

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MILHO IRRIGADO OBTIDA A PARTIR DE SENSORIAMENTO REMOTO EM CRISTALINA-GO

João Maurício Fernandes Souza¹, Guilherme Carlos Brandão²

RESUMO: A utilização do sensoriamento remoto tem possibilitado a estimativa da ET em uma escala espacial maior do que os outros métodos, como os micrometeorológicos, vantagem que tem contribuído significativamente aos estudos de gestão dos recursos hídricos. O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) na obtenção da evapotranspiração do milho em comparação com o método padrão FAO-56. O estudo foi realizado em Cristalina-GO, entre os meses de maio e agosto. Para estimativa da ET e os respectivos Kc's a partir do SAFER, foram utilizadas imagens do Satélite LANDSAT 8 (OLI/TIRS), adquiridas de forma gratuita do banco de dados do *United States Geological Survey* – USGS. A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada pelo método de Penman-Monteith. Os resultados obtidos foram significativos, de acordo com a metodologia estatística utilizada. O maior erro absoluto observado foi de 0,54 mm, apresentando significante correlação entre a evapotranspiração obtida pelo algoritmo SAFER e a obtida pelo método padrão FAO-56 ($R^2= 0,8$; $R= 0,91$; $d= 0,85$). De acordo com os resultados, conclui-se que o método de estimava da ET pelo algoritmo SAFER pode ser utilizado na obtenção da evapotranspiração da cultura do milho nas condições de Cristalina-GO.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço hídrico, irrigação, SAFER.

EVAPOTRANSPIRATION OF IRRIGATED CORN OBTAINED FROM REMOTE SENSING IN CRISTALINA-GO

ABSTRACT: The use of remote sensing has made it possible to estimate the ET on a larger spatial scale than other methods, such as micro-meteorological methods, an advantage that

¹ Prof. Doutor, Centro Universitário de Anápolis, Av. Universitária Km. 3,5 - Cidade Universitária - Anápolis - GO CEP: 75083-515, Fone (62) 3310 6004. e-mail: joao.souza@univeangelica.edu.br

² Eng. Agrônomo, Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, Anápolis - GO

has contributed significantly to water resources management studies. The objective of this study was to evaluate the feasibility of applying the SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) algorithm in obtaining corn evapotranspiration in comparison with the standard FAO-56 method. The study was performed in Cristalina-GO, between the months of May and August. To estimate the ET and the respective Kc's from the SAFER, images from the LANDSAT 8 Satellite (OLI/TIRS) were used, acquired for free from the United States Geological Survey - USGS database. Reference evapotranspiration (ET_0) was calculated using the Penman-Monteith method. The results obtained were significant according to the statistical methodology used. The highest absolute error observed was 0.54 mm, showing a significant correlation between the evapotranspiration obtained by the SAFER algorithm and that obtained by the FAO-56 standard method ($R^2= 0.8$; $R= 0.91$; $d= 0.85$). According to the results, it can be concluded that the SAFER algorithm method for estimating ET can be used to obtain evapotranspiration of the maize crop under Cristalina-GO conditions.

KEYWORDS: Water balance, irrigation, SAFER

INTRODUÇÃO

Métodos que possam estimar a ET a partir de sensoriamento remoto mostram-se muito benéficos, por serem aptos a proporcionar sua estimativa em áreas heterogêneas e de grande dimensão, fato não conferido a métodos diretos como de lisímetros. Métodos diretos apresentam precisão, mas dificuldade de espacialização, representando valores pontuais de localização específica (BEZERRA et al., 2008; GIACOMINI; MENDES, 2008).

A associação do sensoriamento remoto com dados de estações meteorológicas permite avaliar variáveis para possível melhora do manejo da irrigação e um possível indicativo da quantidade de água necessária a ser aplicada. Os métodos de sensoriamento remoto têm sido utilizados com eficiência na estimativa do balanço da radiação de superfície, fluxos de calor e evapotranspiração (SALES, 2016).

