



# Determinação dos coeficientes de cultivo e a evapotranspiração real da cana-de-açúcar com o uso do modelo SAFER

Alberto Mario Arroyo Avilez<sup>1(\*)</sup>, Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>2</sup>, Ícaro Monteiro Galvão<sup>3</sup> e Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP/FCA). Av. Universitária, nº 3780, Altos do Paraíso, CEP 18610-307 Botucatu, SP. e-mail: betomario1494@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Engenharia. Avenida Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000 Ilha Solteira, SP. E-mail: fernando.braz@unesp.br

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: icaro.monteiro@usp.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, s/n, Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000 São Cristóvão, SE. E-mail: heribert@globomail.com

(\*) Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 7 de dezembro de 2020

Aceito em 9 de dezembro de 2020

### Termos para indexação:

sensoriamento remoto

modelagem

*Saccharum officinarum*

## RESUMO

O conhecimento dos coeficientes de cultivo e da evapotranspiração das culturas é uma importante ferramenta para o planejamento agrícola em áreas irrigadas. Essas informações são utilizadas para determinar a demanda hídrica dos cultivos. O objetivo deste trabalho foi determinar os coeficientes de cultura através da relação  $E_{Tr}/E_{T_0}$  nas diferentes fases fenológicas com a aplicação do modelo SAFER por meio do sensoriamento remoto. No cálculo da relação  $E_{Tr}/E_{T_0}$  o comportamento da curva formada pelos valores determinados mostrou coerência com as curvas encontrados na literatura, entretanto os valores encontrados foram menores do que aqueles atualmente indicados.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas de grande importância socioeconômica no Brasil, seus principais derivados são o açúcar e o álcool que são imprescindíveis ao mercado mundial (Dantas Neto et al., 2006). Esta planta é cultivada, principalmente, em clima tropical onde se alternam as estações secas e úmidas. No Brasil, a cana-de-açúcar é cultivada principalmente em regime de sequeiro, mas para atingir a produtividade máxima, é necessária uma quantidade de água da chuva ou da irrigação em média ao redor

de 1500 mm/safra, dependendo do ciclo total e da variedade da cultura (Avilez et al., 2015).

Para calcular as necessidades hídricas das plantas é feita a estimativa da evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) e esta é regida pelos balanços de radiação e energia, que permitem conhecer a quantidade de energia que foi dividida entre o fluxo de calor sensível e latente (Asseng & Hsiao, 2000; Shen et al., 2004). Para padronizar o cálculo da  $E_{Tc}$  foi adotado o procedimento computacional proposto na FAO56 (Allen et al., 1998) e recentemente revisado por Pereira et al. (2015), que consiste no produto da relação de

um coeficiente de cultura ( $K_c$ ) pela evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), onde  $ET_0$  representa os principais efeitos induzidos pelo clima na taxa de evapotranspiração da cultura de referência (grama) e o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) representa as influencias específicas de cada cultura sobre o valor de  $ET_0$  (Allen et al., 1998) durante o ciclo de crescimento da cultura.

Em contrapartida, conhecer o valor da  $E_{Tc}$  e relacioná-lo com os valores de  $ET_0$  nos resultaria no valor do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), no entanto, devido à presença de pragas e doenças, salinidade, baixa fertilidade do solo e escassez ou saturação de água, a  $E_{Tc}$  se torna diferente do valor encontrado, sendo chamado está de evapotranspiração real ( $E_{Tr}$ ) (Pereira et al., 2002; Allen et al., 2005). Assim para estes casos, a determinação do  $K_c$  para uma cultura a campo se daria por meio da relação  $E_{Tr}/ET_0$ . Para chegar nesta relação, Silva et al. (2012) ressaltam o método do balanço de energia com base na razão de Bowen. Zhang et al. (2015) já destacam a combinação de métodos micrometeorológicos usando Eddy Covariance (*Covariância de Vórtices Turbulentos*) junto com sensoriamento remoto usando o modelo METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution using Internalized Calibration), ou ainda o modelo recomendado por Teixeira et al., (2016) descrito como algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration), que tem sido utilizado no Brasil e apresentada bons resultados. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi determinar a relação  $E_{Tr}/ET_0$  e a  $E_{Tr}$  nas diferentes fases fenológicas com a aplicação do modelo SAFER por meio do sensoriamento remoto visando a obtenção dos  $K_c$ .

