

ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA DO TOMATEIRO INDUSTRIAL UTILIZANDO O ALGORITMO SAFER

DEBORAH LIDYA ALVES SALES¹; JOSÉ ALVES JÚNIOR²; DERBLAI CASAROLI²; ADÃO WAGNER PEGO EVANGELISTA² E JOÃO MAURICIO FERNANDES SOUZA³

¹Prof.^a. Mestre da Faculdade Metropolitana de Anápolis FAMA/Av. Fernando Costa, 49 - Vila Jaiara St. Norte, Anápolis - GO, 75064-780, Brasil, email: deborahlidyasales@gmail.com

²Prof. Doutor do Núcleo de Pesquisas em Clima e Recursos Hídricos do Cerrado – Escola de Agronomia - Universidade Federal de Goiás, Rodovia Goiânia / Nova Veneza, Km 0, Goiânia, Goiás, CEP: 74690-900, Brasil, email: jose.junior@pq.cnpq.br, derblaicasaroli@yahoo.com.br, awpego@pq.cnpq.br

³Prof. Doutor do Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA/Av. Universitária Km. 3, 5 - Cidade Universitária, Anápolis - GO, 75083-515, Brasil, email:joaomfsouza@gmail.com

1 RESUMO

Objetivo do estudo foi estimar a evapotranspiração atual (ETa), e os respectivos coeficientes de cultura de dois híbridos de tomateiro industrial pelo modelo de balanço de energia utilizando o algoritmo SAFER, com comparação com tradicional método micrometeorológico utilizando evapotranspiração de referência (ETo), com os Kcs recomendados pela FAO 56 e EMBRAPA. O estudo foi realizado na Fazenda cabeceira do Piracanjuba, no município de Silvânia-GO, no período de maio a agosto de 2015. Além disso, foi monitorado o potencial de água na folha e o conteúdo de água no solo pelo balanço hídrico dinâmico local. Os valores de Kcs estimados pelo método do SAFER apresentou significativa correlação com os métodos FAO 56 e Embrapa (FAO 56, $R^2 = 0,98$; Embrapa, $R^2 = 0,95$). A ETc estimada pelo método do SAFER apresentou significativa correlação com os métodos micrometeorológicos (FAO 56, $R^2 = 0,97$; Embrapa, $R^2 = 0,97$), podendo este ser utilizado para estimativa da ETa na região.

Palavra-chaves: necessidade hídrica, imagens de satélite, balanço de energia, irrigação

SALES, D. L. A.; ALVES JÚNIOR, J.; DERBLAI, C.; SOUZA, J. M. F.
EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE AND CROP COEFFICIENT OF
INDUSTRIAL TOMATOES USING THE SAFER ALGORITHM

2 ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the current evapotranspiration and the respective cultivation coefficients of two industrial tomato hybrids by the energy balance model using the SAFER algorithm, using a traditional micrometeorological method using ETo (Penman-Monteith) reference evapotranspiration with the Kcs recommended by FAO 56 and EMBRAPA. The study was carried out at the Piracanjuba head farm, in the municipality of Silvânia, GO, from May to August 2015. In addition, the potential of leaf water and soil water content was monitored by the local dynamic water balance. The Kcs estimated by the SAFER method presented a significant correlation with the FAO 56 and Embrapa methods (FAO 56,

$R^2 = 0.98$, Embrapa, $R^2 = 0.95$). The ETc estimated by the SAFER method showed a significant correlation with the micrometeorological methods (FAO 56, $R^2 = 0.97$, Embrapa, $R^2 = 0.97$), which could be used to estimate ETa in the region.

Keywords: water requirements; satellite images; energy balance and irrigation.

3 INTRODUÇÃO

A produção de tomate se destaca no cenário agroindustrial brasileiro. O Estado de Goiás se destaca com 65% desta produção, seguido pelos estados de São Paulo, com 12,7%, e Minas Gerais, com 1,3% da produção nacional (FAEG, 2014). Esse destaque deve-se basicamente às condições edafoclimáticas mais favoráveis à cultura do tomate rasteiro em relação a outras zonas tradicionais de cultivo no país (HOTT et al., 2014).

A cultura do tomate industrial é quase totalmente irrigada, e o método de irrigação por aspersão é o mais utilizado nesta cultura. Na região do Cerrado brasileiro, o sistema de pivô central é utilizado em mais de 90 % (KOETZ, 2008). Entretanto, se o manejo da irrigação for incorreto, este pode levar a aplicações excessivas de água, que acarretarão no desperdício do recurso hídrico, podendo inferir em aumento da incidência de doenças e pragas agrícolas.

