

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO GIRASSOL PELO MÉTODO DO TANQUE CLASSE “A” NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Poliana de Caldas Pereira¹, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim², Lucivania Rodrigues Lima³, Maria Gabriela de Queiroz⁴, Thieres George Freire da Silva⁵, José Edson Florentino de Morais⁶

RESUMO

Objetivou-se com esta pesquisa estimar a evapotranspiração do girassol (*Helianthus annuus* L.), com diferentes valores do coeficiente do Tanque Classe “A” (K_p) na região do Vale do Pajeú, Pernambuco, Semiárido brasileiro. A pesquisa foi realizada em Serra Talhada, Pernambuco, empregando dados meteorológicos e do Tanque Classe “A” do período de outubro de 1999 a fevereiro de 2011. Com os valores médios mensais de K_p de sete métodos, obtidos dos anos ímpares do período de estudo estimou-se os valores de evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe “A” ($ET_{O(TCA)}$) e evapotranspiração da cultura do girassol pelo método do Tanque Classe “A” ($ET_{C(TCA)}$), para os anos pares do mesmo período. Em sequência, os valores de $ET_{C(TCA)}$ foram estimados para diferentes ciclos da cultura ao longo do ano e avaliados por meio do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, e através de índices estatísticos, sempre considerando a evapotranspiração da cultura pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (ET_{CPM}), como referência. Os resultados mostraram que todos os valores de $ET_{O(TCA)}$, superestimaram a ET_{OPM} , tendo destaque $ET_{O(TCA)K_{pSnyder}}$ por apresentar a maior diferença. Para a simulações dos valores de $ET_{C(TCA)}$ nos diferentes ciclos, os piores desempenhos foram para as $ET_{C(TCA)K_{pFAOB}}$ e $ET_{C(TCA)K_{pSnyder}}$, e os melhores foram expressos pelas $ET_{C(TCA)K_{pRef}}$ e $ET_{C(TCA)K_{pPereira}}$. As $ET_{C(TCA)K_{pSnyder}}$ e $ET_{C(TCA)K_{pFAOB}}$, também, se comportaram de forma insatisfatória quando foram submetidas aos índices estatísticos, superestimando as lâminas de irrigação. Já os resultados das $ET_{C(TCA)K_{pRef}}$ e $ET_{C(TCA)K_{pPereira}}$ tiveram os melhores desempenhos, assim recomenda-se o uso dos valores dos K_{pRef} e $K_{pPereira}$.

Palavras-chave: *Helianthus annuus* L., manejo de irrigação, métodos estatísticos

¹ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), e-mail: po.caldas@hotmail.com

² Técnico em Agropecuária, Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Produção Vegetal, pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/UAST), e-mail: alexandremrfj@gmail.com

³ Bióloga, Mestre em Produção Vegetal, pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE/UAST), e-mail: lucivania_rodrigues@hotmail.com

⁴ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), e-mail: mg.gabi@hotmail.com

⁵ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Professor Adjunto IV da Área de Meteorologia Aplicada à Ciências Agrárias, Ambientais e Exatas, e-mail: thieres_freire@yahoo.com.br

⁶ Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e-mail: joseedson50@hotmail.com

EVAPOTRANSPIRATION OF THE SUNFLOWER BY THE CLASS “A” PAN METHOD IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the evapotranspiration of sunflower (*Helianthus annuus* L.), with different coefficient values of Class-A pan coefficient (K_p) in the Pajeú Valley, Pernambuco, Brazil semi-arid region. The survey was conducted in Serra Talhada, Pernambuco, using meteorological data and Class-A pan from October 1999 to February 2011. With the average monthly values of K_p seven methods, obtained from the odd years of the study period, it estimated the evapotranspiration reference by method Class-A pan ($ET_{O(TCA)}$) and sunflower crop evapotranspiration by method Class-A pan ($ET_{C(TCA)}$) for the same period even years. In sequence, the values $ET_{C(TCA)}$ were estimated for different crop cycles throughout the year and assessed by the Tukey test, at 5% probability, and using statistical indices, always considering the crop evapotranspiration by Penman-Monteith FAO 56 (ET_{CPM}) as a reference. The results showed that all values $ET_{O(TCA)}$, overestimated ET_{OPM} , having featured $ET_{O(TCA)}K_{pSnyder}$ to present the biggest difference. For simulations of values $ET_{C(TCA)}$ in different cycles, the worst performers were for $ET_{C(TCA)}K_{pFAOB}$ and $ET_{C(TCA)}K_{pSnyder}$, and the best were expressed by $ET_{C(TCA)}K_{pref}$ and $ET_{C(TCA)}K_{pPereira}$. The $ET_{C(TCA)}K_{pSnyder}$ and $ET_{C(TCA)}K_{pFAOB}$ also behaved unsatisfactorily when they were subjected to statistical indices, overestimating the irrigation levels. Already the result of $ET_{C(TCA)}K_{pref}$ and $ET_{C(TCA)}K_{pPereira}$ had the best performance, so it is recommended to use the values of K_{pref} and $K_{pPereira}$.