## Material e métodos

### Área de estudo

Este trabalho foi conduzido em duas áreas comerciais de cana-de-açúcar. Uma primeira área sob irrigação por gotejamento localizada no município de Andradina, tendo como coordenadas geográficas latitude  $20^{\circ} 43' 43,6''$  S; longitude  $51^{\circ} 16' 30,3''$  W e altitude 360 m (Figura 1), sob clima, segundo classificação de Köppen, do tipo tropical com inverno seco (Aw) (Unicamp, 2018), com precipitação anual média 1241,6 mm e temperatura do ar de 19,7 a 26,9°C e umidade relativa média de 62,4% (Unesp, 2020). E uma segunda área sob irrigação por aspersão (Pivô Central) localizada no município de Ilha Solteira nas coordenadas geográficas latitude  $20^{\circ} 28' 44,6''$  S; longitude  $51^{\circ} 18' 50,5''$  W, altitude 360 m e com as mesmas condições climáticas descritas anteriormente.

Após a identificação das áreas de cana-de-açúcar e construção dos polígonos foi realizada a modelação da  $E_{Tr}$  e a relação  $E_{Tr}/ET_0$  por meio do modelo SAFER (Teixeira et al., 2012), baseado na equação de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração real em larga escala. No SAFER a relação  $E_{Tr}/ET_0$  foi modelada como expressa a Figura 2, a implementação foi de acordo com o exposto por Teixeira (2010), porém utilizando o coeficiente “a” igual a 1,0 proposto por Hernandez et al. (2012) e Teixeira et al. (2013) que preliminarmente compararam os modelos sob condições de irrigação por pivô central no noroeste de São Paulo, tomando-se como referência o modelo proposto pela FAO (Allen et al., 1998).

Figura 1. Localização das áreas de estudo, Andradina e Ilha Solteira, SP.

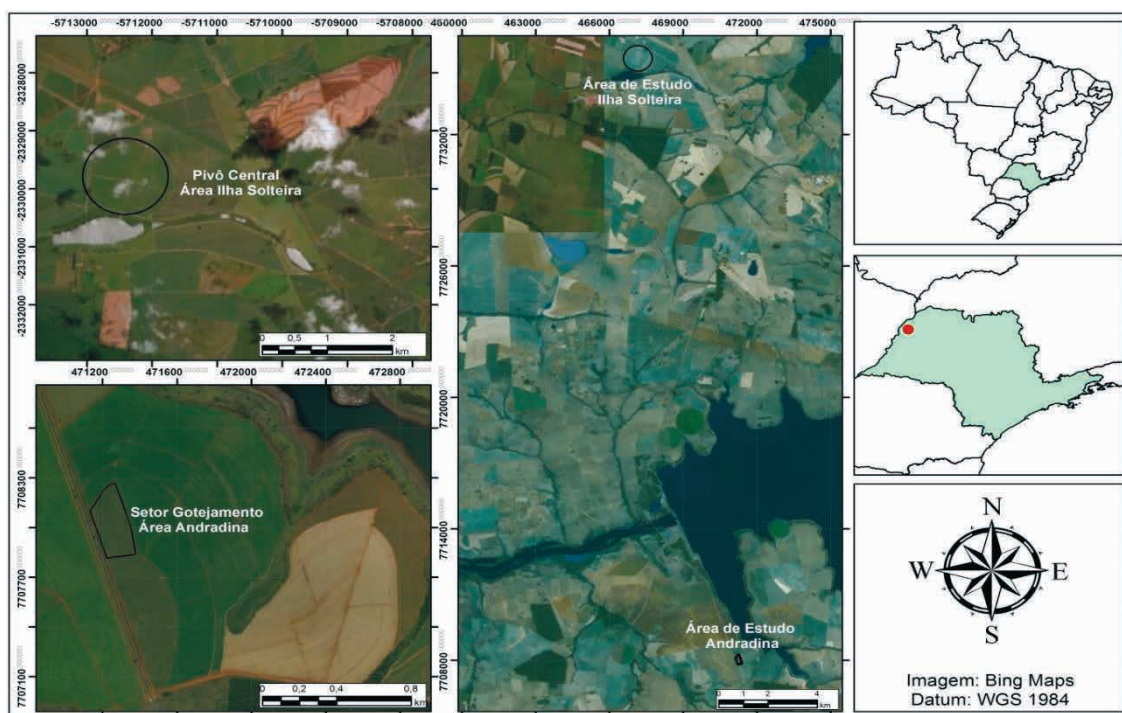
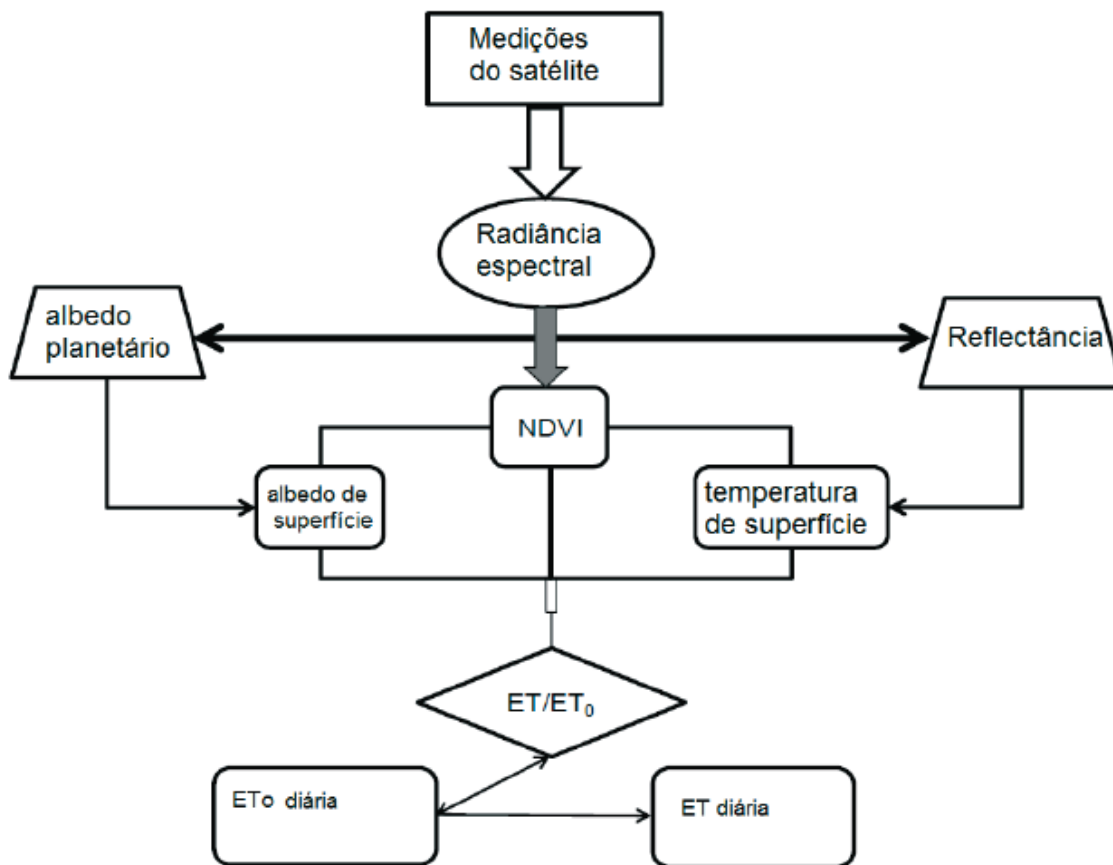


