



## Estimativa da evapotranspiração de referência padrão (Penman-Monteith FAO 56): Uma abordagem com dados meteorológicos limitados

Mairton Gomes da SILVA<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

\* E-mail: mairtong@hotmail.com

Recebido em julho/2015; Aceito em fevereiro/2016.

**RESUMO:** A agricultura irrigada é uma atividade que demanda grandes volumes de água. Neste sentido, o conhecimento das necessidades hídricas das culturas (evapotranspiração da cultura, ET<sub>c</sub>) assume fundamental importância no volume de água a ser aplicado. A ET<sub>c</sub> pode ser estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>). Vários métodos para estimar a ET<sub>o</sub> têm sido desenvolvidos e utilizados por pesquisadores e profissionais de acordo com a disponibilidade de dados meteorológicos. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda o método de Penman-Monteith (PM-FAO 56) como padrão. Porém, este método requer um grande número de dados de entrada como radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa, que em muitos locais muitas vezes não estão disponíveis. Métodos foram sugeridos para estimativa de dados em falta, como a radiação, o déficit de pressão de vapor e a velocidade do vento. No presente artigo é feito uma revisão de literatura de trabalhos sobre estimativas de ET<sub>o</sub> PM-FAO 56 com dados meteorológicos limitados, em diferentes condições climáticas. Conclui-se que a velocidade do vento fixa de 2,0 m s<sup>-1</sup> teve maior efeito na redução da precisão das estimativas de ET<sub>o</sub>.

**Palavras-chave:** manejo da irrigação, temperatura do ar, velocidade do vento.

### Estimation of reference evapotranspiration by FAO-56 Penman-Monteith: An approach with limited weather data

**ABSTRACT:** Irrigated agriculture is an activity that requires large water volumes. In this sense, knowledge of crop water requirements (crop evapotranspiration, ET<sub>c</sub>) is important in the water volume to be applied. The ET<sub>c</sub> can be estimated from the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and crop coefficient (K<sub>c</sub>). Several methods to estimate ET<sub>o</sub> have been developed and used by researchers and professionals according to availability of weather data. The Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) recommends as standard method Penman-Monteith (FAO-56 PM). However, this method requires a large number of input data such as solar radiation, air temperature, relative humidity and wind speed, which in many locations often are not available. Methods have been suggested to estimate missing data, such as radiation, vapor pressure deficit and wind speed. This paper is a literature review work of ET<sub>o</sub> FAO-56 PM estimates with limited weather data in different climatic conditions. It can be concluded that fixed wind speed of 2.0 m s<sup>-1</sup> had greater effect with reduced accuracy of ET<sub>o</sub> estimates.

**Keywords:** irrigation management, air temperature, wind speed.

## 1. INTRODUÇÃO

Diante da crescente demanda dos recursos hídricos e dos conflitos entre os seus múltiplos usos, existe a necessidade de planejamento e gestão da sua utilização em termos racionais e otimizados, principalmente na área agrícola que demanda volumes maiores quando comparadas com as atividades urbanas (SILVA et al., 2015a).

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em áreas irrigadas é fundamental para melhorar o planejamento e a eficiência do uso dos recursos hídricos (ALLEN et al., 2011; FOOLADMAND, 2012; NIAGHI et al., 2013;

TABARI et al., 2013). Neste sentido, o correto conhecimento da evapotranspiração das culturas (ET<sub>c</sub>), seja para projeto e/ou manejo de irrigação, assume importância no volume de água a ser aplicado. Uma das alternativas para se racionalizar o uso da água em projetos agrícolas, é a estimativa da ET<sub>c</sub> (evapotranspiração da cultura) baseada no produto da ET<sub>o</sub> e coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) (LI et al., 2010; CARVALHO et al., 2011; TRAJKOVIC et al., 2011; MINUZZI et al., 2014).

A determinação precisa de ET<sub>o</sub> é essencial para diversas áreas das ciências agrárias como climatologia, hidrologia, produtividade agrícola, demandas de água para irrigação e planejamento dos recursos hídricos (ORTEGA-FARIAS

et al., 2009; MARTINEZ; THEPADIA, 2010; LONG et al., 2013; RAZIEI; PEREIRA, 2013; FALAMARZI et al., 2014; MANCOSU et al., 2014).

Porém medidas diretas de  $ET_0$  com o uso de lisímetros em diversas ocasiões não são passíveis de monitoramento de rotina no campo, em função do tempo de resposta e do alto custo (TABARI et al., 2013; GHAREMAN; SAMETI, 2014). Logo, a  $ET_0$  pode ser estimada indiretamente por vários métodos que podem ser classificados em três tipos: métodos baseados em temperatura, métodos baseados na radiação e métodos combinados (TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009; ROJAS; SHEFFIELD, 2013).

Vários métodos para estimar a  $ET_0$  têm sido desenvolvidos e utilizados por pesquisadores e profissionais de acordo com a disponibilidade de dados meteorológicos históricos e atuais (BENLI et al., 2010; LUO et al., 2012; KISI, 2014), sendo que, a aplicação de um método específico para a estimativa de  $ET_0$  geralmente depende da disponibilidade de dados no local de estudo (SHIRI et al., 2014). Ainda na escolha de um método para estimativa da  $ET_0$ , devem ser consideradas a praticidade e a precisão da metodologia a ser utilizada, visto que, apesar dos métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, eles também apresentam limitações, sobretudo quanto à precisão instrumental, o que pode restringir a sua utilização (SILVA et al., 2015b).