Keywords: *Helianthus annuus* L., irrigation management, statistical methods

INTRODUÇÃO

Com a escassez dos recursos hídricos no mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, é indispensável a otimização do uso da água afim de atender às necessidades humanas, industriais e da agricultura. Tratando-se da irrigação, objetivando obter um manejo hídrico eficiente, é conveniente o conhecimento das necessidades hídricas das culturas, sendo considerando como componente chave para esse problema o conhecimento de suas evapotranspirações (ET) (ALCARAS et al., 2016).

A ET trata-se da combinação de dois processos separados, sendo que em um deles a água é perdida da superfície do solo por evaporação e no outro é perdida pelas plantas através da transpiração (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração da cultura (ET_c) é um elemento indispensável no dimensionamento do manejo hídrico de diferentes espécies, sendo que está representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o desenvolvimento e

produtividade das plantas (PEREIRA et al., 2013). Desta forma, a otimização no manejo de irrigação está na quantificação da água a ser aplicada a uma determinada cultura, que é comumente associada à capacidade da superfície do solo e da vegetação de perder água para a atmosfera (ESTEVES et al., 2009; ALCARAS et al., 2016).

Para a obtenção da ET_c é necessário a utilização do coeficiente da cultura (K_c), que varia com a espécie e o estágio de desenvolvimento; e a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), processo onde uma superfície padrão gramada, sem restrição de umidade, perde água para a atmosfera (PEREIRA et al., 2013).

Na literatura há diferentes métodos de obtenção da ET_o que necessitam de muitas variáveis meteorológicas como o método de Penman-Monteith, contudo, existe métodos mais simples, que relaciona-se a um só componente, como é o caso do método do Tanque Classe “A” que utiliza medições de evaporação da água (SOUSA et al., 2010).

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO GIRASSOL PELO MÉTODO DO TANQUE CLASSE “A” NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Uma das dificuldades na obtenção da ETo por métodos dependentes de muitos elementos meteorológicos é a ausência de dados, desta forma, metodologias que não necessitem de tantas informações atmosféricas é uma alternativa viável, enquadrando entre essas alternativas o método do Tanque Classe “A”, que utiliza fatores climáticos (radiação solar, vento, temperatura e umidade relativa do ar) sobre a evaporação da lâmina de água livre (OLIVEIRA et al., 2008).

Além dos dados de evaporação, este método é dependente do coeficiente do Tanque Classe “A” (Kp), o qual é determinado por metodologias fundamentadas em valores médios de umidade relativa do ar, velocidade do vento, tamanho da bordadura e no tipo de superfície em que o tanque se encontra (PEREIRA et al., 2014). Também pode-se assumir as resistências da superfície e aerodinâmica (CUENCA, 1989; SNYDER, 1992; PEREIRA et al., 1995; ALLEN et al., 1998), para a sua determinação, ou simplesmente adotar de um único valor de Kp para todo o período do ano (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

A determinação da ETc vem sendo cada vez mais aplicada na agricultura. E na região semiárida do Nordeste brasileiro, onde quase todos os períodos do ano necessitam da irrigação para a obtenção de produtos

agrícolas, essa metodologia auxilia no uso eficiente da água na produção, tornando-se possível o cultivo de diferentes espécies e diminuindo o desperdício hídrico (CAVALCANTE JUNIOR et al., 2013; ALCARAS et al., 2016).

Devido a aplicação da técnica de irrigação, culturas como o girassol (*Helianthus annuus* L.) podem ser cultivadas durante todo o ano na região semiárida do Nordeste, uma vez que o seu desenvolvimento é afetado em situações de deficiência hídrica dos solos (SILVA et al., 2007; FREITAS et al., 2012). Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), utilizando diferentes valores de Kp para a região do Vale do Pajeú, Pernambuco.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área estudada abrange a região do Vale Pajeú, localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco (Lat. 7°59' S; Long. 38°15' O e Alt. 431 m), que apresenta um clima do tipo BSw^h' (com incidência de chuva na maioria nos meses mais quentes, e seca nos meses frios do ano), conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013) (Figura 1).