Figura 2. Fluxograma das etapas do método SAFER (2012) utilizando a superfície albedo, a superfície temperatura e do NDVI.



Fonte: Teixeira et al,2012

### Aquisição da base de dados

As imagens utilizadas foram obtidas do site da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) das plataformas Landsat 8, com órbita 222 e ponto 74 e 73, para o período de 2016-2017. As imagens de nível 1 com processamento de dados LPGS e livre de nuvens foram as utilizadas para continuar com os próximos passos do processamento.

### Processamento

Antes da obtenção da estimativa da evapotranspiração e a Relação  $E_{Tr}/E_{T_0}$  às imagens foram processadas, com correções geométricas, calibrações radiométricas e informações biofísicas. O geoprocessamento das informações foi realizado com auxílio do software ILWIS (Integrated Land Water Information System) que na função script possibilitou os cálculos dos dados no formato matricial (raster).

Foram utilizados dados de radiação global ( $MJ.m^{-2}.dia^{-1}$ ), evapotranspiração de referência ( $mm\ dia^{-1}$ ) e temperatura média diária do ar ( $^{\circ}C$ ), a partir da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista (<http://clima.feis.unesp.br/>), operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira.

A correção radiométrica das imagens foi realizada de

acordo com a metodologia de Teixeira et al. (2015b) e o albedo planetário de banda larga em cima da atmosfera ( $\alpha_{TOA}$ ) foi calculado utilizando a metodologia de Teixeira et al. (2015a), enquanto a temperatura de brilho do sensor ( $T_{bri}$ ) foi obtida através da metodologia de Teixeira et al. (2015b). O índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) foi calculado através da relação entre a diferença das reflexibilidades planetárias do infravermelho próximo ( $\rho_{nir}$ ), o vermelho ( $\rho_{vermelho}$ ) e sua soma.