Portanto, a quantificação da evapotranspiração (ET) é indispensável para o manejo hídrico em cultivo irrigado, pois esta representa a demanda hídrica da cultura, e seu conhecimento evita desperdício de água e energia, ou quebras de produtividade. Como método direto, tem-se a lisimetria tanto de pesagem, drenagem e lençol freático constante, e como métodos indiretos têm-se os métodos de balanço hídrico, razão de Bowen, correlações turbulentas e mais recentemente o sensoriamento remoto.

A combinação de sensoriamento remoto com estações agrometeorológicas possibilita avaliar variáveis para possível melhoramento no manejo da irrigação e um possível diagnóstico da quantidade necessária de água a ser aplicada.

Os dados obtidos através do sensoriamento remoto para o cálculo dos fluxos de energia que ocorrem na interface solo-vegetação-atmosfera utilizam-se de algoritmos para obtenção desses elementos (BEZERRA et al., 2008). Um desses é o SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) que foi desenvolvido por Teixeira et al. (2012).

O SAFER é um algoritmo simplificado que tem apresentado bons resultados na estimativa da ET em larga escala. Esse algoritmo tem a vantagem de não ser obrigatório o uso da banda termal, possui uma aplicação mais simples, necessitando apenas dos dados de evapotranspiração de referência (ETo), radiação global (Rg) e temperatura média do ar (Ta) obtidos através de estações agrometeorológicas para juntamente com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, chegando ao balanço de energia incluindo a evapotranspiração atual (ETa) que pode ser utilizada como ferramenta no auxílio do manejo da irrigação em diferentes culturas, ao definir corretamente a relação ETa/ETo ou coeficiente de cultura atual.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do algoritmo SAFER como uma alternativa para estimar a evapotranspiração atual da cultura (ETa) de dois híbridos de tomateiro para o processamento industrial, N901 e H1308, e os seus respectivos coeficientes de cultura (Kc) pelo modelo de balanço de energia, utilizando imagens do satélite Landsat 8 OLI/TIRS, e comparando-o com o método micrometeorológico utilizando ETo Penman Monteith e os Kcs padrão FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e Embrapa (MAROUELLI et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área irrigada por pivô central de 63 ha, no período de maio a agosto de 2015, na fazenda Cabeceira do Piracanjuba, no município de Silvânia-GO, localizada em 16°24'09''S e 48°52'44''O, 1036m de altitude. O clima da região é classificado como *Aw*, segundo a classificação de Köppen, sendo as chuvas concentradas no verão e período seco no inverno (SOUZA, 2011).

Os híbridos comerciais utilizados no estudo foram: Heinz 1308 (H-1308) e Nunhems 901 (N-901), sendo 50% da área do pivô central (31,5 ha) para cada um. Para a estimativa da evapotranspiração atual (ETA) e os respectivos coeficientes de cultura, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 8 (OLI/TIRS), órbita/ponto 222/71; 221/72, adquiridas gratuitamente no banco de imagens do *United States Geological Survey* (USGS, 2015). As imagens selecionadas para o estudo foram adquiridas aos 16 dias após o transplântio (DAT), no dia 08/06/2015, aos 32 DAT em 24/06/2015, 41 DAT em 03/07/2015, 49 DAT em 10/07/2015, 58 DAT em 19/07/2015, 65 DAT em 26/07/2015, 74 DAT em 04/08/2015, 81 DAT em 11/08/2015, 90 DAT em 20/08/2015, 106 em 05/09/2015; e 122 DAT no dia 21/09/2015.

A evapotranspiração de referência (ET_0) foi determinada pelo método de Penmanm-Monteith, utilizando dados meteorológicos provenientes da estação meteorológica do Porto Seco Centro-Oeste localizada em 16°23'33''S e 48°55'70''O, 1110m de altitude aproximadamente a 8 km da área de estudo.

Para obtenção da estimativa da evapotranspiração via sensoriamento remoto as imagens foram processadas, com correções geométricas, calibrações radiométricas e informações biofísicas para o cálculo da evapotranspiração.

Após a obtenção das imagens, estas foram importadas para o algoritmo SAFER incorporado no software Arc Gis®10.2.2, onde foram obtidos os valores médios dos parâmetros biofísicos que compõem a evapotranspiração atual e o coeficiente de cultura (K_c), para a área total de estudo. Com a ferramenta de programação e cálculo utilizou-se a função *raster calculator* disponível no software gerenciador de Sistema de Informações Geográficas (SIG) que permite o cálculo e aplicação da modelagem através de dados *raster*.