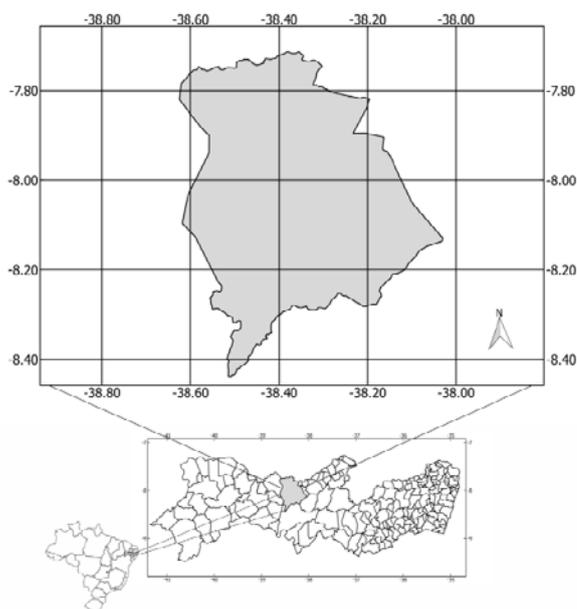


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo.

Esta pesquisa compreendeu o período de outubro de 1999 a fevereiro de 2011, o qual possui grande similaridade em relação aos valores da normal climatológica (1961-1990), indicando que a demanda atmosférica e a reposição de água durante o período de análise são representativas das condições climatológicas da região, permitindo a definição de valores médios de K_p ajustados localmente, conforme definidos por

Pereira et al. (2014).

A partir dos valores médios mensais do coeficiente do Tanque Classe “A” (K_p), determinados por Pereira et al. (2014), para Serra Talhada por sete métodos – $K_{p_{ref}}$, Pereira et al. (2014); Snyder (1992); Cuenca (1989); Pereira et al. (1995); FAO caso A e FAO caso B (ALLEN et al., 1998); e Doorenbos e Pruitt (1977) nos anos ímpares do período de estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Média mensal dos valores do coeficiente do tanque Classe “A” (K_p), calculados por meio de sete métodos: $K_{p_{ref}}$, Pereira et al. (2014); $K_{p_{Snyder}}$, Snyder (1992); $K_{p_{Cuenca}}$, Cuenca (1989); $K_{p_{Pereira}}$, Pereira et al. (1995); $K_{p_{FAOA}}$ e $K_{p_{FAOB}}$, Allen et al. (1998); e $K_{p_{D\&P}}$, Doorenbos e Pruitt (1977), para a série de dados dos anos ímpares, entre 1999 e 2011, em Serra Talhada, Pernambuco.

Meses	$K_{p_{ref}}$	$K_{p_{Snyder}}$	$K_{p_{Cuenca}}$	$K_{p_{Pereira}}$	$K_{p_{FAOA}}$	$K_{p_{FAOB}}$	$K_{p_{D\&P}}$
Jan.	0,732	0,898	0,726	0,725	0,700	0,817	0,750
Fev.	0,696	0,844	0,770	0,715	0,735	0,867	0,750
Mar.	0,805	0,830	0,773	0,720	0,750	0,877	0,750
Abr.	0,752	0,855	0,755	0,720	0,747	0,880	0,750
Mai.	0,688	0,846	0,686	0,700	0,750	0,890	0,750
Jun.	0,640	0,832	0,775	0,690	0,727	0,873	0,750
Jul.	0,667	0,850	0,770	0,685	0,723	0,867	0,750
Ago.	0,656	0,872	0,744	0,680	0,707	0,850	0,750
Set.	0,690	0,918	0,716	0,690	0,687	0,817	0,750
Out.	0,640	0,936	0,702	0,702	0,680	0,796	0,750
Nov.	0,660	0,935	0,703	0,720	0,690	0,800	0,750
Dez.	0,647	0,923	0,703	0,716	0,693	0,806	0,750
Anual	0,688	0,879	0,737	0,696	0,715	0,846	0,750

Fonte: Pereira et al. (2014).

Foi determinado a evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe “A” ($ET_{O(TCA)}$) e a evapotranspiração da cultura do girassol (ET_c), para os anos pares do mesmo período, conforme Equações 1 e 2, respectivamente:

$$ET_{O(TCA)} = ETCA \cdot K_{p(x)} \quad (1)$$

$$ET_c(TCA) = ET_{O(TCA)} \cdot K_c \quad (2)$$

em que,

$ET_{O(TCA)}$ = evapotranspiração de referência obtida usando os dados de K_p propostos pelos métodos (mm dia^{-1});

ETCA = evaporação do Tanque Classe “A”, adquirida na Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), para o período de estudo;

$K_{p(x)}$ = coeficiente do Tanque Classe “A”, referente aos valores de K_p dos sete métodos (decimal);

K_c = coeficiente de cultura, para cada uma das fases fenológicas do girassol (CAVALCANTE JUNIOR et al., 2013).