Buscando uma padronização nas estimativas de  $ET_0$ , a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) recomenda a equação de Penman-Monteith (PM-FAO 56) como padrão (Equação 1), pois os resultados indicaram que o método de PM-FAO 56 apresenta estimativas mais seguras comparadas aos dados de lisímetros (ALLEN et al., 1998).

$$ET_{0,PM} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (1)$$

em que:  $ET_{0,PM}$  é a evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, em  $mm \text{ dia}^{-1}$ ;  $R_n$  é a radiação líquida total, em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $G$  é a densidade do fluxo de calor no solo, em  $MJ \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $T_{méd}$  é a temperatura média diária do ar, em  $^{\circ}C$ ;  $u_2$  é velocidade do vento média diária a 2 m de altura, em  $m \text{ s}^{-1}$ ;  $e_s$  é a pressão de saturação de vapor, em kPa;  $e_a$  é a pressão parcial de vapor, em kPa;  $e_s - e_a$  é o déficit de saturação de vapor, em kPa;  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de vapor no ponto de  $T_{méd}$ , em  $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ ;  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico, em  $kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$ .

O método de Penman-Monteith requer um grande número de dados de entrada como radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento (MOLINA-MARTINEZ et al., 2012; RAVAZZANI et al., 2012; LONG et al., 2013; MENDICINO; SENATORE, 2013; TODOROVIC et al., 2013; BERTI et al., 2014), o que tem limitado sua utilização, principalmente em regiões que não tem estações que monitoram todas essas variáveis de entrada (KHOOB, 2008; TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009; SILVA et al., 2010a; THEPADIA; MARTINEZ, 2012; VALIANTZAS, 2013).

Sabendo-se da dificuldade de se utilizar o método padrão PM-FAO 56 em muitas regiões devido à escassez de dados climáticos, Allen et al. (1998) sugeriram procedimentos para estimativa de dados em falta, como a radiação, o déficit de

pressão de vapor e a velocidade do vento. Tais procedimentos têm exigido a avaliação em diferentes condições climáticas para testar sua viabilidade, como foi feito por Trajkovic (2005), Trajkovic; Kolakovic (2009) e Trajkovic et al. (2011) na Sérvia; Popova et al. (2006) no sul da Bulgária; Jabloun; Sahli (2008) na Tunísia; na Nigéria por Adeboye et al. (2009); na Turquia por Benli et al. (2010); em países da África Ocidental por Kra (2010); na Flórida por Martinez; Thepadia (2010), na Luisiana por Rojas; Sheffield (2013), no Mississippi por Fisher; Pringle (2013) e na Califórnia, Estados Unidos por Valiantzas (2013); por Sentelhas et al. (2010) no sul de Ontário no Canadá; no Irã por Raziei; Pereira (2013) e Majidi et al. (2015); em países do Mediterrâneo por López-Moreno et al. (2009) e Todorovic et al. (2013); no Equador por Córdova et al. (2015) e no Brasil (LIMA, 2005; SILVA et al., 2010b; SILVA et al., 2010c; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2013; MINUZZI et al., 2014; ALENCAR et al., 2015; CARVALHO et al., 2015).

No presente artigo é feito uma revisão de literatura de trabalhos sobre estimativas de evapotranspiração de referência com o método padrão Penman-Monteith FAO-56 com dados meteorológicos limitados, em diferentes condições climáticas.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Estimativa dos parâmetros meteorológicos em falta

#### 2.1.1. Pressão parcial de vapor

O vapor de água, como os gases componentes da atmosfera, exerce pressão em todas as direções, pressão esta que depende da concentração do vapor. A quantidade de vapor que pode existir em determinada atmosfera é limitada para cada valor de temperatura. Temperaturas mais elevadas permitem a existência de maior quantidade de vapor do que em um ambiente com temperaturas mais baixas. Quando o ar contém o máximo de vapor de água permissível para determinada temperatura, diz-se que o ar se encontra saturado e a pressão de vapor é dita máxima ou de saturação. Já quando a quantidade de vapor não é suficiente para saturar o ar, chama-se de pressão parcial de vapor (SILVA et al., 2008).

De acordo com Allen et al. (1998), a estimativa da pressão parcial de vapor ( $e_a$ ) pode ser obtida substituindo a temperatura do ponto de orvalho ( $T_{po}$ ) pela temperatura mínima diária do ar ( $T_{min}$ ) ( $T_{po} \approx T_{min}$ ) (Equação 2). Esta afirmação pressupõe implicitamente que, ao amanhecer, quando a temperatura está próxima da  $T_{min}$ , o ar está praticamente saturado, isto é, a umidade relativa do ar é quase 100%.

$$e_a = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 \times T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) \quad (2)$$

Em regiões áridas, o ar pode não estar saturado, quando a temperatura está em seu mínimo; assim, a  $T_{min}$  pode ser maior do que a  $T_{po}$ . Nessa condição, uma calibração adicional pode ser necessária para estimar as temperaturas do ponto de orvalho (ALLEN et al., 1998).

Na Sérvia (TRAJKOVIC, 2005; TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009; TRAJKOVIC et al., 2011), no sul da Bulgária (POPOVA et al., 2006), na China (CAI et al., 2007), na Tunísia (JABLOUN; SAHLI, 2008); em Pirenéus no nordeste da Península Ibérica (LÓPEZ-MORENO et al., 2009); na

Flórida (MARTINEZ; THEPADIA, 2010); no sul de Ontário, Canadá (SENTELHAS et al., 2010) e no estado do Ceará, Brasil (ROCHA et al., 2011), dentre outras regiões, diversos autores assumiram a temperatura mínima em substituição a temperatura do ponto de orvalho para o cálculo da pressão parcial de vapor.