Para converter os valores quantizados e calibrados (DN) do sistema sensor LANDSAT 8 OLI para radiância e reflectância espectral, utilizou-se coeficientes radiométricos disponibilizados no arquivo de metadados das imagens. Inicialmente foram realizadas correções atmosféricas e posteriormente foi realizada a conversão dos valores digitais em radiância espectral (CHANDER; MARKHAM, 2003) para cada banda por meio da Eq. 01, sendo que a Radiância (L_λ) é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, sendo medida em watts por metro quadrado por esterradiano ($Wm^{-2} sr^{-1}$).

$$L_\lambda = \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) Q_{cal} + Q_{min} \quad (01)$$

Em que:

L_{MAX} = radiância máxima ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$)

L_{MIN} = radiância mínima ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$)

Q_{cal} = intensidade do pixel (ND), número inteiro variando de 0 a 255.

Para cada banda foi calculada então a reflectância (p_λ) a partir dos valores de radiância obtidos na etapa anterior, sendo a reflectância o processo pelo qual a radiação “resvala” num objeto como o topo de uma nuvem, um corpo d’água, ou o solo exposto (Eq. 2):

$$p_\lambda = \frac{\pi \times L_\lambda}{ESUN_\lambda \times \cos Z \times E_0} \quad (02)$$

Em que:

L_λ = radiância de cada banda

$ESUN_\lambda$ = irradiância espectral no topo da atmosfera

$\cos Z$ = ângulo zenital

E_0 = ângulo diário

Em que E_0 é definido por (Eq. 3):

$$E_0 = 1,000110 + 0,0342221 \cos(da) + 0,001280(da) + 0,000719 \cos(2 \times da) + 0,000077 \sin(2 \times da) \quad (03)$$

Em que:

da = ângulo diário

Em que da é definido por (Eq. 4):

$$da = (d_n - 1) \frac{2\pi}{365} \quad (04)$$

Em que:

dn = dia Juliano da imagen

A obtenção do albedo no topo da atmosfera foi feito pela Eq. 5 abaixo:

$$\alpha_{top} = \Sigma(\omega_p \times p_\lambda) \quad (05)$$

Em que:

p_λ = reflectância

ω_λ = coeficiente de calibração para cada banda

Em que ω_λ é obtido pela Eq. 6:

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\Sigma ESUN_\lambda} \quad (06)$$

No SAFER, o albedo de superfície (α_0) foi estimado a partir do albedo no topo da atmosfera pela Eq. 7:

$$\alpha_0 = a * \alpha_{top} + b \quad (07)$$

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

Para elaborar a carta de temperatura da superfície (T_0), utilizou-se as imagens do infravermelho termal das bandas 10 (faixa espectral de 10,6 a 11,19 μm) e 11 (faixa espectral de 11,5 a 12,51 μm) do sensor TM do satélite Landsat - 8, com resolução espacial de 100 metros.

A temperatura de superfície (T_0) foi calculada pela Eq. 8:

$$T_0 = 1,11 \times T_{bright} - 31,89 \quad (08)$$

Em que T_{bright} obtido pela Eq. 9:

$$T_{bright} = \frac{1260,56}{\ln\left(\frac{607,76}{L_{termal} + 1}\right)} \quad (09)$$

Sendo: L_{termal} = radiância (L_λ) das bandas 10 e 11

Em seguida estimou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pela Eq. 10:

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (10)$$

Em que IVP é a reflectância da banda do infravermelho próximo e V a reflectância na banda do vermelho.

Em seguida, com os dados α_0 , T_0 e NDVI foi possível calcular os valores instantâneos da relação ET/ET_0 pela Eq.11:

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp\left[a + b\left(\frac{T_0}{\alpha_0 * NDVI}\right)\right] \quad (11)$$

Para o coeficiente “a” foi utilizado o valor de 1,0 (HERNANDEZ et al., 2012; TEIXEIRA et al., 2013) determinado para o Noroeste Paulista, demonstrando ser bem adaptado às condições da região estudada. O coeficiente “b” foi obtido por Teixeira (2010) e corresponde ao valor de -0,008 e ET_0 é a evapotranspiração de referência, dada em milímetros por dia (mm d^{-1}), método Penman-Monteith, conforme boletim FAO N° 56 (Allen et al. 1998).