Sendo considerado como K_p de referência os valores de $K_{p_{ref}}$, devido Pereira et al. (2014), terem ajustado esse coeficiente pela relação entre a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (ET_{OPM}) com a evaporação do Tanque Classe “A”

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO GIRASSOL PELO MÉTODO DO TANQUE CLASSE “A” NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

(ETCA), dando maior confiabilidade a esses valores, por serem obtidos de uma grande quantidade de dados meteorológicos locais.

Os valores de ETc da cultura do girassol, estimados pelos dados médios mensais dos Kp (Tabela 1), foram simulados para quatro ciclos possíveis de 90 dias ao longo do ano, afim de observar as diferentes demandas hídricas durante o ano, sendo esses valores avaliados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Também foi analisado o desempenho dos valores de ETc conforme Equações 3, 4, 5, 6 e 7, por índices estatísticos de precisão (coeficiente de correlação, r); exatidão (índice de concordância, d); estimativas dos erros estatísticos (erro médio de estimativa - MBE e a raiz quadrada do quadrado do erro médio - RQME); e índice de confiança (c), resultante do produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d), sendo último conforme Camargo e Sentelhas (1997):

$$r = \frac{\left[\sum ETc_{(TCA)} \left(ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}} \right) \right]}{\left[\sum_{i=1}^n \left(ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}} \right)^2 \sum_{i=1}^n \left(ETc_{(TCA)} - \overline{ETc_{(TCA)}} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n \left(ETc_{(TCA)} - ETc_{PM} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\left| ETc_{(TCA)} - \overline{ETc_{PM}} \right| + \left| ETc_{PM} - \overline{ETc_{PM}} \right| \right)^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(ETc_{(TCA)} - ETc_{PM} \right) \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(ETc_{(TCA)} - ETc_{PM} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$c = d \cdot r \quad (7)$$

em que,

n = número de observações;

ET_{CPM} = valores acumulados da evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹), obtidos com a ET_{OPM} (evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith) e o K_c.

Sendo ET_{CPM} considerada como o método de referência de evaporação da cultura, esta pode ser determinada pela Equação 8:

$$ETc_{PM} = ETo_{PM} \cdot Kc \quad (8)$$

A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (ET_{OPM}) foi calculada pela Equação 9, proposta por Allen et al. (1998):

$$ETo_{PM} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{t_{méd} + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (9)$$

em que,

R_n = radiação líquida à superfície (MJ m⁻² dia⁻¹);

G = densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

t_{méd} = temperatura do ar média diária a 2 m de altura (°C);

u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s = pressão do vapor de saturação (kPa);

e_a = pressão do vapor atual (kPa);

Δ = declividade da curva de pressão do vapor (kPa °C⁻¹);

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Onde as variáveis meteorológicas, temperatura (T, °C), umidade relativa do ar (UR, %), radiação solar global (R_g, MJ m⁻² dia⁻¹) e de velocidade do vento a dois metros de altura (u₂, m s⁻¹) foram obtidas por meio de uma estação meteorológica automática da Agência Pernambucana de Água e Clima (www.apac.pe.gov.br), situada na área da Fazenda Saco, município de Serra Talhada-PE, para o período do estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que o comportamento dos valores médios de ET_o determinados pelo método da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}), em relação aos resultados obtidos pelo método de Tanque Classe “A”, utilizando os diferentes valores de

Kp (Tabela 1) pode-se constatar que todos os métodos superestimaram a ET_{OPM} , tendo destaque o valor de $ET_{O(TCA)}$ $K_{pSnyder}$, que

apresentou a maior diferença em relação ao de ET_{OPM} , chegando a ser de 76%, o que equivale a aproximadamente 58 mm (Figura 2).