Na estimativa da  $ET_0$  por PM-FAO 56 com dados mínimos no Irã, Raziei; Pereira (2013) corrigiram a temperatura subtraindo 4°C da temperatura mínima para regiões de clima hiperárido, 2°C em clima árido e 1°C em climas semiárido e subúmido seco. Nas condições semiáridas do estado do Ceará, Brasil (SILVA et al., 2010b; SILVA et al., 2010c; SILVA et al., 2013) e em cinco localidades no Malauí (WANG et al., 2011), aqueles autores subtraíram 2°C da temperatura mínima.

No trabalho de Alencar et al. (2015) no estado de Minas Gerais, nas localidades de Janaúba, Januária, Mocimbinho, Montes Claros, Salinas e Teófilo Otoni foi subtraído 1°C da temperatura mínima e para a localidade de Monte Azul, foram subtraídos 2°C.

### 2.1.2. Radiação solar

A radiação solar global pode ser definida como o total de energia emitida pelo sol, incidente sobre a superfície terrestre, compreendida entre os comprimentos de onda de 150 a 4000 nm. É um elemento meteorológico de relevada importância, sendo fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos além dos processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, como evaporação, fotossíntese, crescimento e desenvolvimento de cultivos agrícolas (PEREIRA et al., 2002).

Para o cálculo da radiação solar utiliza-se a equação proposta por Hargreaves; Samani (1982), que estima a radiação solar pela diferença de temperaturas máximas e mínimas diárias do ar e da radiação no topo da atmosfera (ALLEN et al., 1998) (Equação 3).

$$R_s = K_{rs} \sqrt{T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}} \times R_a \quad (3)$$

em que:  $R_s$  e  $R_a$  são a radiação solar e extraterrestre, respectivamente, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;  $T_{\text{máx}}$  e  $T_{\text{mín}}$  são as temperaturas máximas e mínimas do ar, em °C;  $K_{rs}$  é o coeficiente de ajuste, adimensional. O  $K_{rs}$  é empírico e difere para regiões do interior e litoral: para o interior, onde a massa de terra domina e as massas de ar não são influenciadas por uma grande massa de água,  $K_{rs}$  é de 0,16; para locais situados no litoral ou adjacente à costa de uma massa de terra grande e onde as massas de ar são influenciadas por um corpo de água,  $K_{rs}$  é de 0,19 (ALLEN et al., 1998).

Mais tarde o valor de  $K_{rs}$  de 0,16 para região continental foi modificado para 0,17 (SAMANI, 2004). Popova et al. (2006) relatam que ambos os valores de  $K_{rs}$  produzem resultados semelhantes. No estudo de Todorovic et al. (2013) em países do Mediterrâneo, foram utilizados os valores de  $K_{rs}$  de 0,16 e 0,17 para os locais no interior enquanto que para as regiões costeiras  $K_{rs}$  de 0,19 ou 0,20. Segundo os autores, a estreita faixa de intervalo dos valores de  $K_{rs}$  utilizados levaram a mesma precisão na  $ET_0$ . Na localidade de Limoeiro do Norte no estado do Ceará, Rocha et al. (2011) compararam a  $ET_0$  Penman-Monteith FAO estimada com dados mínimos e utilizando conjunto de dados completos utilizando diferentes valores de  $K_{rs}$  para o cálculo da radiação solar pela equação de Hargreaves; Samani (1982). De

acordo com os resultados reportados pelos autores, o valor de  $K_{rs}$  de 0,17 foi mais preciso quando comparado ao ajuste para valores de 0,16; 0,18 ou 0,19.

Jabloun; Sahli (2008) na Tunísia estimaram o  $K_{rs}$  conforme equação proposta por Allen (1997) (Equação 4). Além de utilizarem o  $K_{rs}$  estimado em função da pressão atmosférica e o uso do valor fixo na equação de Hargreaves; Samani (1982) foram ajustados  $K_{rs}$  para cada localidade em estudo, de acordo com os resultados encontraram alta correlação quando foi utilizado  $K_{rs}$  calibrado para cada localidade para a estimativa da radiação solar para uso no cálculo da  $ET_0$  com dados mínimos.

$$K_{rs} = K_{ra} \sqrt{\frac{P}{P_0}} \quad (4)$$

em que:  $P$  é a pressão atmosférica média para o local, determinada em função da altitude, em kPa;  $P_0$  é a pressão atmosférica média ao nível do mar, 101,3 kPa;  $K_{ra}$  é o coeficiente empírico, de 0,17 na região continental e 0,20 na região costeira.

De maneira semelhante, Lima (2005) no estado de Minas Gerais e Silva et al. (2010b) no estado do Ceará utilizaram esta mesma equação para estimar o  $K_{rs}$ . Lima (2005) reportou que em geral, na maioria das localidades em estudo os menores erros foram quando foi utilizado o valor de  $K_{rs}$  fixo de 0,16 para o cálculo da radiação solar pela equação de Hargreaves; Samani (1982). Já no estudo de Silva et al. (2010b), as melhores estimativas de radiação solar para o cálculo da  $ET_0$  com dados mínimos (temperatura máxima e mínima) foram encontradas com a metodologia de  $K_{rs}$  em função da pressão atmosférica quando comparado com a utilização de  $K_{rs}$  fixo de 0,16 recomendado para região continental. Essa discrepância nos resultados encontrados em diferentes localidades confirma que é necessária uma calibração local antes de utilizar qualquer modelo empírico.