Os dados de  $\alpha_{TOA}$  e  $T_{bri}$  foram corrigidos atmosféricamente para obter os valores de albedo ( $\alpha_0$ ) e temperatura da superfície ( $T_0$ ,  $^{\circ}K$ ), de acordo com Teixeira et al. (2015b) (Equação 1 e 2):

$$\alpha_0 = 0,61 * \alpha_{TOA} + 0,08 \quad (1)$$

$$T_0 = 1,07 * T_{bri} - 20,17 \quad (2)$$

A relação entre evapotranspiração real e evapotranspiração de referência ( $E_{Tr}/E_{T_0}$ ) SAFER foi calculada de acordo com a Equação 3 (Hernandez et al., 2014; Teixeira, 2010; Teixeira et al., 2015c).

$$\left(\frac{ET_r}{ET_0}\right)_{SAFER} = \exp\left(1.0 + 0.008\left(\frac{T_0}{\alpha_0 NDVI}\right)\right) \quad (3)$$

A evapotranspiração real ( $ET_r$ , mm dia<sup>-1</sup>) foi obtida de acordo com a Equação 4, (Teixeira et al. 2015c):

$$ET_r = ET_0 \left(\frac{ET_r}{ET_0}\right) \quad (4)$$

## Resultados e discussão

Na Figura 3 é demonstrada a variação da  $ET_r/ET_0$ , obtida a partir do modelo SAFER, e a  $ET_r$  para o final da safra 2015 - 2016, toda a safra de 2016 - 2017 e o início da safra 2017 - 2018, da área Andradina e Ilha Solteira, como indicado na Figura 1. As linhas azuis representam os valores da relação  $ET_r/ET_0$ , as linhas verdes representam os valores do Kc FAO que foram adaptados para a região e as linhas vermelhas os valores de  $ET_r$ .

Para a área de Andradina e Ilha Solteira a relação  $ET_r/ET_0$  apresentou um comportamento similar durante o ciclo total da cultura (Figura 3A e Figura 3B). Mas quando os valores diários entre áreas são comparados, nota-se uma variação, isto ocorre devido a diferença na disponibilidade hídrica no solo, diferentes datas de início do ciclo e a variação da  $ET_0$ , uma vez que esta foi estimada para cada área.

Pode se observar na figura 3B que os valores diários obtidos de  $ET_r/ET_0$  para a área Ilha solteira foram maiores, provavelmente por ter tido uma maior lâmina de irrigação aplicada, estes valores foram em média de 0,1 para a fase I (Brotação e estabelecimento da cultura), 0,1 a 0,4 na fase II (estabelecimento e perfilhamento), fase III 0,4 até 0,83 (Crescimento máximo) e na fase IV de 0,83 até 0,38 (Maturação). Os maiores valores observados nas duas áreas entre as datas 15/04/2017 até o 25/05/2017 corresponderam à fase de maior exigência hídrica da cultura e aos dias que houve uma maior taxa de evapotranspiração na região (Figura 3C), isto confirma que o modelo usado para a estimativa destes valores responde positivamente e é sensível a detecção da variação das principais variáveis agrometeorológicas que interferem na estimativa dos coeficientes de cultivo. Mas ainda assim estes valores se mostraram baixos em comparação com os valores de kc recomendados por Doorenbos & Pruitt, (1977) para a cana-de-açúcar e adaptados para a região do Noroeste Paulista representados pela linha verde na Figura 3A e B.

Entretanto, Silva et al. (2012) em estudos realizados no semiárido brasileiro utilizando métodos micrometeorológicos, também encontraram valores na fase 1 da cultura maiores aos estimados neste estudo, uma possível explicação destes valores resultarem baixos é porque neste caso se trabalhou com modelagem por meio de imagens de sa-

télite e a safra anterior ao ser colhida deixou uma presença de palhada seca no solo, e consequentemente a palhada é dominante no comportamento espectral neste período. A mesma condição ocorre quando o solo está exposto na fase 1 da cana primeira safra, uma vez que de acordo com Lima et al., (2013), nesta fase inicial há maior absorção de radiação na faixa do infravermelho próximo seja pelo solo ou pela palhada seca.