O SAFER tem apresentado resultados satisfatórios na estimativa da ET em larga escala. Uma vantagem desse algoritmo é de não precisar obrigatoriamente da banda termal e de poder ser aplicado com dados de estações meteorológicas de diferentes tipos (analógicas, convencionais e automáticas) (TEIXEIRA et al., 2013). A base teórica do SAFER usa imagens adquiridas por satélites como o LANDSAT 8 (OLI/TIRS) nas bandas do visível e do

visível e do infravermelho próximo. Dessa forma, a estimativa da ET e dos coeficientes de cultura (K_c) a partir de imagens de satélite se mostram proveitosos, já que são capazes de assegurar a obtenção da ET em áreas com diferentes características de cobertura e uso do solo (SALES, 2016).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da aplicação do algoritmo SAFER (*Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving*) na obtenção da evapotranspiração do milho em comparação com o método padrão FAO-56.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área irrigada por pivô central de 80 ha em uma fazenda comercial, no município de Cristalina-GO, Brasil (Figura 1) situada nas coordenadas $16^{\circ}35'50''S$ e $47^{\circ}55'32''O$, e 880 m de altitude, no período de 11 de abril de 2019 a 01 agosto de 2019, período de estiagem no Cerrado, o que facilita a obtenção de imagens de satélite sem presença de nuvens.

Para a estimativa da evapotranspiração, foi utilizada uma série de imagens do satélite Landsat 8 (OLI) adquiridas gratuitamente no banco de imagens do *United States Geological Survey* USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). As imagens selecionadas para o estudo (órbita 221 e ponto 071) foram adquiridas no período de 14, 46, 62 e 110 DAS (dias após a semeadura). Os dados de K_c para a cultura do milho foram obtidos conforme o boletim FAO-56 e interpolados para cada DAS.

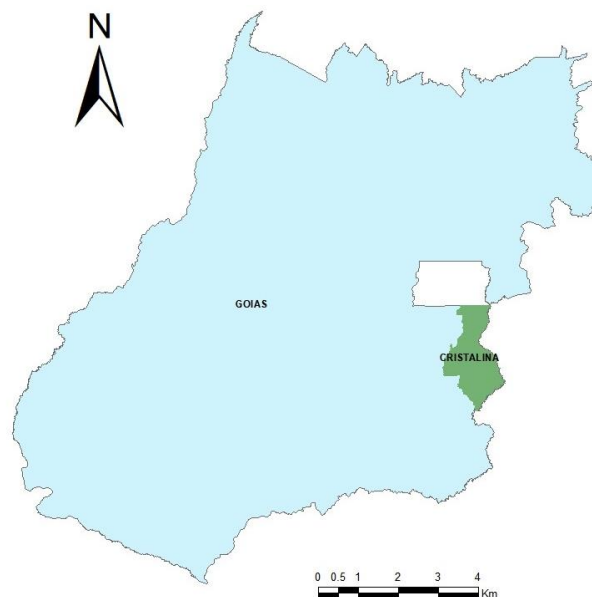


Figura 1. Localização da área de estudo em Cristalina, Goiás, Brasil

A Figura 2 apresenta o fluxograma para estimativa da evapotranspiração a partir do algoritmo SAFER.

O albedo de superfície (α_0) foi estimado a partir do albedo no topo da atmosfera conforme equação 1.

$$\alpha_0 = a * \alpha_{top} + b \quad (1)$$

Em que a e b são coeficientes de regressão Teixeira (2010) que apresentam, respectivamente, os valores de 0,7 e 0,006, onde α_{top} albedo no topo da atmosfera.

A temperatura de superfície (T_0) foi estimada a partir da equação 2.

$$T_0 = a * media_T_Kelvin + b \quad (2)$$

Em que a e b são coeficientes de correção Teixeira (2010) que apresentam, respectivamente, os valores de 1,11 e -31,89.

Em seguida foram calculados os dados do NDVI a partir da equação 3.

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (3)$$

Em que:

IVP: valor da reflectância da banda do infravermelho próximo

V: valor da reflectância da banda do vermelho

A partir dos dados de albedo de superfície (α_0), temperatura de superfície (T_0) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foi possível calcular os valores instantâneos da relação ET/ET_0 por meio da equação 4.

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[\left(a + b * \left(\frac{T_0}{\alpha_0 * NDVI} \right) \right) \right] \quad (4)$$

Para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 e o coeficiente “b” o valor de -0,008 utilizados por HERNANDEZ et al., 2012 em condições similares de médias mensais de evapotranspiração de referência.

Para cálculo da estimativa da evapotranspiração pelo método do SAFER (ET), os valores obtidos na relação ET/ET_0 foram multiplicados pelos valores de ET_0 diários. A evapotranspiração potencial de cultura, foi estimada conforme descrito no Boletim FAO-56 (ALLEN et al.1998).

