

Após a emergência da cultura, a cada 10 dias, realizamos 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 HandHeldTM que começou a ser utilizado apenas 60 dias após a emergência por problemas no equipamento. 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 ocorreu manualmente, com passagem sobre o dossel (0,60 m acima) das linhas de feijão-comum em cada parcela. Foram amostradas seis linhas úteis de cada parcela.

A fração de cobertura (FC) do solo foi determinada pelo aplicativo mobile Canopeo® (Patrignani e Ochsner, 2015). Realizou-se 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), utilizou o clorofilômetro portátil modelo 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).

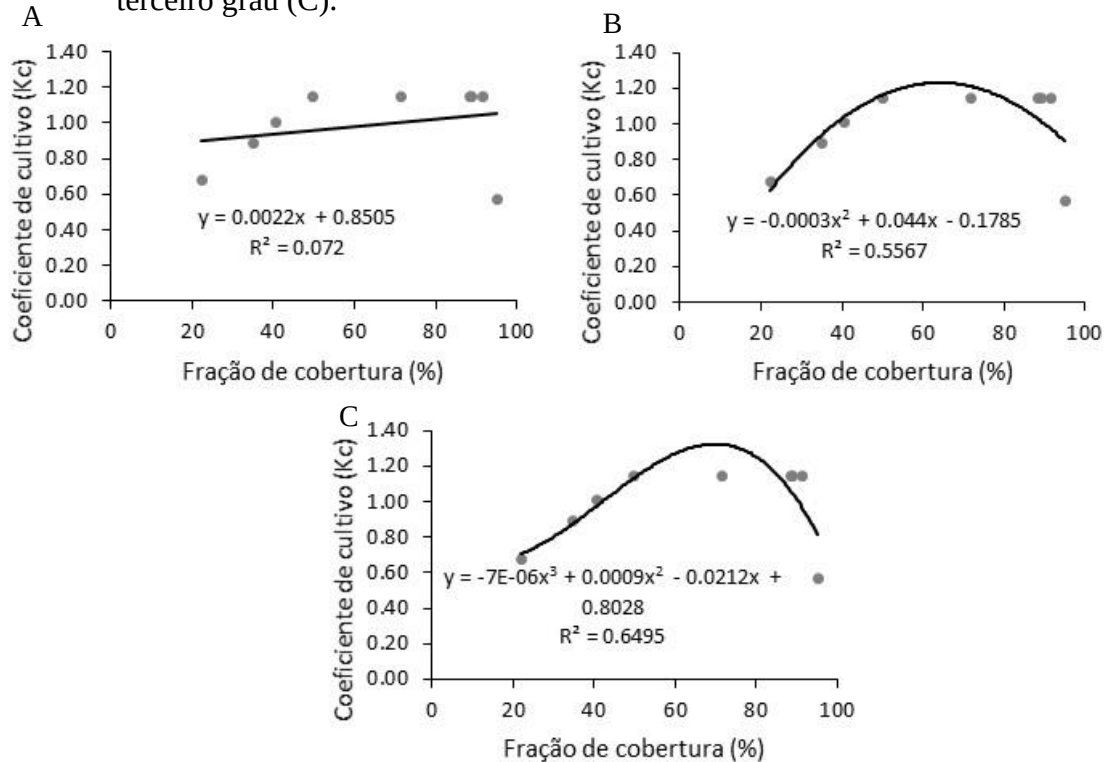
De posse dos dados dos índices de vegetação e fração de cobertura do solo, ocorreu ajustes das regressões polinomiais para estimar o K_c do feijão-comum, conforme realizado por Dingre et al. (2021) e Sandrini et al. (2021), escolhendo-se àquela com maior precisão (R^2) de estimativa. Para isso, os valores tabelados de K_c foram associados aos valores de NDVI, FC e ICF. Os valores de K_c 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).