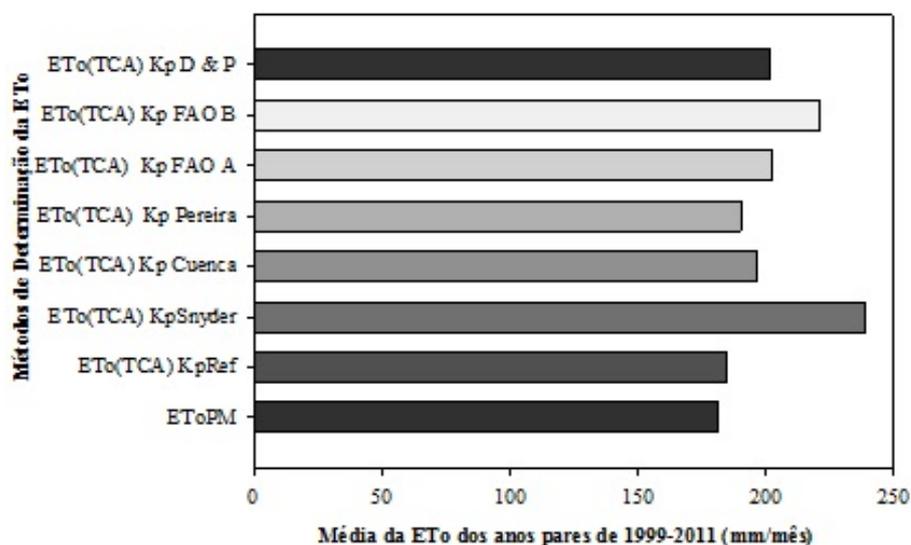


Figura 2. Média mensal da evapotranspiração de referência estimadas pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e do Tanque do Classe “A” considerando diferentes os valores de Kp, para a cidade de Serra Talhada, Pernambuco.

Também, merece destaque o comportamento dos resultados obtidos pelos métodos da evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe “A” ($ET_{O(TCA)}$) e coeficiente do tanque pela FAO caso B (K_{pFAOB}), $ET_{O(TCA)}$ e coeficiente do tanque pela FAO caso A (K_{pFAOA}) e $ET_{O(TCA)}$ método do tanque Classe “A” de Doorenbos e Pruitt (1977) ($K_{pD\&P}$), com 48, 24 e 23% a mais da ET_{CPM} , o que significa uma faixa de 39,21 e 20,5 mm, respectivamente (Figura 2).

Para os demais métodos, a $ET_{O(TCA)}$ K_{pRef} foi a que mais se aproximou dos valores de ET_{OPM} , possuindo somente 3% a mais (3 mm), seguido pelos valores de $ET_{O(TCA)}$ com os $K_{pPereira}$ e $K_{pSnyder}$, que tiveram 9 e 17%, o que gera uma diferença de aproximadamente 9 e 15 mm, respectivamente (Figura 2).

Cunha et al. (2011), em trabalho executado em Botucatu, São Paulo, verificou que em campo houve somente comportamento de superestimativa dos valores da $ET_{O(TCA)}$,

determinada pelos diferentes valores dos métodos de Kp em relação ao ET_{OPM} . Para o método proposto por Doorenbos e Pruitt (1977) que alcançou 12,4% no período seco da região e 26,7% no chuvoso. Os demais métodos subestimaram a $ET_{O(TCA)}$ em relação a ET_{OPM} , apresentando valores de 18,6 e 10,8% (CUENCA, 1989); 15,4 e 8,6% (SNYDER, 1992); 25,8 e 27,0% (PEREIRA et al., 1995); e 13,7 e 6,0% (ALLEN et al., 1998), durante o período seco e chuvoso, respectivamente.

Quanto aos valores de ET_c obtidos pelos diferentes métodos, com a utilização do K_c para cada fase fenológica do girassol, pode-se constatar um valor médio da ET_{CPM} de 405 mm nas condições de Serra Talhada-PE (Tabela 2), assemelhando-se ao obtido por Cavalcante Junior et al. (2013), de 442 mm, na cidade de Apodi, no Rio Grande do Norte, que é também uma região classificada por um clima muito quente e semiárido, conforme Köppen.

Tabela 2. Desempenho dos valores de Kp de sete métodos: K_{pRef} , Pereira et al. (2014); $K_{pSnyder}$, Snyder (1992); $K_{pCuenca}$, Cuenca (1989); $K_{pPereira}$, Pereira et al. (1995); K_{pFAOA} e K_{pFAOB} , Allen et al. (1998); e $K_{pD\&P}$, Doorenbos e Pruitt (1977), na determinação dos valores de ET_c da cultura do

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO GIRASSOL PELO MÉTODO DO TANQUE CLASSE “A” NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

girassol (*Helianthus annuus* L.), ao longo dos possíveis ciclos durante o ano, em Serra Talhada, Pernambuco.