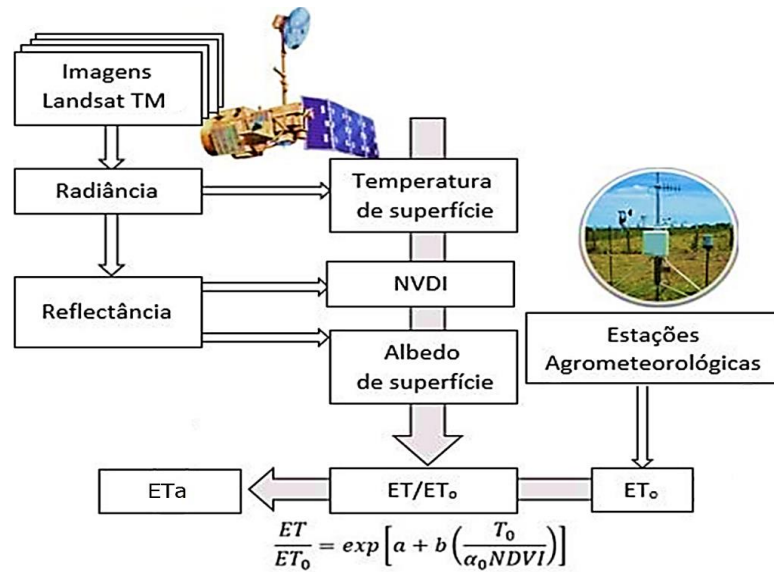


Figura 2. Fluxograma para estimativa da evapotranspiração a partir do algoritmo SAFER.

Para avaliação do desempenho do método de estimativa de evapotranspiração pelo SAFER, foi calculada a correlação entre os valores estimados pelo método padrão FAO e os valores obtidos pelo algoritmo SAFER, a partir do cálculo do erro padrão de estimativa (EPE) conforme a metodologia proposta por Allen; Asce (1986). Foram avaliados ainda o erro do quadrado médio (EQM), a raiz do erro quadrático médio (RMSE), o erro médio absoluto (EMA), o índice de concordância designado “d”, índice de Willmott (WILLMOTT et al., 1985) e o índice de confiança ou desempenho “c” proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios de Kc e ET obtidos a partir do algoritmo SAFER e estimados pelo método padrão FAO 56, em 5 datas (referentes as datas de passagem do satélite) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho. A Figura 3 ilustra os Kc's médios obtidos a partir do algoritmo SAFER na área de estudo

Tabela 1. Evapotranspiração média obtida pelo algoritmo SAFER em comparação ao método padrão FAO-56 para a cultura do milho irrigado por pivô central em Cristalina-GO, Brasil.

FASE DETERMINADA	DAS	ET ₀ (mmdia ⁻¹)	KC _{SAFER}	KC _{FAO}	ET _{SAFER} (mmdia ⁻¹)	ET _{FAO} (mmdia ⁻¹)
Fase 1 (inicial)	14	3,91	0,59	0,60	2,31	2,35
Fase 2 (Vegetativo)	46	2,66	1,09	0,94	2,90	2,37
Fase 3 (Reprodutivo)	62	2,47	1,07	1,10	2,64	2,51
Fase 3 (Reprodutivo)	94	2,02	1,07	1,10	2,16	2,22
Fase 4 (Maturação)	126	2,70	0,55	0,73	1,49	1,89

¹DAS – Dias após a sementeira; ET_0 – Evapotranspiração de referência; K_{CSAFER} – Coeficiente de cultura obtido a partir do algoritmo SAFER; K_{CFAO} – Coeficiente de cultura obtido pelo método padrão FAO-56; ET_{SAFER} – Evapotranspiração obtida pelo algoritmo SAFER; ET_{FAO} – Evapotranspiração obtida pelo método padrão FAO-56.

É possível observar que os valores de Kc obtidos pelo algoritmo SAFER (K_{CSAFER}) estão em similaridade com os valores obtidos a partir do método padrão FAO-56, para a cultura do milho irrigada e com ET_0 estimada pela equação de Penman-Monteih. Os valores de K_{CSAFER} , dos estágios iniciais de desenvolvimento (fase um e dois), tem variabilidade diária e mostram que o coeficiente tem comportamento crescente, enquanto que os valores após o início da maturação fisiológica, mostram um comportamento decrescente. Esse resultado mostra a boa concordância entre o SAFER e o método padrão FAO-56, para cultura do milho nas condições de cultivo citadas.