Sendo significativas, o desempenho dos modelos (regressões) para a estimativa do K_c do feijão-comum a partir dos índices espectrais foi avaliado pelo coeficiente de determinação (R^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

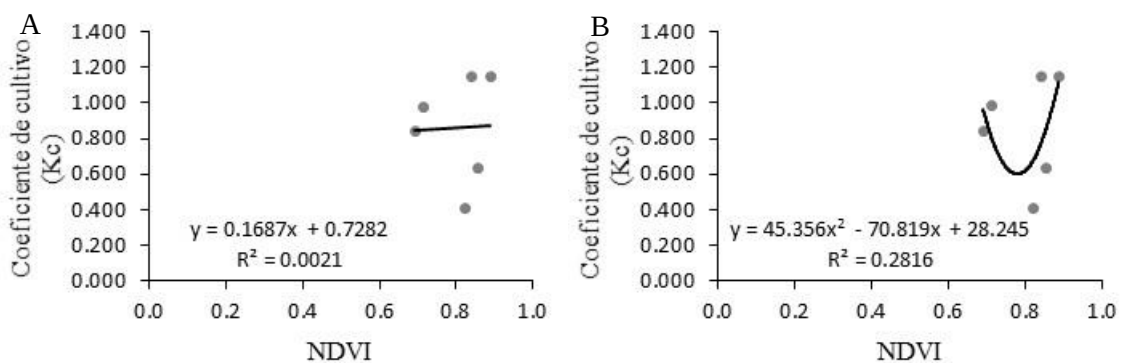
Os dados referentes à fração de cobertura apresentaram acurácias satisfatórias para estimar o coeficiente de cultivo do feijão-comum, dependendo do grau da regressão adotada (Figura 1). Testando as regressões de primeiro, segundo e terceiro graus, as maiores precisões foram obtidas pelo modelo de terceiro grau, com ajuste de 65%, seguido pela regressão de segundo grau (56%). A regressão linear não apresentou ajuste significativo. Além das maiores precisões, as regressões de segundo e terceiros graus apresentam ajustes biológicos explicáveis.

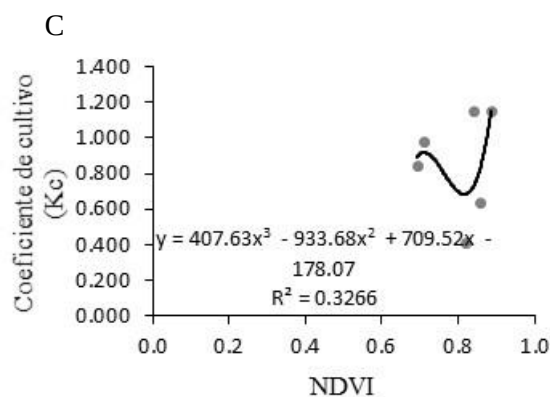
Figura 1. Relação dos valores de Kc tabelado com os dados da fração de cobertura obtido em campo, utilizando regressão linear (A), regressão de segundo grau (B) e regressão de terceiro grau (C).



Para o NDVI, os melhores ajustes para estimar o Kc foi com as regressões de segundo e terceiro graus, com precisões de 28 e 33%, respectivamente (Figura 2). Esses ajustes foram inferiores aos obtidos pela estimativa a partir da fração de cobertura. Além disso, não apresentaram variações biológicas explicáveis, com incrementos e decréscimos se contrastando ao longo da variação dos modelos.

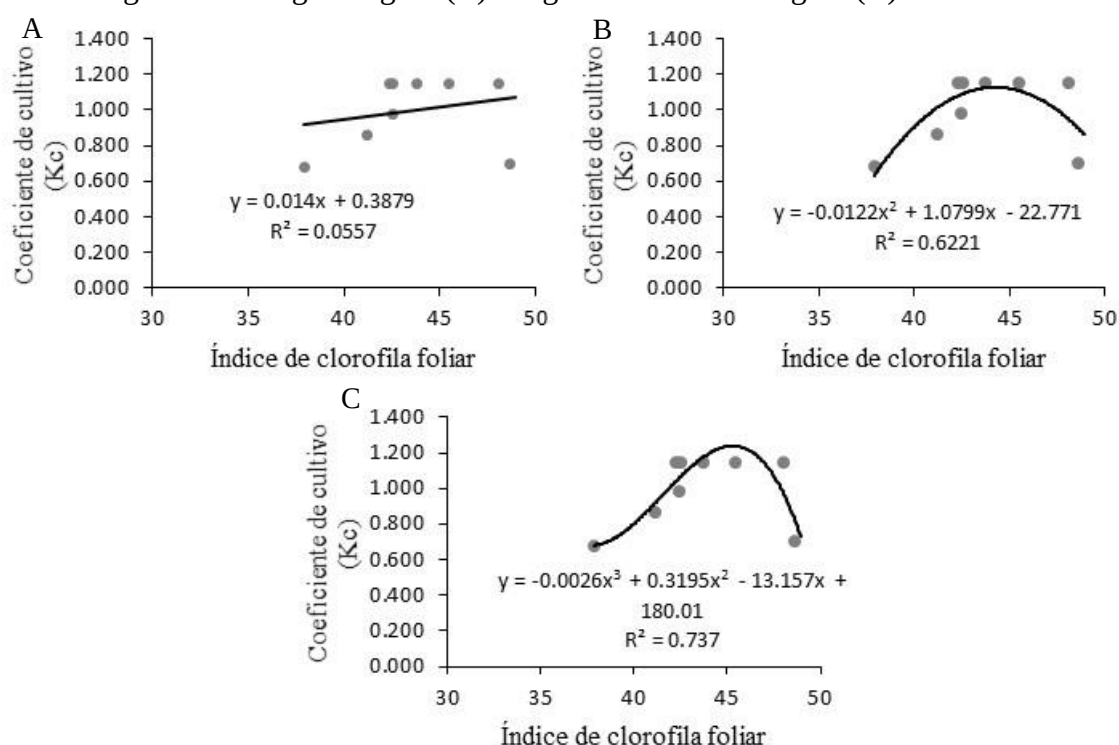
Figura 2. Relação dos valores do Kc com os dados coletados com o sensor de NDVI utilizando regressão linear (A), regressão de segundo grau (B) e regressão de terceiro grau (C).