Em seguida os valores instantâneos da relação (ET/ET_0) foram multiplicados pelos valores diários da ET_0 , chegando assim à evapotranspiração atual (ET_a) Eq. 12:

$$ET_a = \frac{ET}{ET_0} \times ET_0 \quad (12)$$

A estimativa da evapotranspiração potencial da cultura é obtida pelo método da FAO Boletim 56 (ALLEN et al., 1998) através da Eq. 13:

$$ET_c = ET_0 \cdot K_c \quad (13)$$

Em que: ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm/dia); ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm/dia); K_c coeficiente de cultura (adimensional) – FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

Em casos que a cultura apresenta total disponibilidade hídrica, através da relação ET_a/ET_0 chega-se ao valor do coeficiente da cultura (K_c) os respectivos coeficientes de cultura (K_c), pelo SAFER, foram calculados pela Eq. 14:

$$K_c = \frac{ET_a}{ET_0} \quad (14)$$

O monitoramento do status hídrico da cultura foi através do monitoramento do potencial de água na folha semanalmente (Câmara de Scholander) e pelo conteúdo de água no solo.

O potencial de água na folha foi realizado semanalmente, por volta das 10h da manhã, horário de passagem do satélite Landsat 8 (OLI/TIRS). As amostras foram coletadas aleatoriamente em cinco plantas por parcela. As aferições foram realizadas instantaneamente, no local logo após a retirada da folha da planta, para evitar perdas por evaporação. Então, o potencial foi comparado a um valor de potencial crítico (ψ_{fc}) (-0,40 a -0,60 Mpa) para a cultura do tomate (THOMPSON et al., 2007) para verificar o status hídrico das plantas nos dias de passagem do satélite.

O cálculo do balanço hídrico diário do solo foi feito considerando a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), o cálculo do balanço hídrico tem início na data de plantio com a umidade inicial do solo igual à CAD ou igual à umidade determinada pelo usuário. Com a perda de água para a atmosfera através da evapotranspiração, o solo reduz sua disponibilidade de água para a planta. O volume que falta para atingir a CAD determina a “Deficiência Hídrica do Solo”. Quando a quantidade de chuva ou irrigação é maior do que o volume necessário para repor a deficiência hídrica, ocorre o “Excedente Hídrico do Solo”. Esse volume corresponde à perda por escoamento INMET (2015).

Para avaliação do desempenho estatístico do método de estimativa de evapotranspiração pelo algoritmo (SAFER) foi avaliado correlacionando-se os dados estimados pelo sensoriamento remoto com os estimados pelo método padrão da FAO 56 e Embrapa Hortaliças, através de uma análise de regressão linear em que se consideraram os indicadores estatísticos, R-quadrado, coeficiente de correlação simples de Pearson “r” e pelo índice de Willmontt “d”. O índice de ajustamento d de Willmontt, que varia de 0 a 1, representa o quanto os valores estimados ajustam-se a valores medidos, ou seja, é uma medida de quão bem o modelo estima o afastamento dos dados da média observada (WILLMOTT et al., 1985) Eq. 15.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (15)$$

Sendo: P_i o valor estimado; O_i o valor observado; O a média dos valores observados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período da fase inicial do transplantio ao pegamento das mudas foi de 27 dias; a fase vegetativa 36 dias, fase de florescimento e frutificação 36 dias e da maturação a colheita 23 dias, sendo o ciclo da cultura avaliado, de 122 dias.

A necessidade hídrica total da lavoura foi de 351,97 mm, 340,97 mm e 356,24 mm ao longo do ciclo, pelos métodos FAO 56, EMBRAPA e SAFER. Ao longo do ciclo, a cultura

recebeu 382,50 mm via irrigação (lâmina líquida), suprimindo, portanto, a necessidade hídrica da cultura.

A temperatura média do ar, ao longo do ciclo da cultura, foi de 22,20 °C sendo esta favorável para o desenvolvimento da cultura, pois, de acordo com Alvarenga (2013), o tomateiro suporta ampla variação de temperatura, de 10 °C a 34 °C. Para a síntese normal de licopeno (pigmento que confere a coloração vermelha ao fruto), a temperatura ótima normal diária varia de 20 °C a 24 °C. Temperaturas acima desse valor são desfavoráveis para a coloração típica dos frutos, aumentando a porcentagem de frutos com coloração amarela.

De maneira geral, as faixas de temperaturas ótimas, são: para a formação das mudas entre 20 °C a 25 °C; florescimento entre 18°C a 24°C; pegamento de frutos entre 19 °C a 24 °C; e na fase de maturação de 20°C a 24°C. Isso demonstra que as condições climáticas ao longo do ciclo foram normais para região, sem nenhum evento atípico.