### 2.1.3. Velocidade do vento ( $u$ )

De acordo com Allen et al. (1998), a variação da velocidade média do vento em períodos mensais é relativamente baixa, sendo que os valores mensais de velocidade do vento podem ser estimados para o cálculo da  $ET_0$ . As estimativas da média da velocidade do vento podem ser obtidas a partir de informações disponíveis para o clima regional, mas devem-se levar em conta as alterações sazonais. Quando os dados de vento na região não estão disponíveis, um valor de 2  $\text{m s}^{-1}$  pode ser usado como uma estimativa provisória. Este valor é uma média de mais de 2.000 estações meteorológicas estudadas ao redor do mundo.

Vários trabalhos abordam sobre a estimativa de  $ET_0$  padrão PM-FAO assumindo o valor constante de velocidade do vento ( $u$ ) de 2  $\text{m s}^{-1}$ , como na Sérvia (TRAJKOVIC, 2005); na Turquia (BENLI et al., 2010); na Flórida (MARTINEZ; THEPADIA, 2010), na Luisiana (ROJAS; SHEFFIELD, 2013) e na Califórnia, Estados Unidos (VALIANTZAS, 2013); no Irã (RAZIEI; PEREIRA, 2013); em países do Mediterrâneo (TODOROVIC et al., 2013); no estado do Ceará (ROCHA et al., 2011), Minas Gerais (CARVALHO et al., 2013; ALENCAR et al., 2015) e nos estados do Sudeste do Brasil (CARVALHO et al., 2015).

Além do valor de velocidade do vento de 2  $\text{m s}^{-1}$ , outros valores foram utilizados. Na Tunísia Jabloun; Sahli (2008)



utilizaram também uma média anual para cada local de estudo. Os valores de velocidade de 1, 3 e 5 m s<sup>-1</sup> foram utilizados no estado de Minas Gerais (LIMA, 2005); de 1,0; 1,5; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5 e 5,0 m s<sup>-1</sup> no estado do Ceará (SILVA et al., 2010b; SILVA et al., 2010c; SILVA et al., 2013).

Em seis localidades na Sérvia, Trajkovic; Kolakovic (2009) utilizaram a média da velocidade do vento para cada localidade e uma média geral para representar todas as localidades. No sul de Ontário, Canadá, Sentelhas et al. (2010) utilizaram as normais climatológicas de dados de velocidade do vento de uma estação próxima a região de estudo.

Em diferentes localidades do Irã, Majidi et al. (2015) utilizaram três abordagens quando os dados de velocidade do vento estavam em falta. Primeiro, consideraram dados históricos de velocidade do vento de cada estação. Em segundo lugar, utilizaram dados históricos de velocidade da área inteira de estudo. Em terceiro lugar, utilizaram a velocidade do vento fixa de 2 m s<sup>-1</sup>.

## 2.2. Desempenho da ET<sub>o</sub> padrão PM-FAO com dados limitados

Os procedimentos de estimativa da ET<sub>o</sub> padrão PM-FAO 56 contando apenas com dados de temperatura máxima e mínima do ar já estão amplamente discutidos na literatura (LIMA, 2005; TRAJKOVIC, 2005; POPOVA et al., 2006; JABLON; SAHLI, 2008; TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009; SENTELHAS et al., 2010; SILVA et al., 2010b; SILVA et al., 2010c; TRAJKOVIC et al., 2011; CARVALHO et al., 2013; SILVA et al., 2013; TODOROVIC et al., 2013; MINUZZI et al., 2014; ALENCAR et al., 2015; CARVALHO et al., 2015), com resultados satisfatórios em diversas regiões. Logo, aqui serão mostrados os resultados obtidos em diferentes condições climáticas. Além disso, serão apresentadas diferentes abordagens sobre a limitação de dados meteorológicos: (1) radiação solar (R<sub>s</sub>); (2) umidade relativa (UR); (3) velocidade do vento (u<sub>2</sub>) e (4) quando estes três não estão presentes (R<sub>s</sub>, UR e u<sub>2</sub>).

### 2.2.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é um elemento ambiental de grande importância agrícola, pois exerce influência sobre diversos processos vitais das plantas. Para medição da temperatura do ar, pode-se fazer uso de diferentes tipos de sensores, sendo que, nas estações meteorológicas convencionais as leituras são realizadas a partir de termômetros específicos. Segundo Strassburger et al. (2011), devido ao avanço da tecnologia, principalmente na automação de dados meteorológicos, os instrumentos mecânicos existentes nas estações convencionais estão sendo substituídos por sensores automáticos. Os motivos vão desde a maior capacidade de amostragem até a possibilidade de operação em locais inóspitos e/ou de difícil acesso. Entretanto, apesar das estações automáticas fornecerem dados com melhor caracterização das condições meteorológicas, em função da ação do tempo de uso, estão sujeitas a danos físicos (interferência no sinal, desconexão e oxidação de cabos, dentre outros) e, por consequência, nessas condições, poderão gerar dados imprecisos ou interrupção na série de dados.

### 2.2.2. Estimativa da ET<sub>o</sub> com dados de radiação solar (R<sub>s</sub>) em falta

Na Tunísia, de acordo com os resultados reportados por Jabloun; Sahli (2008), na ausência dos dados de radiação solar, o procedimento proposto para a estimativa de R<sub>s</sub> a partir

das temperaturas máxima e mínima diárias rendeu precisas estimativas de ET<sub>o</sub> em todas as regiões estudadas.