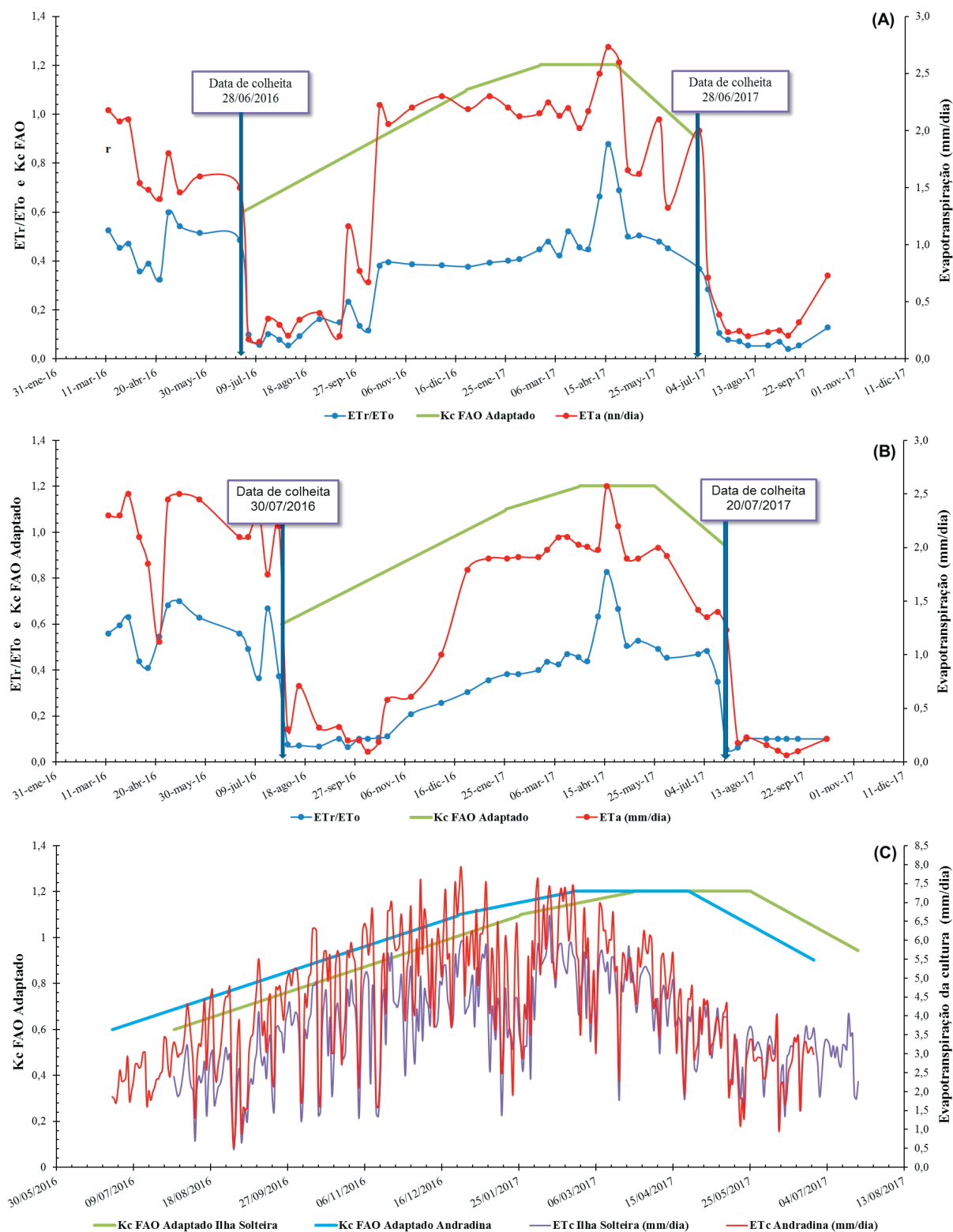
Teixeira et al., (2016) também encontrou valores maiores de  $ET_r/ET_0$  para cada fase fenológica da planta, mas nesse estudo foram usados valores dos coeficientes a e b no modelo SAFER iguais aos usados para a região Nordeste do Brasil, já neste estudo usaram-se os valores propostos por Hernandez et al. (2012) para a região do Noroeste Paulista.

Em contraste, os valores de  $ET_r/ET_0$  encontrados neste trabalho foram semelhantes com os determinados por Zhang et al. (2015) para todas as fases do cultivo num trabalho realizado no Hawaii, onde usaram o modelo METRIC juntamente com dados micrometeorológicos obtidos através do sistema Eddy Covariance, os máximos valores encontrados por estes autores foram de 0,82, correspondentes à fase III da cultura. Na Figura 3A e B observa-se que também para a fase III do cultivo especificamente no dia 17/04/17 a relação  $ET_r/ET_0$  apresentou valores de 0,83, estes valores encontrados nas duas áreas devem-se a cultura encontrar-se na fase de crescimento máximo onde se tem a exigência de um maior requerimento hídrico, como descrito por Inman-Bamber (2004), nesta data também houve dias de chuva na região com volumes capazes de suprir a quantidade de água requerida pela planta. Além disso, é possível observar que a  $ET_r$  alcançou os valores máximos nestas datas, uma vez que, segundo Allen et al. (1998), a  $ET_r$  alcança o valor da evapotranspiração máxima da cultura quando a cultura encontra-se em boas condições de campo e sem deficiência hídrica.