Métodos	Ciclo I (Jan-Mar)	Ciclo II (Abr-Jun)	Ciclo III (Jun-Set)	Ciclo IV (Set-Dez)
ET _{CPM}	394,89 ^{Bb}	285,99 ^{Ba}	369,94 ^{Ba}	568,88 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pRef}	448,42 ^{ABab}	293,33 ^{Ca}	380,24 ^{BCa}	524,43 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pSnyder}	514,36 ^{Ba}	359,31 ^{Ca}	507,23 ^{Ba}	752,88 ^{Aa}
ET _{C(TCA)} K _{pCuenca}	456,91 ^{ABab}	312,61 ^{Ca}	421,98 ^{BCab}	569,66 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pPereira}	433,39 ^{Bab}	298,93 ^{Ba}	391,98 ^{Bb}	575,47 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pFAO A}	460,56 ^{ABab}	332,90 ^{Ba}	431,23 ^{Bab}	589,93 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pFAO B}	506,25 ^{ABab}	368,59 ^{Ba}	470,16 ^{Bab}	634,21 ^{Ab}
ET _{C(TCA)} K _{pD&P}	451,75 ^{Bab}	319,41 ^{Ba}	429,10 ^{Bab}	606,43 ^{Ab}

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A partir das simulações dos valores de ET_C para cada ciclo, observa-se que o método da ET_{CPM} diferenciou-se somente dos valores de ET_{C(TCA)} K_{pSnyder} nos ciclos I e IV. E que os valores médios de ET_{C(TCA)} K_{pFAOB} e ET_{C(TCA)} K_{pSnyder} destacaram-se, apresentando as maiores médias entre os métodos e em todas as simulações de ciclo, desta forma essas metodologias podem causar uma superestimava da lâmina de irrigação para cultura do girassol, mesmo não tendo apresentado diferença estatística em relação ao método padrão (Tabela 2).

Pereira et al. (2014) constataram efeitos semelhantes, tendo eles não aconselhado o uso dos K_p dos métodos de Snyder (1992) e FAO caso B (ALLEN et al., 1998) para essa a cidade de Serra Talhada-PE, devido a superestimação da necessidade hídrica das culturas avaliadas. Braga et al. (2008), no Submédio do Vale do São Francisco, também mostraram que o método de Snyder não é adequado para a região, por também superestimar a lâmina de irrigação.

Esse efeito, pode estar associado ao fato que esses métodos foram desenvolvidos para regiões com condições climáticas diferentes da região do presente estudo, tornando necessário calibrações para cada local, de acordo com as recomendações da FAO (ALLEN et al., 1998).

Por sua vez, os métodos de ET_{C(TCA)}, K_{pref} e ET_{C(TCA)}, K_{pPereira} foram os que apresentaram valores mais próximos aos da ET_{CPM}, podendo serem utilizados para estimar a evapotranspiração do girassol nessa localidade e em locais com características

climáticas semelhantes dessa região, especialmente quando não é possível obter todas as variáveis meteorológicas locais.

O bom comportamento da ET_{C(TCA)} K_{pRef} está no fato de ter sido obtido para essa região, por meio de uma calibração que utilizou de dados diários de ET_{OPM} e ET_{CA} de Serra Talhada, o que possibilitou K_p de maior confiabilidade na determinação da ET_C (PEREIRA et al., 2014). E no caso do método de Pereira et al. (1995), o seu bom desempenho foi, da mesma forma, constatado na cidade de Juazeiro-BA, que também está localizada no Semiárido brasileiro (BRAGA et al., 2008), e para cidades de localidades que se diferenciam climaticamente ao do presente estudo, como é o caso das cidades de Piracicaba-SP (SENTELHAS; FOLEGATTI, 2003) e Campos dos Goytacazes-RJ (ESTEVEZ et al., 2009).

Em relação as simulações dos ciclos do girassol ao longo do ano, as maiores médias foram observadas no ciclo IV (Tabela 2), que compreendeu os meses de setembro a dezembro, período que apresentou comportamento médio das variáveis meteorológicas, dos anos de 1999 a 2011, de baixos índices pluviométricos e de umidade relativa, 70 mm e 52%, com altas faixas de temperatura média e radiação, 27 °C e 30 MJ m⁻² dia⁻¹, respectivamente, proporcionando alta demanda atmosférica, elevando assim a ET_C do girassol.

Para todos os métodos de obtenção da ET_C, apenas o ciclo IV se diferenciou estatisticamente dos ciclos II e III (Tabela 2).