Na Sérvia (TRAJKOVIC; KOLAKOVIC, 2009; TRAJKOVIC et al., 2011) e no Irã (MAJIDI et al., 2015) na ausência dos dados de radiação solar, a abordagem para estimar a radiação solar a partir das temperaturas máximas e mínimas produziu estimativas precisas de ET<sub>o</sub> PM-FAO. Resultados diferentes foram reportados por Alencar et al. (2015) no estado de Minas Gerais, pois de acordo com estes autores este tipo de abordagem não rendeu estimativas precisas de radiação solar a partir de dados de temperatura máxima e mínima.

No estudo de Todorovic et al. (2013) em 16 países do Mediterrâneo, a estimativa de ET<sub>o</sub> PM-FAO com base em dados de temperatura máxima e mínima do ar pode ser melhorada ajustando o coeficiente empírico (K<sub>rs</sub>) da equação de Hargreaves; Samani (1982) para a estimativa da radiação solar.

### 2.2.3. Estimativa da ET<sub>o</sub> com dados de umidade relativa (UR) em falta

No estudo de Jabloun; Sahli (2008) na Tunísia, no clima subúmido das localidades de Beja e Kef onde estes autores reportaram as melhores estimativas de ET<sub>o</sub> PM-FAO assumindo a pressão de vapor estimada a partir da temperatura mínima (T<sub>min</sub>). Ainda de acordo com os autores, estes resultados já eram esperados a partir do fato de que, sob condições de clima subúmido, é altamente provável que T<sub>po</sub> = T<sub>min</sub>. Resultados precisos também foram observados para os locais semiáridos (Kairouan, Sidi-Bouzyd). Já na localidade de Tunis, as estimativas de ET<sub>o</sub> não foram precisas quando a pressão de vapor foi obtida a partir de T<sub>min</sub>.

Segundo Trajkovic; Kolakovic (2009) e Trajkovic et al. (2011) nas condições climáticas da Sérvia, quando os dados de umidade relativa não estão disponíveis, a abordagem de substituição da temperatura do ponto de orvalho pela temperatura mínima para estimar a pressão de vapor mostrou ser adequada as estimativas da ET<sub>o</sub> PM-FAO. Assumindo a mesma abordagem, resultados satisfatórios foram reportados no estado de Minas Gerais (ALENCAR et al., 2015; CARVALHO et al., 2015) e nos climas semiúmido e semiárido do Irã (MAJIDI et al., 2015).

### 2.2.4. Estimativa da ET<sub>o</sub> com dados de velocidade do vento (u<sub>2</sub>) em falta

No estudo comparativo da ET<sub>o</sub> por PM-FAO 56 com dados completos e dados mínimos (temperatura máxima e mínima) na Sérvia, Trajkovic (2005) verificou superestimativa da ET<sub>o</sub> com dados mínimos em relação ao método padrão com dados completos, nas localidades de Palic (em 4,5%), Novi Sad (5,3%), Vranje (8,0%), Negotin (9,0%), Kragujevac (19,0%) e Nis (19,0%) e, subestimativa da ordem de 7,8% em Belgrado. Ainda de acordo com o autor, a estimativa da ET<sub>o</sub> com dados mínimos pelo método de PM-FAO 56 com a velocidade do vento fixa de 2,0 m s<sup>-1</sup> não é recomendada para as condições do estudo.

Diferentemente do que foi reportado por Trajkovic (2005), no estudo de Popova et al. (2006) na Bulgária quatro procedimentos foram utilizados quando os dados de velocidade do vento não estavam disponíveis, quais sejam: (1) importar dados de uma estação próxima; (2) utilizar uma média anual regional para todas as estações (1,68 m s<sup>-1</sup>); (3) utilizar uma média mensal regional e (4) utilizar o valor fixo de 2,0 m s<sup>-1</sup>. De acordo com os autores, em conclusão, quando dados de velocidade do vento

não estão disponíveis os melhores procedimentos para o cálculo da  $ET_0$  PM-FAO consiste em utilizar a velocidade do vento média anual regional ou importar dados de estações próximas.

Na Tunísia, de acordo com os resultados reportados por Jabloun; Sahli (2008) quando os dados de velocidade do vento estavam em falta, a utilização de uma média anual promoveu melhores estimativas de  $ET_0$  PM-FAO do que quando foi utilizada a velocidade de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  recomendada pela FAO quando da ausência dos dados.

De acordo com os resultados reportados por Sentelhas et al. (2010) no sul de Ontário, Canadá, o método de PM-FAO 56 está entre as melhores opções para estimar  $ET_0$  quando da indisponibilidade de dados de velocidade do vento, apresentando os menores erros médios.

No estado de Minas Gerais, Alencar et al. (2015) concluíram que método de PM-FAO 56 com dados mínimos apresentou bons resultados na ausência dos dados de velocidade do vento, sendo que melhores resultados podem ser obtidos se a média mensal da velocidade do vento estiver disponível.

No estudo de Carvalho et al. (2015), aqueles autores concluíram que a adoção de velocidade do vento constante a  $2 \text{ m s}^{-1}$  proporcionou boa precisão e erros aceitáveis nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro, e consiste em alternativa adequada para estimativa da  $ET_0$  com dados meteorológicos limitados. Nas condições climáticas do Irã, segundo Majidi et al. (2015) é recomendável usar o valor de velocidade do vento médio histórico de cada estação ou um valor médio de toda a área de estudo como uma alternativa para a falta de dados de velocidade do vento em condições de clima semiúmido.