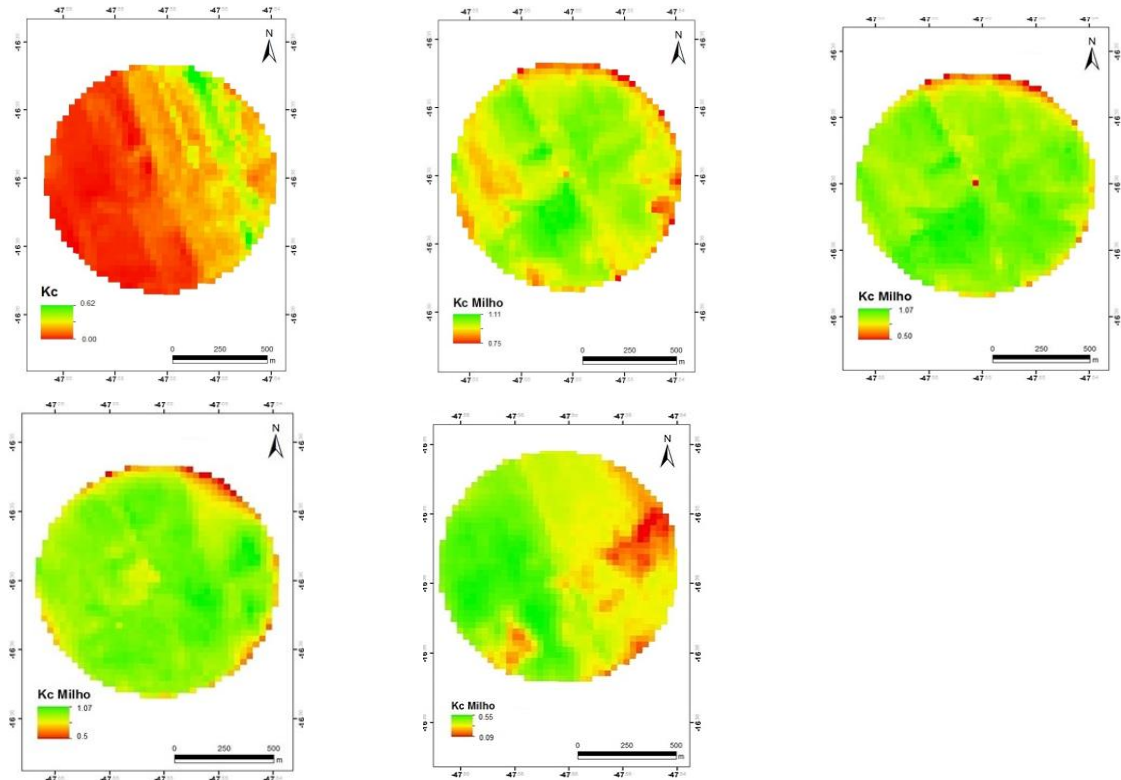


Figura 3. Kc's médios obtidos a partir do algoritmo SAFER na área de estudo

Observa-se que, assim como no trabalho realizado por Sales (2016), na cultura do tomateiro, e por Souza (2016) nas culturas do tomateiro, cana-de-açúcar, trigo e feijão, o algoritmo SAFER também subestimou o método padrão FAO no início do desenvolvimento da cultura do milho, mesmo que para a cultura do estudo a diferença tenha sido de apenas 0,04 mm. No período específico da sementeira ou do plantio e durante o estágio seguinte de

início vegetativo, a frequência de umedecimento da superfície do solo seja por chuva ou irrigação é um fator que influencia bastante o Kc na fase inicial (SOUZA, 2016).

Aos 46 e 62 dias após a semeadura (fase 2 e 3), a ET_{SAFER} superou a ET_{FAO} em 0,66 e 0,13 mm, respectivamente. Essa diferença pode estar relacionada com o fato da cultura do milho estar iniciando o chamado período crítico de necessidade hídrica. Nesse período, o vegetal está em sua máxima capacidade vegetativa, resultando em grande massa verde e cobertura total do solo, o que favorece positivamente os resultados do NDVI.