A estimativa do Kc do feijão-comum a partir do índice de clorofila foliar (ICF) apresentou os melhores ajustes (Figura 3). A regressão linear não apresentou significância para modelar a variação do Kc em função do ICF, entretanto, nos modelos de segundo e terceiro graus a precisão foi de 62 e 74%, respectivamente. Além disso, estes dois últimos apresentaram variações facilmente explicáveis.

Figura 3. Estimativa do coeficiente de cultivo correlacionando os dados do Kc com os dados do índice de clorofila foliar presente nas folhas, utilizando regressão linear (A), regressão de segundo grau (B) e regressão de terceiro grau (C).



As análises realizadas por índices espectrais que apresentam a melhor acurácia para estimar o coeficiente de cultivo foi o índice de clorofila foliar, se destacando dos demais. Com os resultados obtidos, o índice de clorofila foliar foi o que mais se destacou para estimar o coeficiente de cultivo, apresentando os melhores ajustes (R^2).

O uso do NDVI para estimar o coeficiente de cultivo não teve nenhuma vantagem e nem acurácia em relação aos outros índices testados, apresentando precisão inferior comparado a todos os outros índices utilizados, tornando-o inviável para estimar o coeficiente de cultivo.

Após analisar os dados e comparar com o trabalho realizado por BREDEMEIER et.al. (2013), o NDVI no trabalho dos autores apresentou melhor acurácia para estimar a produtividade na cultura do trigo. Em outro estudo, realizado por COELHO et.al. (2018), na cultura da aveia branca, o NDVI se mostrou com uma excelente eficácia para estimar também a produção de grãos e biomassa da aveia, fazendo ele se mostrar melhor nos dois trabalhos analisados, resultando que quando usado para estimar produtividade, o NDVI se destaca em comparação com o clorofilômetro.

Um outro artigo analisado em que mostrou o potencial do NDVI para estimar a produção, foi o trabalho de SANDRINI et.al. (2019) que concluiu que o uso do NDVI na cultura do feijoeiro para estimar a produção possui uma excelente acurácia, mas mostra que quando realizado no estado fenológico R8, os valores obtidos foram melhores referentes aos outros estados da planta.

Com os resultados obtidos tanto desses trabalhos analisados, quanto ao realizado nesse experimento, mostrou que o índice de NDVI que para a estimativa do coeficiente de cultivo não obteve uma acurácia desejada, mas para a estimativa de produção de grãos e produção de biomassa, ele resultou em uma excelente acurácia. Então o NDVI não tem recomendação nesse trabalho para estimar o coeficiente de cultivo, mas sim para estimar a produtividade quando comparado com os trabalhos analisados. Com o resultado do clorofilômetro apresentando a melhor acurácia, obtivemos então um dado que quando comparado com o trabalho realizado por COELHO et.al. (2019), que para estimar a lâmina de irrigação, o clorofilômetro já teve uma acurácia melhor,