### 2.2.5. Estimativas da $ET_0$ com dados de $R_s$ , UR e $u_2$ em falta

Lima (2005) estimou a  $ET_0$  por PM-FAO 56 com dados mínimos no estado de Minas Gerais. Naquele trabalho o autor estimou a radiação solar e a pressão parcial de vapor com base na temperatura do ar. De acordo com os resultados, a  $ET_0$  determinada somente com as temperaturas máxima e mínima foram, em grande parte das regiões mineiras, satisfatórios, principalmente no leste do estado para os valores fixos de velocidades do vento de  $1$  e  $2 \text{ m s}^{-1}$ .

Na localidade de Yesa nos Pireneus espanhóis, nordeste da Península Ibérica, López-Moreno et al. (2009) sugerem que é preferível estimar a  $ET_0$  por meio da equação de PM-FAO com dados mínimos, embora alguns dos parâmetros necessários devem ser estimados indiretamente.

As conclusões em estudos realizados na Sérvia por Trajkovic; Kolakovic (2009) e Trajkovic et al. (2011), é que o valor de velocidade do vento padrão ( $2,0 \text{ m s}^{-1}$ ) deve ser usado com precaução, especialmente nos casos em que dados de radiação solar e/ou umidade não estão disponíveis. Ainda de acordo com os mesmos autores, dados de temperaturas máximas e mínimas do ar e velocidade do vento predefinida localmente são os requisitos mínimos necessários para ter êxito em usar o método PM-FAO 56 em clima úmido.

Quando apenas dados de temperatura do ar estão disponíveis, de acordo com os resultados reportados por Benli et al. (2010) no clima semiárido de Ancara capital da Turquia, é recomendado utilizar o método de Hargreaves; Samani (1985) por ser simples para a estimativa da  $ET_0$  sobre a equação PM-FAO 56 quando dados de umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento não estão disponíveis. Já no estado de Minas Gerais (ALENCAR et al., 2015), é preferível estimar a  $ET_0$  a partir de

dados de temperatura máxima e mínima do ar do que estimar por Hargreaves; Samani (1985).

Gocic; Trajkovic (2010) desenvolveram um programa computacional para facilitar as estimativas de  $ET_0$  PM-FAO 56 com dados limitados, sendo o mesmo testado com dados de uma estação meteorológica de Davis na Califórnia, Estados Unidos. Segundo estes autores, a abordagem PM-FAO para a estimativa da  $ET_0$  com dados limitados deve ser recomendada quando todos os dados não estão disponíveis.

Em diferentes localidades da Flórida, os resultados encontrados por Martinez; Thepadia (2010) mostram que a  $ET_0$  estimada por PM-FAO com dados reduzidos superestimaram as estimativas com dados completos. Nas condições climáticas do Malauí quando a radiação solar e umidade relativa são estimadas e utilizada a velocidade do vento fixa de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , nas localidades de Kasungu, Chitedze e Ngabu este procedimento foi adequado nas estimativas da  $ET_0$  padrão PM-FAO; já nas localidades de Karonga e Chileka as estimativas de  $ET_0$  foram imprecisas (WANG et al., 2011).

Seguindo os mesmos procedimentos adotados por Lima (2005), no estudo de Silva et al. (2010c) os resultados encontrados mostram que, na estimativa da  $ET_0$  padrão PM-FAO 56 com dados mínimos na localidade de Sobral no estado do Ceará, os valores fixos de velocidade do vento para o período chuvoso de  $1,4 \text{ m s}^{-1}$  e  $1,9 \text{ m s}^{-1}$  no período seco, foram os que representaram as melhores estimativas de  $ET_0$ . Na localidade de Tauá, além dos valores fixos de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  no período chuvoso e  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  no período seco, até a velocidade fixa de  $3,0 \text{ m s}^{-1}$  para todo o período de estudo pode ser empregada nas estimativas de  $ET_0$ . Estes resultados confirmam que é necessário testar outros valores fixos de velocidade do vento além do valor de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$ , recomendado pela FAO. Isto foi feito posteriormente em outras localidades no estado do Ceará.

As condições climáticas em que os estudos são realizados é um fator determinante para um melhor ou pior ajuste do método de PM-FAO 56 com dados meteorológicos limitados. Em Campos Sales no estado do Ceará, os valores fixos de velocidade do vento de  $3,0$  e  $3,5 \text{ m s}^{-1}$  representaram satisfatoriamente as condições climáticas locais (SILVA et al., 2010b). Já na localidade de Crateús foram os valores fixos de  $1,5$ ;  $2,0$ ;  $2,5$  e  $3,0 \text{ m s}^{-1}$  e, em Quixeramobim de  $3,0$ ;  $3,5$  e  $4,0 \text{ m s}^{-1}$  (SILVA et al. 2013). Ainda no estado do Ceará, Rocha et al. (2011) relataram resultados satisfatórios na estimativa da  $ET_0$  PM-FAO com dados apenas de temperatura máxima e mínima do ar.

No estudo de Carvalho et al. (2013) nas condições climáticas de Lavras, Minas Gerais, os autores reportaram que a alternativa de estimar a  $ET_0$  PM-FAO com dados mínimos (temperatura máxima e mínima) teve melhor validação em escala mensal. Ainda de acordo com os mesmos, durante um período de três meses (julho a setembro) houve melhor ajuste.

De acordo com os relatos de Raziei; Pereira (2013) em diferentes regiões climáticas do Irã, o método de PM-FAO com dados mínimos não estimou adequadamente a  $ET_0$ . Ainda de acordo com os mesmos autores, quando os dados são incompletos, particularmente em relação aos dados de radiação solar e umidade relativa do ar, os cálculos de  $ET_0$  podem ser realizados a partir da temperatura do ar.