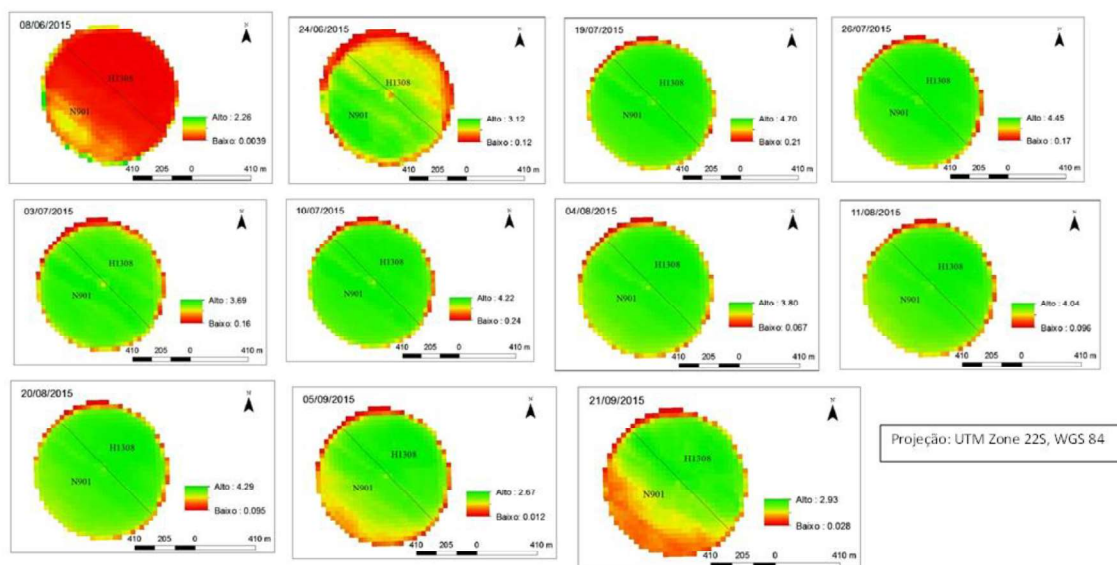
A produtividade média foi de 101 t.ha⁻¹, ficando um pouco acima da média da região, 80 a 85 t.ha⁻¹. Mas, de acordo com Silva (2014), alguns produtores, na região, conseguem até 145 t.ha⁻¹. O rendimento do tomateiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo. Em situações tanto de deficiência quanto de excesso de água, nos diferentes estádios da cultura, a produtividade da cultura é reduzida em diferentes proporções. Os efeitos do déficit hídrico são iniciados quando a taxa de evapotranspiração é maior do que a taxa de absorção de água pelas raízes e sua transmissão para as partes aéreas da planta. Assim, para a obtenção de elevadas produtividades do tomateiro deve-se evitar o déficit ou excesso de água no solo em qualquer fase do ciclo da cultura (EMBRAPA, 2003). Isso demonstra que este ciclo de tomateiro avaliado, foi bem representativo da região, o que aumenta a confiabilidade dos dados de evapotranspiração obtidos.

O potencial de água na folha médio ao longo do ciclo foi de -0,34 Mpa, quando comparado, com o valor de potencial crítico (-0,40 a -0,60 Mpa) relatado na literatura para a cultura (THOMPSON et al., 2007), observa-se que as plantas não sofreram déficit hídrico.

Isso também pode ser evidenciado com o balanço hídrico da cultura, mostrando que o conteúdo de água no solo, ao longo do ciclo, não ultrapassou de maneira significativa, em nenhum momento, o limite crítico de 40% da água retida entre θ_{CC} e θ_{PMP} . Assim, pôde-se considerar as evapotranspirações atuais (ETA) estimadas pelo método SAFER, como evapotranspirações potenciais (ETc). Pois, de acordo com Allen et al. (1998), a ETc é a evapotranspiração máxima potencial de uma cultura, sem restrição hídrica, em boas condições ambientais, nutricionais e fitossanitárias. Houve apenas uma exceção, na fase final do ciclo, onde foi observado que as plantas sofreram déficit hídrico. De acordo com Marouelli et al. (2008), trata-se de um manejo comum na produção de tomates, o corte da água de 20 a 30 dias antes da colheita para favorecer a maturação e a concentração de sólidos solúveis nos frutos.