De modo geral, os valores de  $ET_r/ET_0$  encontrados nas duas áreas foram 16%, 34% e 16% inferiores aos determinados por Doorenbos & Pruitt (1977) e recomendados no livro da FAO 56 (Allen et al., 1998) para as fases do cultivo crescimento inicial, médio e final, respectivamente. Assim também, foram menores aos determinados por Inman-Bamber & McGlinchey (2003) na Austrália e na Suazilândia usando o método de balanço de energia (Bowen Ratio) e com lisímetros. Uma possível explicação para os valores estarem aparentemente baixos da relação  $ET_r/ET_0$ , talvez seja a inadequação do valor do coeficiente a e b usados no modelo SAFER (Teixeira et al., 2012), estes coeficientes possivelmente tenham uma variação dependendo da cultura ou da região onde é implementado o modelo.

Também é importante destacar que, de maneira geral, a relação  $ET_r/ET_0$  ainda com valores inferiores, apresentou uma variação na curva similar a descrita por Doorenbos & Pruitt (1977) ao longo do crescimento da planta, notando-

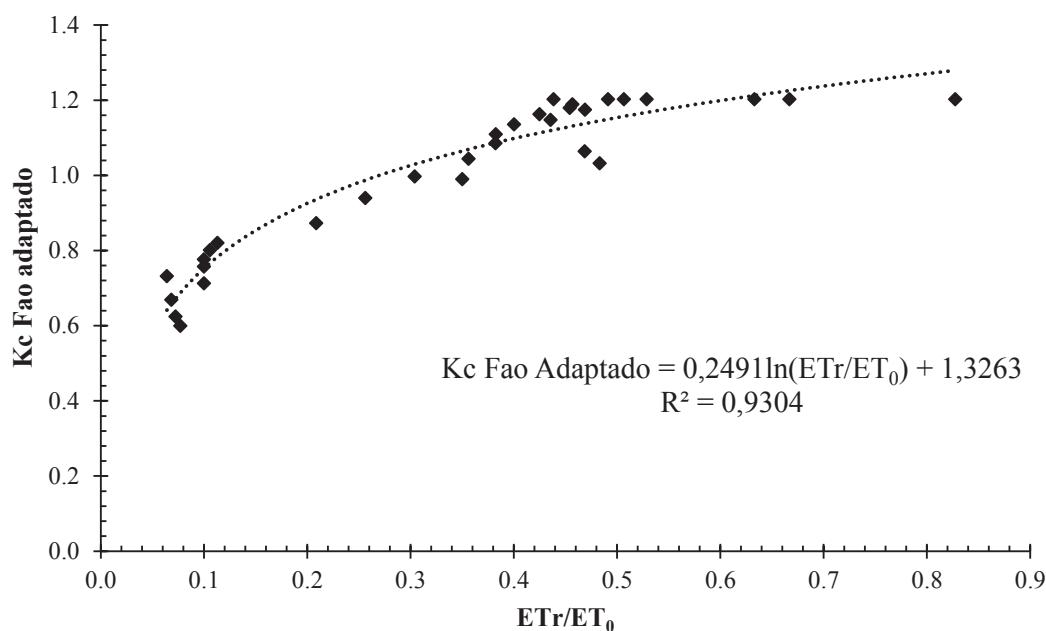
**Figura 3.** Comparação do coeficiente de cultura FAO (Kc) para a cana-de-açúcar com a relação ( $ET_r/ET_0$ ) e a evapotranspiração real da cultura ( $ET_r$ ) (A) área Andradina e (B) área Ilha Solteira e a evapotranspiração da cultura em área Andradina e Ilha Solteira (C).



-se um aumento nos valores quando a cana soca começa a brotar e conseqüentemente aparece maior índice de vegetação, além disso, observasse que estes valores alcançam o ponto máximo e mostram uma leve estabilização durante a fase III do cultivo indicando o valor máximo de área foliar, e após esta fase começam a diminuir corroborando os dados reportados por Lucas & Schuler (2007) também para cana-de-açúcar e os descritos por (Allen et al., 1998).