Minuzzi et al. (2014) reportaram que as estimativas da  $ET_0$  diária por Penman-Monteith FAO utilizando apenas dados de temperatura não apresentaram resultados muito satisfatórios para as condições climáticas de Santa Catarina, principalmente, no inverno.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando os elementos climáticos radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento estão em falta, a velocidade do vento fixa de  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  é o elemento que tem maior influência na redução da precisão das estimativas de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) pelo método de Penman-Monteith FAO com dados mínimos.

A abordagem de estimar a  $ET_0$  Penman-Monteith FAO a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar é uma alternativa que já se tornou realidade em diferentes condições climáticas.

### 4. REFERÊNCIAS

- ADEBOYE, O. B.; OSUNBITAN, J. A.; ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A. Evaluation of FAO-56 Penman Monteith and temperature based models in estimating reference evapotranspiration using complete and limited data, application to Nigeria. **Agricultural Engineering International**, v.11, p.1-25, 2009.
- ALLEN, R. G. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature. **Journal of Hydrologic Engineering**, New York, v.2, n.2, p.56-67, 1997.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.98, n.6, p.921-929, 2011.
- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$  padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.39-50, 2015.
- BENLI, B.; BRUGGEMAN, A.; OWEIS, T.; ÜSTÜN, H. Performance of Penman-Monteith FAO56 in a semiarid highland environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.136, n.11, p.757-765, 2010.
- BERTI, A.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F.; BORIN, M. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.140, n.10, p.20-25, 2014.
- CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.145, n.1-2, p.22-35, 2007.
- CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; OLIVEIRA, K. M. G.; SILVA, B. M.; ALVES, M. de C.; SÁ JÚNIOR, A. de; MIRANDA, W. L. FAO Penman-Monteith equation for reference evapotranspiration from missing data. **Idesia**, Chile, v.31, n.3, p.39-47, 2013.
- CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S. da; BONOMO, R.; SOUZA, A. P. de. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.1, p.1-11, 2015.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.456-465, 2011.
- CÓRDOVA, M.; CARRILLO-ROJAS, G.; CRESPO, P.; WILCOX, B.; CÉLLERI, R. Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data. **Mountain Research and Development**, v.35, n.3, p.230-239, 2015.
- FALAMARZI, Y.; PALIZDANA, N.; HUANGB, Y. F.; LEE, T. S. Estimating evapotranspiration from temperature and wind speed data using artificial and wavelet neural networks (WNNs). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.140, n.10, p.26-36, 2014.
- FISHER, D. K.; PRINGLE, H. C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. **Agricultural Sciences**, v.4, n.8, p.51-60, 2013.
- FOOLADMAND, H. R. Comparing reference evapotranspiration using actual and estimated sunshine hours in south of Iran. **African Journal of Agricultural Research**, v.7, n.7, p.1164-1169, 2012.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.71, n.2, p.158-162, 2010.
- GHAHREMAN, N.; SAMETI, M. Comparison of M5 model tree and artificial neural network for estimating potential evapotranspiration in semi-arid climates. **Desert**, Tehran, v.19, n.1, p.75-81, 2014.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.108, n.3, p.225-230, 1982.
- JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.95, n.6, p.707-715, 2008.
- KHOOB, A. R. Comparative study of Hargreaves's and artificial neural network's methodologies in estimating reference evapotranspiration in a semiarid environment. **Irrigation Science**, New York, v.26, n.3, p.253-259, 2008.
- KISI, O. Comparison of different empirical methods for estimating daily reference evapotranspiration in Mediterranean climate. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.140, n.1, p.1-7, 2014.
- KRA, E. Y. An empirical simplification of the temperature Penman-Monteith model for the tropics. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.2, n.1, p.162-171, 2010.
- LI, Y.; HORTONB, R.; RENC, T.; CHEN, C. Prediction of annual reference evapotranspiration using climatic data. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, n.2, p.300-308, 2010.
- LIMA, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperaturas máxima e mínima de Minas Gerais**. 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- LONG, H.; SHUAI, X.; LEI, Q.; ZHANG, R. Spatiotemporal distribution of calibration coefficients of Hargreaves equation for estimating potential evapotranspiration in Mainland China. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.139, n.4, p.293-299, 2013.
- LÓPEZ-MORENO, J. I.; HESS, T. M.; WHITE, S. M. Estimation of reference evapotranspiration in a mountainous Mediterranean site using the Penman-Monteith equation with limited meteorological data. **Pirineos**, Jaca, v.164, p.7-31, 2009.