Esses últimos ciclos estão inseridos em faixas mais amenas de temperatura média, 24,3 e 23,9 °C, níveis médios de precipitação pluviométrica, 215 e 67mm, baixas taxas de radiação, 23 e 22 MJ m⁻² dia⁻¹, e elevadas faixas de umidade relativa, 73 e 67%, respectivamente, que provoca valores mais baixos de evapotranspiração, quando comparada ao ciclo IV.

E ao comparar os ciclos I e IV, observou-se que houve diferença estatística entre os métodos ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}, ET_{C(TCA)} K_{pPereira} e ET_{C(TCA)} K_{pD&P}, que está associada as distintas condições climáticas de cada ciclo, como já citado, o período de tempo que compreende o ciclo IV possui características que proporciona altas taxa de evapotranspiração, sendo superior aos valores

das variáveis meteorológicas do período do ciclo I, contido nos meses de janeiro a março, que possui valores médios mais amenos de temperatura média e radiação, 25,8 °C e 28 MJ m⁻² dia⁻¹, e altas faixas de precipitação pluviométrica e umidade relativa 403 mm e 70%, respectivamente.

Os índices estatísticos utilizados para avaliar o desempenho dos valores de ET_C do girassol, estimados pelos dados médios mensais de K_p podem ser observados na Tabela 3, onde constata-se que houve uma correlação positiva entre os valores de ET_{C(TCA)} e ET_{C_{PM}}, variando de 0,87 a 0,90, demonstrando que os valores dos ET_{C(TCA)} proporcionaram elevadas estimativas de precisão na ET_C do girassol.

Tabela 3. Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), erro médio de estimativa (MBE), raiz quadrada do quadrado médio do erro (RQME) e índice de desempenho (c) dos valores de ET_{C(TCA)} obtido por valores de sete métodos de estimativa do K_p: K_{p_{ref}}, Pereira et al. (2014); K_{p_{Snyder}}, Snyder (1992); K_{p_{Cuenca}}, Cuenca (1989); K_{p_{Pereira}}, Pereira et al. (1995); K_{p_{FAOA}} e K_{p_{FAOB}}, Allen et al. (1998); e K_{p_{D&P}}, Doorenbos e Pruitt (1977), em Serra Talhada, Pernambuco.

Índices	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}	ET _{C(TCA)}
	K _{p_{Ref}}	K _{p_{Snyder}}	K _{p_{Cuenca}}	K _{p_{Pereira}}	K _{p_{FAOA}}	K _{p_{FAOB}}	K _{p_{D&P}}
r	0,87	0,90	0,89	0,90	0,90	0,89	0,90
d	0,91	0,79	0,91	0,94	0,90	0,83	0,91
MBE	6,68	128,52	35,37	20,02	48,73	89,88	46,75
RQME	67,02	145,23	70,49	60,43	76,32	107,43	73,45
c	0,79	0,71	0,81	0,84	0,81	0,74	0,82
Classificação	Muito Bom	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Muito Bom

Esses resultados foram superiores aos obtidos por Pereira et al. (2014), que variaram de 0,16 a 0,76 para diferentes culturas, também, avaliando os valores de ET_C e inferiores ao desempenho encontrado por Braga et al. (2008), que ficaram entre 0,91 a 0,99, quando eles avaliaram a determinação da ET_o.

Os valores dos K_p de Snyder (SNYDER, 1992) e FAO caso B (ALLEN et al., 1998), proporcionaram os menores resultados do índice exatidão (índice de concordância, d), apresentando 0,79 e 0,83, respectivamente, o qual indica o grau de exatidão entre os valores de ET_{C(TCA)} e ET_{C_{PM}}. O d varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior é o grau

de exatidão (WILLMOTT, 1985) da estimativa da ET_{C(TCA)} obtida pelos diferentes valores de K_p. Por outro lado, o K_p proposto por Pereira et al. (1995) foi o que apresentou maior grau de exatidão (0,94), seguido pelo K_{p_{ref}} (PEREIRA et al., 2014), K_{p_{Cuenca}} (CUENCA, 1989) e de Doorenbos e Pruitt (1977) (K_{p_{D&P}}), que tiveram o mesmo valor (0,91).

Nas mesmas condições climáticas do presente estudo, Pereira et al. (2014), obteve valores de ET_{C(TCA)} entre 0,43 a 0,85, que é muito abaixo ao observado neste trabalho.