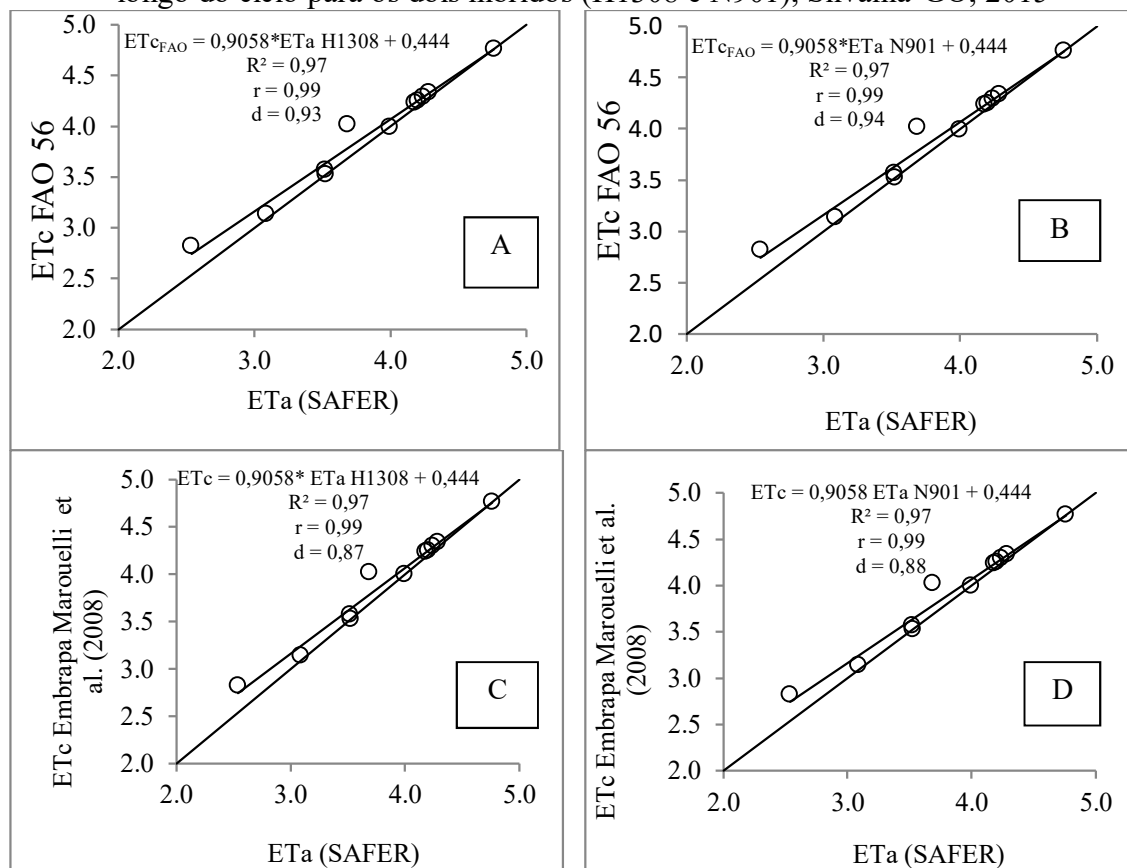
Na Figura 1 visualizam-se os mapas de ETA nos meses de junho a setembro de 2015 para área de estudo. Nota-se que, dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, os valores de ETA variaram. No entanto, os valores maiores foram observados, na fase em que a cultura encontrava-se em pleno desenvolvimento 49 DAT, com início da floração. Os menores valores de ETA foram observados no início e no final do ciclo, fase de pegamento das mudas e fase final de ciclo próximo á colheita, respectivamente.

Figura 1. Mapas de Evapotranspiração atual pelo modelo SAFER referente ao período de junho a setembro de 2015, cultura do tomate industrial irrigada por pivô central (híbridos N901e H1308), Silvânia – GO.



Quando se compara os valores de ET_a estimados pelo SAFER, com os valores de ET_c (FAO 56), nota-se uma grande similaridade entre os dados, especialmente nas fases em que a cultura encontra-se em pleno desenvolvimento (03/07, 10/07, 19/07, 26/07, 04/08, 11/08 e 20/08). E nas duas primeiras datas (08/06; 16 DAT e 24/06; 32 DAT), o modelo SAFER subestimou o valor de ET_a em comparação as ET_c estimada pelos métodos da FAO 56 e EMBRAPA por estar no início do ciclo na fase 1, com superfície descoberta devido a pouca presença de vegetação. A subestimativa da ET_a pelo SAFER também foi observada na fase final do ciclo. Esse efeito pode ser explicado devido ao fato da cultura estar entrando na fase de senescência, diminuindo a cobertura do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Sales et al. (2016) em estudos com a cultura do feijão irrigado na região do Cerrado (Distrito Federal). Esse efeito pode ser explicado devido ao fato da cultura, tanto no início de ciclo como na fase final do período vegetativo, com solo exposto e folhas amareladas, respectivamente, ter influência direta na determinação do NDVI.