Na figura 4 é apresentada a equação ajustada com base na relação entre Kc FAO adaptados e a relação  $ET_r/ET_0$  considerando a área Ilha Solteira. Nesta correlação é possível afirmar que o ajuste da curva teve uma correlação significativa, resultados similares de correlação foram encontrados por Alfaced et al. (2019) que correlacionaram o Kc estimado pelo NDVI com os recomendados pela FAO, para cana de açúcar no Moçambique e também por Singh & Irmak

Figura 4. Ajuste de regressão linear entre o valor de Kc FAO adaptados e a relação  $E_{Tr}/E_{T_0}$ .



(2009) para as culturas de milho e soja na região Centro-Sul do estado de Nebraska.

Portanto este método da estimativa da  $E_{Tr}/E_{T_0}$  por meio do sensoriamento remoto usando o algoritmo SAFER não deixa de ser importante para o cálculo do consumo de água da cana-de-açúcar, uma vez que Ribeiro et al. (2017) relatam que o uso de modelos junto com imagens de satélite implementados na agricultura permite ao produtor identificar variações ao longo das safras nos seus cultivos e assim obter melhores resultados finais. No caso do modelo SAFER, todavia faz-se necessário a realização de estudos com métodos de calibração como é o caso do sistema Eddy Covariance, para assim comparar com os valores já estabelecidos e recomendados pelo livro 56 da FAO (Allen et al., 1998).

### Conclusões

A relação  $E_{Tr}/E_{T_0}$  apresentou comportamento da curva similar e boa correlação com os citados na literatura.

Os valores de  $E_{Tr}/E_{T_0}$  encontrados foram menores. Abaixo do que o recomendado para a cana-de-açúcar, mas, ainda assim, favoráveis para o estudo da necessidade de água dessa cultura.

Recomenda-se a continuidade de estudos que calibrem o algoritmo SAFER para obtenção de melhores resultados.

### Contribuições dos autores

A. M. A. AVILEZ, F. B. T. HERNANDEZ, I. M. GALVÃO e A. H. C. TEIXEIRA atuaram na concepção do trabalho, aquisição e análise dos dados, redação e revisão do artigo.

### Agradecimentos

Ao Programa de Irrigação e Drenagem da UNESP - Botucatu pela oportunidade de estudos e ao CNPq pela bolsa do primeiro autor (Processo 134391/2016-0) e apoio financeiro (Processo 404.229/2013-1), e a FAPESP (Processo 2.009/52.467-4). Agradecemos aos engenheiros Fernando Benvenuti, Francisco Evandro Albino, Leandro Melo, Marcelo Agudo Romão e Naiara Denuncio pelo apoio nos trabalhos de campo.

### Referências

- ALFACE A. B.; PEREIRA S. B.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F. Sugarcane spatial-temporal monitoring and crop coefficient estimation through NDVI. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 5, p. 330-335, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n5p330-335
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; SMITH, M.; RAES, D.; WRIGHT, J. L. FAO-56 DUAL Crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 131, p. 1-13, 2005.
- ASSENS, S.; HSIAO, T. C. Canopy CO<sub>2</sub> assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crops Research*, v. 67, p. 191-206, 2000. DOI: 10.1016/S0378-4290(00)00094-0
- AVILEZ, A.M.A.; HERNANDEZ, F.B.T.; BISPO, R.DEC.; GIOVANELLI, L.B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. *Irriga*, v. 1, p. 171-188. 2018. DOI: 10.15809/irriga.2018v1n1p171-188
- DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J.L.C.; FARIAS, C.H.DEA.; AZEVEDO, H.M.; AZEVEDO, C.A.V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. V. 10, p. 283-288, 2006. DOI: 10.1590/S1415-43662006000200006
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. *Crop water requirement*. FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24. Rome, Italy 1977. 144p.