O erro médio de estimativa (MBE), utilizados para quantificar as sub ou superestimativas dos valores de ET_{C(TCA)}, estimada pelos valores de K_p a longo prazo,

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO GIRASSOL PELO MÉTODO DO TANQUE CLASSE “A” NA REGIÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

oscilaram entre 6,68 mm ciclo⁻¹ ($ET_{C(TCA)} K_{pRef}$) a 128,52 mm ciclo⁻¹ ($ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}$), melhor e pior desempenho, concomitantemente, ilustrando um ajuste anual na lâmina de irrigação a ser aplicada na cultura, de acordo com o método a ser escolhido. Enquanto que a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RQME), que fornece subsídios sobre o desempenho destes valores a curto prazo, oscilou entre 60,43 mm ciclo⁻¹ ($ET_{C(TCA)} K_{pPereira}$) a 145,23 mm ciclo⁻¹ ($ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}$), indicando uma variabilidade do desempenho na estimativa da ET_C durante o ano, para cultura do girassol.

Pereira et al. (2014), obtiveram um comportamento semelhante, onde também evidenciaram que os piores desempenhos ficaram atrelados a $ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}$, tanto para o MBE como para o RQME, superestimando de forma significativa as lâminas de irrigação. E como melhores desempenhos, ficaram para a $ET_{C(TCA)} K_{pRef}$ e $ET_{C(TCA)} K_{pPereira}$ para o MBE e $ET_{C(TCA)} K_{pRef}$ e $ET_{C(TCA)} K_{pFAOA}$ no RQME. A utilização do método de determinação do K_p de Pereira et al. (1995), proporcionou para Braga et al. (2008) os melhores resultados de MBE e RQME, em Juazeiro-BA, o que reforça a eficiência desta metodologia para esses dois ambientes, que estão inseridos no Semiárido brasileiro.

Por fim, a classificação do desempenho dos valores de K_p na estimativa da $ET_{C(TCA)}$ do girassol, pelo índice de confiança (c), ficou entre “bom”, para $ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}$ e $ET_{C(TCA)} K_{pFAOB}$, e “muito bom”, nos demais métodos. Estes resultados associaram-se diretamente ao desempenho dos valores estimados de K_p , procedendo em um baixo desempenho nas $ET_{C(TCA)} K_{pSnyder}$ e $ET_{C(TCA)} K_{pFAOB}$ e uma boa estimativa nas $ET_{C(TCA)} K_{pRef}$ e $ET_{C(TCA)} K_{pPereira}$.

CONCLUSÕES

Na ausência de variáveis meteorológicas para determinar a evapotranspiração da cultura (ET_C), a partir da evapotranspiração de referência (ET_o – Penman-Monteith FAO 56), indica-se o método do Tanque Classe “A” para

o Vale do Pajeú, onde os K_{pRef} e $K_{pPereira}$ auxiliaram na melhor estimativa da ET_C do girassol. Já a utilização dos valores de K_p obtidos pelos métodos de Snyder e FAO caso B não são recomendados para essa localidade, podendo ser aplicáveis em outras regiões, desde que para isso, haja preliminarmente uma calibração e validação local, semelhante ao que foi realizado nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARAS, L. M. A.; ROUSSEAU, M. C.; SEARLES, P. S. Responses of several soil and plant indicators to post-harvest regulated deficit irrigation in olive trees and their potential for irrigation scheduling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 171, p. 10-20, 2016.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop evapotranspiration**. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998. 300 p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BRAGA, M. B.; CALGARO, M.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 49-57, 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.

- CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K.; ESPINOLA SOBRINHO, J.; BRISTOT, G.; ALMEIDA, B. M. Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 261-267, 2013.
- CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989, 133 p.
- CUNHA, A. R. Coeficiente do tanque Classe A obtido por diferentes métodos em ambiente protegido e no campo. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 451-464, 2011.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome: FAO, 1977. 168 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- ESTEVES, B. S.; MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S. Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2009.
- FREITAS, C. A. S.; SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R.; MOTA, F. S. B.; AQUINO, B. F. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1031-1039, 2012.
- OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G. C.; MATERAM, F. J. V.; CECON, P. R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p.166-173, 2008.
- PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; NOVA, N. A. V. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. 323 p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A model for class-A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-82, 1995.
- PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; CRUZ NETO, J. F.; MORAIS, J. E. F. Avaliação e aplicabilidade do coeficiente do tanque classe a no Médio Pajeú, Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 131-140, 2014.
- SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.
- SILVA, M. L. O.; FARIA, M. A.; MORAIS, A. R.; ANDRADE, G. P.; LIMA, E. M. C. Crescimento e produtividade do girassol cultivado na entressafra com diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 482- 488, 2007.
- SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.
- SOUSA, I. F. SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.
- WILLMOTT, C. J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research Oceans**, n. 90, p. 8995-9005, 1985