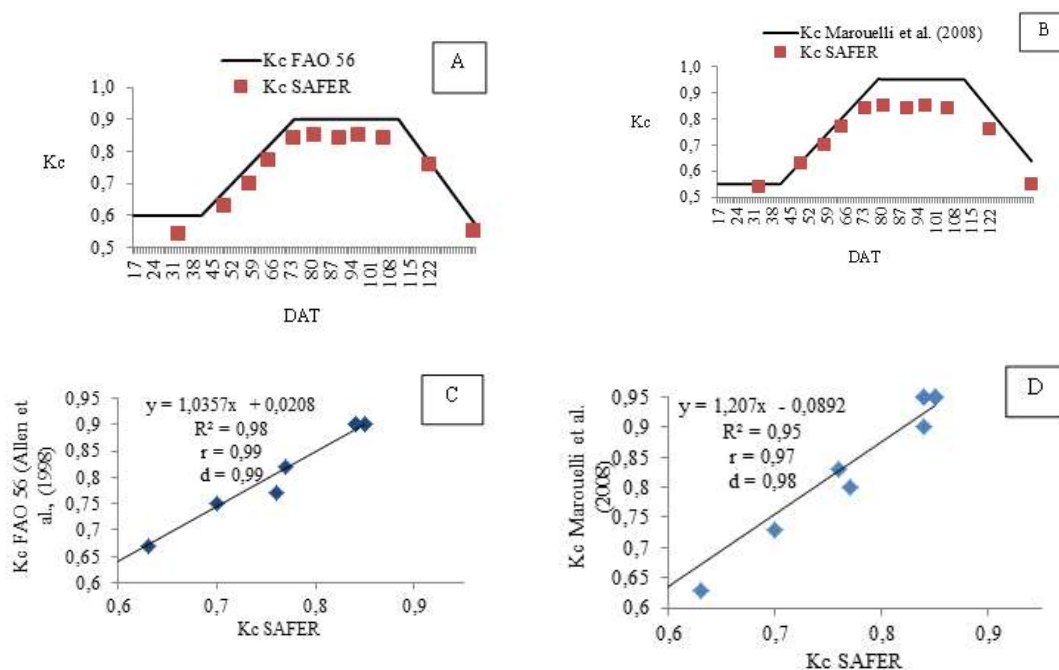
Figura 2. Comparativo da ETc estimada pelo método padrão FAO-56 (Allen et al., 1998), com evapotranspiração estimada atual (ETa) utilizando o SAFER (A) e (B), Comparativo da ETc estimada pelo método EMBRAPA (Marouelli et al., 2008), com evapotranspiração estimada atual (ETa) utilizando o SAFER (C) e (D), ao longo do ciclo para os dois híbridos (H1308 e N901), Silvânia-GO, 2015



Para o comparativo da ETc estimada pelo método padrão FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e Embrapa (MAROUELLI et al., 2008), a curva de regressão (Figura 2) que melhor se ajustou aos dados foi a linear, onde a correlação de Pearson “r” apresentou um valor de $r = 0,99$ para ambos os híbridos e para ambos os métodos de estimativa de ETc, sendo assim muito próximo de 1; o índice de Willmott “d” apresentou um valor equivalente a 0,93 e 0,94 para os híbridos H1308 e N901, respectivamente, para o método de estimativa de ETc (FAO), sendo próximo de 1; já no método de estimativa de ETc Embrapa (MAROUELLI et al., 2008), o índice de Willmott “d” apresentou um valor equivalente a 0,87 e 0,88 para os híbridos H1308 e N901, e o R² apresentou um valor equivalente a 0,97 para ambos híbridos e para ambos os métodos de estimativa de ETc, sendo próximo de 1; mostrando que ajustou bem para os resultados das variáveis analisadas indicando assim uma forte relação entre as duas variáveis analisadas.

Os valores de coeficiente de cultura obtidos pelo SAFER, associados com os valores adaptados dentro dos limites estabelecidos pela FAO 56 (Allen et al., 1998) para a cultura do tomateiro industrial.

Figura 3. Comparativo de Kc estimado pelo método padrão FAO-56 (ALLEN et al., 1998), Embrapa (MAROUELLI et al., 2008) SAFER (A) e (B) e Correlação de Kc estimado pelo método Embrapa (MAROUELLI et al., 2008), FAO-56 (ALLEN et al., 1998) SAFER (C) e (D), ao longo do ciclo para os dois híbridos (H1308 e N901), Silvânia-GO, 2015.