6 CONCLUSÃO

A maior precisão para estimar o coeficiente de cultivo na cultura do feijão-comum foi a partir do índice de clorofila foliar ($R^2 = 0,737$), tornando-se uma alternativa para o manejo de irrigação nas culturas.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO **Irrigation and drainage paper 56**, FAO, Rome, v. 300, n. 9, D05109, 1998.
- BARKER, J. B.; HEEREN, D. M.; NEALE, C. M. U.; RUDNICK, D. Evaluation of Variable rate irrigation using a remote-sensing-based model. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 63-74, 2018.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T.; Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, 2013.
- CARNEIRO, F. M.; ANGELI, F. C. E.; ZERBATO, C.; Comparison between vegetation indices for detecting spatial and temporal variabilities in soybean crop using canopy sensors. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 5, p. 979-1007, 2020.
- CARNEIRO, F. M.; FURLANI C. E. A.; ZERBATO, C.; MENEZES, P. C.; GÍRIO, L. A. S.; Correlations among vegetation indices and peanut traits during different crop development

stages. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p. 33-40, 2019.

COELHO, A. P.; FARIA, R. T.; LEAL, F. T.; BARBOSA, J. A.; DALRI, A. B.; ROSALEN, D. L.; Estimation of irrigated oats yield using spectral indices. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105700, 2019.

COELHO, A. P.; FARIA, R. T.; DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2542, 2018.

DINGRE, S. K.; GORANTIWAR, S. D.; KADAM, S. A. Correlating the field water balance derived crop coefficient (K_c) and canopy reflectance-based NDVI for irrigated sugarcane. **Precision Agriculture**, v. 22, n. 4, p. 1134-1153, 2021.

FELLNER-FELDEGG, H. Measurement of dielectrics in the time domain. **The Journal of Physical Chemistry**, v. 73, p. 616-623, 1969.

FRANÇA, P. N. O.; FARIA, R. T.; CARREGA, W. C.; COELHO, A. P.; GODOY, I. J.; PALARETTI L. F.; Peanut yield under irrigation levels in off-season cultivation. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 1, p. 55-67, 2021.

LEMO, B. L.; MINGOTTE, F. L. C.; FARINELLI, R. Cultivares. In: ARF, O.; LEMO, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Eds). **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris***. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 181-207.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE S. M.; ALMEIDA, A. Q.; Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 512-520, 2017.

MENDES, W. R.; ARAÚJO, F. M. U.; HEEREN, D. M.; Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. **Expert Systems with Applications**, v. 124, p. 13-24, 2019.

OLIVEIRA, T. C. de; FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A. Temporal variation of normalized difference vegetation index (NDVI) and calculation of the crop coefficient (K_c) from NDVI in areas cultivated with irrigated soybean. **Ciência Rural**, v. 46, p. 1683-1688, 2016.

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.

RAY, R. L.; FARES, A.; RISCH, E. Effects of drought on crop production and cropping areas in Texas. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 3, n. 1, p. 170037, 2018.

RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; ALVARENGA, L.; MELLO, C. R.; Climate change impacts under representative concentration pathway scenarios on streamflow and droughts of basins in the Brazilian Cerrado biome. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 5, p. 2511-2526, 2020.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; DEERING, D. W.; SCHEEL, J. A.; HARLAN, J. C.; **Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National Aeronautics and Space Administration, p. 371, 1974.

SANDRINI, M. E. N.; DALRI, A. B.; COELHO, A. P.; FARIA, R. T.; PALARETTI, L. F.; 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.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F.; **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, G. O.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. de. Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 1213-1221, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. p. 888, 2017.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G.; **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa, 573p, 2017.

TORRES, J. L. R.; SANTANA, M. J.; NETO, A. P.; PEREIRA, M. G.; VIEIRA, D. M. S.; Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 4, p. 833-841, 2013.

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.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; TURRA, M. A.; GIORDANO, C. P. S.; FOCHESSATO, E.; SILVA, J. A.; DRUM, M. A.; Nitrogen management in wheat based on the normalized difference vegetation index (NDVI). **Ciência Rural**, v. 48, 2018.

WUTKE, E. B.; CHIORATO, A. F.; ESTEVES, J. A. F.; CARBONELL, S. A. M.; AMBROSANO, E. J.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. ARF, O.; CANTARELLA, H. 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.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; WILLIAMS L. E.; SUÁREZ, L.; BERNI, J. A. J.; GOLDHAMER, D.; FERERES, E.; A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. **Remote Sensing of Environment**, v. 138, p. 38-50, 2013.

SANDRINI, F. O. T.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P.; LEMOS, L. B.; ROSALEN, D. L.; Índices de vegetação na estimativa da produtividade do feijoeiro cultivado sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.4, p. 3-7, 2019.