Os parâmetros e resultados estatísticos, erro médio absoluto (EMA), erro do quadrado médio (EQM), erro padrão da estimativa (EPE), raiz do erro do quadrado médio (RMSE) índice de concordância “d”, coeficiente de concordância simples de Person “r”, índice de confiança ou desempenho “c” estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos para os valores de ET_{SAFER} em relação a ET_{FAO} para a cultura do milho irrigado por pivô central em Cristalina-GO, Brasil.

EMA mm/dia	EQM mm/dia	EPE mm/dia	RMSE mm/dia	d	r	c	Classificação
0,065	0,322	0,360	0,567	0,831	0,912	0,76	“Muito bom”

² (EPE) - erro padrão de estimativa; EQM - erro do quadrado médio; RMSE - raiz do erro quadrático médio; EMA - erro médio absoluto; “d” - índice de concordância de Willmott; “c” - índice de confiança ou desempenho “

De maneira geral, os resultados da ET SAFER estiveram em concordância com a metodologia de estimativa padrão da ET (FAO 56), com valores de EMA= 0,06 mm/dia e EPE= 0,36 mm/dia. O EQM apresentou valores médios de 0,32 mm/dia. Enquanto o RMSE apresentou valor médio de 0,56 mm/dia. A correlação de Person “r” apresentou valor de 0,912, considerado uma correlação muito forte, já que o índice perfeito é 1. O índice “d” de Willmott, foi igual a 0,83, o qual indica um bom resultado de exatidão do algoritmo SAFER. Os resultados do modelo SAFER são considerados confiáveis conforme o índice “c”, proposto por Camargo e Sentelhas (1997), cujo resultado foi de 0,75, “muito bom”. De acordo com os obtidos, o método de estimativa pelo SAFER se mostrou consistente na avaliação do consumo de água da cultura mostrando ser um modelo recomendado para a estimativa da evapotranspiração atual da cultura do milho nas condições citadas.

Um dos fatores limitantes para a obtenção de estimativa da ET utilizando sensoriamento remoto é a dependência das imagens de satélite, já que essas apenas podem ser utilizadas quando livres da presença de nuvens. A escala temporal das imagens também é um fator limitante, o Landsat 8 por exemplo, que foi utilizado para esse trabalho, fornece imagens a cada 16 dias. Uma alternativa a essas limitações, é o uso de câmeras multiespectrais/ termais acopladas a VANT’s (Veículos aéreos não tripulados).

CONCLUSÕES

O algoritmo SAFER, pode ser aplicado para estimativa da evapotranspiração da cultura do milho, de maneira combinada com o método FAO-56 na região de Cristalina-GO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements-fao irrigation and drainage paper 56. Roma: FAO, v. 1, 300, 1998.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Meteorologia, São José dos Campos, v .23, n. 3, p. 305-317, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

GIACOMONI, M. H.; MENDES, C. A. B. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 33-42, 2008.

HERNANDEZ, F.B.T.; TEIXEIRA, A.H.C; NEALE, C.M.U.; TAGHVAEIAN, S. Determining actual evapotranspiration on the large scale using agrometeorological and remote sensing data in the Northwest of the São Paulo State, Brazil. In: International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 7º, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p.51, 2012.

JUSTINA, D. D. D.; LIMA, P. H. P.; SOUSA, C. H. W.; OLDONI, L. V.; JOHANN, J. A.; MERCANTE, E. Geração de perfis espectro-temporais de NDVI para diferentes cultivares de soja. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, 2013, Anais... p. 8838-8844, 2013. CD-ROM

SALES, D. L. A. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial estimado por sensoriamento utilizando o algoritmo SAFER. Dissertação de mestrado, escola de agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2016.

SOUZA, J. M. F., Aplicação do modelo SAFER (simple algorithm for evapotranspiration retrieving) na obtenção da evapotranspiração das culturas em condições de Cerrado– Tese de doutorado, escola de agronomia, Universidade Federal de Goiás, 2016.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 149, p. 462–476, 2010.

TEIXEIRA, A. H. C.; LOPES, A. H. L.; HERNADEZ, F. B. T. Quantificação de parâmetros da produtividade da água com imagens landsat em condições de mudança de uso da terra no distrito de irrigação Nilo Coelho. *Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto. Anais São José dos Campos*, 2013.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v. 90, n.C5, p.8995-9005, 1985.