Os valores obtidos no atual estudo são próximos aos recomendados por Allen et al. (1998) para a cultura do tomateiro rasteiro, cultivado sem restrição hídrica e com a ET_0 obtida por Penman-Monteih. Isso mostra a viabilidade do uso do SAFER pra estimativa da ET_a desta cultura. A comparação entre os dois métodos a curva de regressão que melhor se ajustou aos dados foi a linear, apresentou o coeficiente de determinação $R^2 = 0,98$; a correlação de Pearson “r” apresentou um valor de $r = 0,99$, sendo muito próximo de 1; o índice de Willmontt “d” apresentou um valor equivalente a 0,99; observa-se que houve um bom ajuste para os resultados das variáveis analisada, utilizando os dados de Kc obtidos pelo SAFER relacionados com o de Allen et al. (1998), evidenciando assim uma forte relação entre as duas variáveis analisadas.

Os valores de coeficiente de cultura obtidos pelo SAFER, associados com os valores de Marouelli et al. (2008) para tomate industrial. Quando comparados os valores encontrados pelo SAFER com os Kc recomendados pela Embrapa (MAROUELLI et al., 2008) para as condições edafoclimáticas do Cerrados (Figura 6), a curva de regressão que melhor se ajustou aos dados foi a linear, observou-se que o coeficiente de determinação encontrado foi de $R^2 = 0,95$, a correlação de Pearson “r” apresentou um valor de $r = 0,97$ sendo muito próximo de 1; o índice de Willmontt “d” apresentou um valor equivalente a 0,98; observa-se que houve um bom ajuste para os resultados das variáveis analisadas, evidenciando assim uma forte relação entre os dois métodos analisados.

A partir dos resultados obtidos, o modelo SAFER mostrou-se consistente na avaliação do consumo de água do tomateiro, demonstrando ser um algoritmo recomendado para a estimativa da evapotranspiração atual da cultura.

6 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e analisados, conclui-se que o SAFER é um algoritmo promissor para a estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura. Os valores de ETa e Kc estimados com o SAFER apresentou significativa correlação com métodos FAO e Embrapa, podendo este ser utilizado para estimativa da ETa e Kc do tomateiro industrial na região.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARENGA, M. A. R. **Origem, botânica e descrição da planta**. In: TOMATE: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. 2. ed. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- 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**, Piracicaba, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.
- CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, 2003.
- EMBRAPA. Tomate industrial: sistema de produção. Versão eletrônica. Jan, 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/mudas.htm>>. Acesso em: 20 dez. 2015.
- FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS - FAEG. Dados da safra de tomate do ano 2014. Goiânia, 2014. Disponível em: <<http://sistemafaeg.com.br/noticias?start=30>>. Acesso em: 10 dez. 2015.
- 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, 7., 2012, Geisenheim. **Proceedings...** Alemanha, v.7 n.1, p. 51 , 2012
- HOTT, M. O.; LIMA, V. L. S.; PEREIRA, L. R.; SOUZA, J. M.; REIS, E. F. Produção de biomassa na fase vegetativa do tomateiro em função da tensão de água no solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 2389-2398, 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Agrometeorologia. Brasília, 2015 ano de publicação. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em: 10 out. 2015

KOETZ, M.; MASCA, M. G. C. C.; CARNEIRO, L. C.; RAGAGNI, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; RODRIGUES, R. Produção de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 2, n. 1, p. 9-15, 2008.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade de água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2. ed. ver. atual. ampl. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2008. 150 p.

SALES, D. L. A.; ALVES JUNIOR, J.; SOUZA, J. M. F.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA, R. M. Common bean evapotranspiration estimated by orbital images. **African Journal of Agricultural Research**, Nigéria, v. 11, p. 867-872, 2016.

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**, Petrolina, n. 2, v. 4, p. 1287-1319, 2010.

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: SPIE **Remote Sensing**, 2012, Edinburgh. Proc. SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, XIV, v. 8531. p. 1-10, 2012. Disponível em: < ftp://ftp.feis.unesp.br/agr/pdf/heriberto_safer_landsat.pdf > Acesso em: 10 dez. 2015.

TEIXEIRA, A. H. C.; LOPES, H. L.; HERNANDEZ, 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**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO (SBSR). Anais... São José dos Campos: INPE, 2013.

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; VALDEZ, L. C.; FERNANDEZ, M. D. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 88, n. 1/3, p. 147-158, 2007.

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 the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, p. 8995-9005, 1985.