- 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 São Paulo State, Brazil. In: International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, **Anais**. 7<sup>o</sup>, Geisenheim - Alemanha, Proceedings, p. 51, 2012.
- INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 107-122, Sept. 2004. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.01.018
- LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SILVA, M. A. DA; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente e Água**, v.8, p. 204-214, 2013. DOI: 10.4136/ambi-agua.959%20.
- LUCAS, A. DE A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 607-614, 2007. DOI: 10.1590/S1415-43662007000600009
- PEREIRA, L.S., ALLEN, R.G., SMITH, M., RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future, **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, 2015. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.031
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; ALMEIDA, L. T. DE; GENEROSO, T. N.; MONTEIRO, L. I. B. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens SENTINEL. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, p.1884-1893, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n600648
- SHEN, Y.; ZHANG, Y.; KONDOH, A.; TANG, C.; CHEN, J.; XIAS, J.; SAKLLRA, Y.; LIU, C.; SUN, H. Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. **Hydrological Processes**, v. 18, p. 2223-2234, 2004. DOI: 10.1002/hyp.5535
- SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; JOSÉ M. SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. DE S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, nov. 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000100009
- SINGH, R.; IRMAK, A. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.135, p.597-608, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000052
- TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L. Application of Landsat images for quantifying the energy balance under conditions of fast land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: Remote Sensing, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, XIV, **Anais**, v. 8531. p. 1-10, 2012.
- TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing and Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1287-1319. 2010. DOI: 10.3390/rs0251287
- TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T. Water productivity assessments with Landsat 8 images in the Nilo Coelho irrigation scheme. **Irriga**, Botucatu, edição especial, p.1-10, 2015a. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n2p01
- TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. F. Modelling radiation and energy balances with Landsat 8 images under different thermohydrological conditions in the Brazilian semi-arid region. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 17, Toulouse. **Anais**. SPIE, 2015b
- TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; RONQUIM, C. C.; VICTORIA, D. C. Sugarcane Water Productivity Assessments in the São Paulo state, Brazil. **International Journal of Remote Sensing Applications**, v. 6, 2016. DOI: 10.14355/ijrsa.2016.06.009
- TEIXEIRA, A. H. C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. DE C.; GALDINO, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, v. 7, p. 14597-14619, Oct. 2015c. DOI: 10.3390/rs71114597
- UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Acesso à base diária: Canal CLIMA. Ilha Solteira: UNESP - Faculdade de Engenharia - Departamento de Fitossanidade e Engenharia Rural e Solos - Área de Hidráulica e Irrigação, 2018. Disponível em: <http://clima.feis.unesp.br> Acesso em 9 de novembro de 2020.
- UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Acesso à base de dados: Cepagri - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura, 2018. Disponível em: <http://www.cepagri.unicamp.br/> Acesso em 9 de janeiro de 2018.
- ZHANG, H.; ANDERSON, R.; G., WANG, D. Satellite-based crop coefficient and regional water use estimates for Hawaiian sugarcane, **Field crops research**, v. 180, p.143-154, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.05.023

## REFERENCIAÇÃO

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; GALVÃO, I. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Determinação dos coeficientes de cultivo e a evapotranspiração real da cana-de-açúcar com o uso do modelo SAFER. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026831, 2020.

Declaração: este trabalho está sendo publicado conforme foi aceito pelo INOVAGRI Meeting Virtual 2020. Não houve revisão editorial adicional por pares que tenha sido solicitada por AGROMETEOROS.



# Determination of crop coefficients and the evapotranspiration actual of the sugarcane using the SAFER MODEL

Alberto Mario Arroyo Avilez<sup>1(\*)</sup>, Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>2</sup>, Ícaro Monteiro Galvão<sup>3</sup> and Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP/FCA). Av. Universitária, nº 3780, Altos do Paraíso, CEP 18610-307 Botucatu, SP, Brazil. e-mail: betomario1494@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Engenharia. Avenida Brasil, 56, Centro, CEP 15385-000 Ilha Solteira, SP, Brazil. E-mail: fernando.braz@unesp.br

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: icaro.monteiro@usp.br

<sup>4</sup> Universidade Federal de Sergipe. Av. Marechal Rondon, s/n, Jd. Rosa Elze, CEP 49100-000 São Cristóvão, SE, Brazil. E-mail: heribert@globomail.com  
(\*Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 7 December 2020

Accepted 9 December 2020

### Index terms:

remote sensing

modeling

*Saccharum officinarum*

## ABSTRACT

The knowledge of crop coefficients and crop evapotranspiration is an important tool for agricultural planning in irrigated areas, since this information is used to determine the water demand of the crops. The objective of this work was to determine the cultivation coefficients through the  $ET_r/ET_0$  ratio in the different phenological phases with the application of the SAFER model by means of remote sensing. In the calculation of the  $ET_r/ET_0$  ratio, the behavior of the curve formed by the determined values showed coherence with the curves found in the literature. However, the values found were lower than those recommended.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; GALVÃO, I. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Determinação dos coeficientes de cultivo e a evapotranspiração real da cana-de-açúcar com o uso do modelo SAFER. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.28, e026831, 2020.

Disclaimer: this papers is published as accepted by the INOVAGRI Meeting Virtual 2020. There was no further peer review by AGROMETEOROS editorial board.