- LUO, Y.; JIANG, Y.; PENG, S.; KHAN, S.; CAI, X.; WANG, W.; JIAO, X. Urban weather data to estimate reference evapotranspiration for rural irrigation management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.138, n.9, p.837-842, 2012.
- MAJIDI, M.; ALIZADEH, A.; VAZIFEDOUST, M.; FARID, A.; AHMADI, T. Analysis of the effect of missing weather data on estimating daily reference evapotranspiration under different climatic conditions. **Water Resources Management**, Amsterdam, v.29, p.2107-2124, 2015.
- MANCOSU, N.; SNYDER, R. L.; SPANO, D. Procedures to develop a standardized reference evapotranspiration zone map. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.140, n.9, p.1-11, 2014.
- MARTINEZ, C. J.; THEPADIA, M. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.136, n.7, p.494-501, 2010.
- MENDICINO, G.; SENATORE, A. Regionalization of the Hargreaves coefficient for the assessment of distributed reference evapotranspiration in Southern Italy. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.139, n.5, p.349-362, 2013.
- MINUZZI, R. B.; RIBEIRO, A. J.; SILVA, D. O. da; KUNESKI, A. C. Estimativa da evapotranspiração de referência diária por Penman-Monteith FAO com dados de temperatura do ar para Santa Catarina. **Irriga**, Botucatu, v.19, n.3, p.548-558, 2014.
- MOLINA-MARTINEZ, J. M.; NAVARRO, P.; JIMENEZ, M.; SOTO, F.; RUIZ-CANALES, A.; FERNANDEZ-PACHECO, D. VIPMET: New real-time data filtering-based automatic agricultural weather station. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.138, n.9, p.823-829, 2012.
- NIAGHI, A. R.; MAJNOONI-HERIS, A.; HAGHI, D. Z.; MAHTABI, G. Evaluate several potential evapotranspiration methods for regional use in Tabriz, Iran. **Journal of Applied Environmental and Biological Sciences**, v.3, n.6, p.31-41, 2013.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v.28, n.1, p.1-3, 2009.
- PEREIRA, A. B.; VRISMAN, A. L.; GALVANI, E. Estimativa da radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.211-216, 2002.
- POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L. S. Validation of the FAO methodology for computing ETo with limited data. Application to south Bulgaria. **Irrigation and Drainage**, Slough, v.55, n.2, p.201-215, 2006.
- RAVAZZANI, G.; CORBARI, C.; MORELLA, S.; GIANOLI, P.; MANCINI, M. Modified Hargreaves-Samani equation for the assessment of reference evapotranspiration in alpine river basins. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.138, n.7, p.592-599, 2012.
- RAZIEL, T.; PEREIRA, L. S. Estimation of ETo with Hargreaves-Samani and FAO-PM temperature methods for a wide range of climates in Iran. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.121, n.6, p.1-18, 2013.
- ROCHA, E. J. T.; EVANGELISTA, S. R. M.; FUCK JUNIOR, S. C. de F.; GONDIM, R. S. Estimativa da Eto pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um sistema de informação geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.75-83, 2011.
- ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. Evaluation of daily reference evapotranspiration methods as compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith equation using limited weather data in Northeast Louisiana. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.139, n.4, p.285-292, 2013.
- SAMANI, Z. Discussion of "History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation" by George H. Hargreaves and Richard G. Allen. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.130, n.5, p.447-448, 2004.
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, n.5, p.635-644, 2010.
- SHIRI, J.; NAZEMIA, A. H.; SADRADDINIA, A. A.; LANDERASB, G.; KISIC, O.; FARDA, A. F.; MARTI, P. Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.108, n.9, p.230-241, 2014.
- SILVA, D.; MEZA, F. J.; VARAS, E. Estimating reference evapotranspiration (ETo) using numerical weather forecast data in central Chile. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.382, n.1-4, p.64-71, 2010a.
- SILVA, I. N. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados mínimos para o cariri oeste cearense. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v.6, n.3, p.42-48, 2010b.
- SILVA, J. de S.; LOPES, R. P.; LOPES, D. de C.; REZENDE, R. C. Princípios básicos de psicrometria. In: SILVA, J. S (Ed.). **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2008. p.37-62.
- SILVA, M. G. da; OLIVEIRA, J. B. de; LÊDO, E. R. F.; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M. Estimativa da ET<sub>0</sub> pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de Tx e Tn para Sobral e Tauá no Ceará. **Acta Tecnológica**, Codó, v.5, n.2, p.52-68, 2010c.
- SILVA, M. G.; ARRAES, F. D. D.; LEDO, E. R. F.; SANTOS, N. T.; SILVA FILHO, J. A. da. Avaliação da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith usando dados climáticos mínimos no sertão do Ceará. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista, v.7, n.3, p.284-293, 2013.
- SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. de S.; CARMO, F. F. do; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. da. Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, v.9, n.2, p.132-141, 2015a.
- SILVA, V. P. R.; GARCÊZ, S. L. A.; SILVA, B. B. da; ALBUQUERQUE, M. F. de; ALMEIDA, R. S. R. Métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.5, p.411-417, 2015b.
- STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A. de; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.26, n.2, p.273-278, 2011.
- TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, New York, v.31, n.2, p.107-117, 2013.

- TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. S. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.481, n.1, p.166-176, 2013.
- TRAJKOVIC, S. Temperature-based approaches for estimating reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.131, n.4, p.316-322, 2005.
- TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Estimating reference evapotranspiration using limited weather data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.135, n.4, p.443-449, 2009.
- TRAJKOVIC, S.; STOJNIC, V.; GOCIC, M. Minimum weather data requirements for estimating reference evapotranspiration. **Architecture and Civil Engineering**, v.9, n.2, p.335-345, 2011.
- THEPADIA, M.; MARTINEZ, C. J. Regional calibration of solar radiation and reference evapotranspiration estimates with minimal data in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.138, n.2, p.111-119, 2012.
- VALIANTZAS, J. D. Simple ETo forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. II: comparisons with reduced set-FAO and other methodologies. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.139, n.1, p.9-19, 2013.
- WANG, Y. M.; NAMAONA, W.; GLADDEN, L. A.; TRAORE, S.; DENG, L. T. Comparative study on estimating reference evapotranspiration under limited climate data condition in Malawi. **International Journal of the Physical Sciences**, v.6, n.9, p.2239-2248, 2011.