



AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMI-ÁRIDO ISSN 1808-6845

Artigo Científico

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS MÍNIMOS PARA O CARIRI OESTE CEARENSE

*Ítalo Nunes Silva*

Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestrando em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró/RN  
E-mail: italonunessilva@gmail.com

*Joaquim Branco de Oliveira*

Eng.º Agrônomo, Prof. M. Sc. IFCE - Campus Iguatu, Iguatu/CE.  
E-mail: joaquimbrancodeoliveira@gmail.com

*Larissa de Oliveira Fontes*

Eng.ª Agrônoma, Mestranda em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró/RN  
E-mail: larissafontesjp@hotmail.com

*Pollyanna Palácio Brasil*

Aluna de graduação do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem – IFCE Campus Iguatu  
E-mail: pollyannapalacio@gmail.com

*Mairton Gomes da Silva*

Aluno de graduação do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem – IFCE Campus Iguatu  
E-mail: mairtong@hotmail.com

**RESUMO** - O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho do método padrão Penman-Monteith FAO 56 na estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar média mensal para Campos Sales, no Cariri oeste do Estado do Ceará. Observou-se que o melhor desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar foi encontrado para PM-FAO 56 com  $u_2$  de 3 e 3,5  $m.s^{-1}$ , para a primeira “c” de 0,74, EPE de 0,59  $mm.dia^{-1}$  e “d” de 0,85, para a segunda “c” também de 0,74, EPE de 0,65  $mm.dia^{-1}$  e “d” de 0,84, com ambos índices de desempenho classificados como “Bom” e superestimando o método padrão PM-FAO 56 em 2,67 (0,14  $mm.dia^{-1}$ ) e 6,83% (0,35  $mm.dia^{-1}$ ). O pior desempenho foi encontrado com o método de PM-FAO 56 com  $u_2$  de 1 e 1,5  $m.s^{-1}$ , com “c” de 0,48 e 0,55 e EPE de 1,12 e 0,89  $mm.dia^{-1}$ , classificados como “Mau” e “Sofrível” respectivamente, subestimando o método padrão em 17,18 (0,87  $mm.dia^{-1}$ ) e 11,67% (0,59  $mm.dia^{-1}$ ). Para as estimativas de  $ET_o$  apenas com dados de temperatura máxima e mínima do ar, o melhor ajuste de Penman-Monteith FAO foi velocidades do vento a 2m de altura de 3 e 3,5  $m.s^{-1}$ . Com base nas condições climáticas da região em estudo, o método de Hargreaves-Samani apresentou um bom desempenho, podendo ser utilizado para estimar a  $ET_o$  com boa precisão.

**Palavras-chave:** Desempenho, temperatura, velocidade do vento.

## ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH MINIMUM DATA FOR THE WEST CARIRI CEARENSE

**ABSTRACT** - The objective of this study was to evaluate the performance of the standard Penman-Monteith FAO 56 for estimating reference evapotranspiration from temperature data maximum and minimum air monthly average for Campos Sales, Cariri in the western state of Ceará. It was observed that the best performance in the estimation of reference evapotranspiration from temperature data maximum and minimum air was found to FAO-56 PM  $u_2$  with 3 and 3.5  $m.s^{-1}$  for the first “c” of 0,74, 0,59  $mm.day^{-1}$  of EPE and “d” of 0,85 for the second “c” also 0,74, 0,65  $mm.day^{-1}$  and “d” 0,84, with both indices of performance rated “Good” and overestimating the standard FAO-56 PM to 2,67 (0,14  $mm.day^{-1}$ ) and 6,83% (0,35  $mm.day^{-1}$ ). The worst performance was found with the method of FAO-56 PM  $u_2$  with 1 and 1.5  $m.s^{-1}$ , “c” 0,48 and 0,55 and 1,12 and 0,89 for EPE  $mm.day^{-1}$  classified as “Bad” and “Low rating” respectively, underestimating the standard method in 17,18 (0,87  $mm.day^{-1}$ ) and 11,67% (0,59  $mm.day^{-1}$ ). For the estimates of  $ET_o$  data only with maximum and minimum temperature of the air, the best fit of Penman-Monteith FAO has wind speeds at 2 m height of 3 and 3,5  $m.s^{-1}$ . Based on the climatic conditions of the region under study, the Hargreaves-Samani method presented a good performance and can be used to estimate  $ET_o$  with good accuracy.

**Key-words:** Performance, temperature, wind speed.

## INTRODUÇÃO

A finalidade da irrigação é suprir as necessidades hídricas das culturas, e em função disso assume relevada importância na quantificação da água a ser aplicada na irrigação. O volume de água a ser aplicado, dentre outras técnicas disponíveis, é calculado a partir das perdas de água pelas culturas pelo processo evapotranspirativo.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são aplicadas na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, na elaboração de projetos e no manejo de sistemas de irrigação e drenagem (Henrique; Dantas, 2007).

O conhecimento dos elementos do clima registrados nas estações convencionais ou automáticas permite à quantificação da evapotranspiração das culturas, possibilitando o conhecimento a demanda hídrica diária da cultura, bem como a demanda mensal e anual da região, necessária para atender as reais necessidades hídricas das culturas ali estabelecidas ou a serem implantadas (Bragança, 2007).

A estimativa de  $ET_0$  por meio de modelos matemáticas é o processo mais comum e usual de obtenção da perda de água em áreas agrícolas, sendo necessários dados climático-fisiológicos para sua aplicação. Contudo, os modelos apresentam problemas de precisão, principalmente pela falta de ajuste dos seus respectivos coeficientes, além de erros de leitura, precisão dos sensores e por serem desenvolvidos para condições climáticas e agrônômicas específicas (Barros et al., 2009).

O FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) e a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem ICID, dentre os vários métodos existentes para estimativa a evapotranspiração da cultura de referência, em seu boletim 56, padronizou o método de Penman-Montheith tornando-o modelo padrão para estimativa de  $ET_0$  (Allen et al., 1998).

O modelo FAO Penman-Monteith exige dados diários de temperatura máxima ( $T_x$ ) e mínima ( $T_n$ ), umidade relativa do ar (UR), radiação solar global ( $R_s$ ) e velocidade do vento (u). Entretanto em muitos locais tais elementos climáticos são incompletos, não existem ou não estão disponíveis.

Nesses casos, o FAO 56 sugere basicamente dois procedimentos: a importação de dados de uma estação que está sob as mesmas condições climáticas ou a estimativa a partir de dados de temperatura máxima e mínima Allen et al. (1998).

Lima (2005); Nandagiri; Kovoov (2005); Popova et al. (2006); Cai et al. (2007); Jabloun; Sahli (2008); Sentelhas et al. (2010); Silva et al. (2010) e Rocha et al. (2011), avaliaram a metodologia da FAO PM-56 na estimativa da evapotranspiração de referência empregando dados de temperatura do ar.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho do método padrão Penman-Monteith FAO 56 na estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar média mensal para Campos Sales, no Cariri oeste do Estado do Ceará.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os elementos climáticos utilizados neste trabalho foram obtidos da Estação Climatológica Principal (ECP) de Campos Sales-CE localizada a latitude de  $7^{\circ} 04' S$ , longitude  $40^{\circ} 23' W$  e altitude 566,32 m, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A área de estudo possui clima tropical quente semiárido, com temperatura média anual de 24 a 26 °C, período chuvoso de fevereiro a abril e precipitação pluvial total anual de 670 mm.

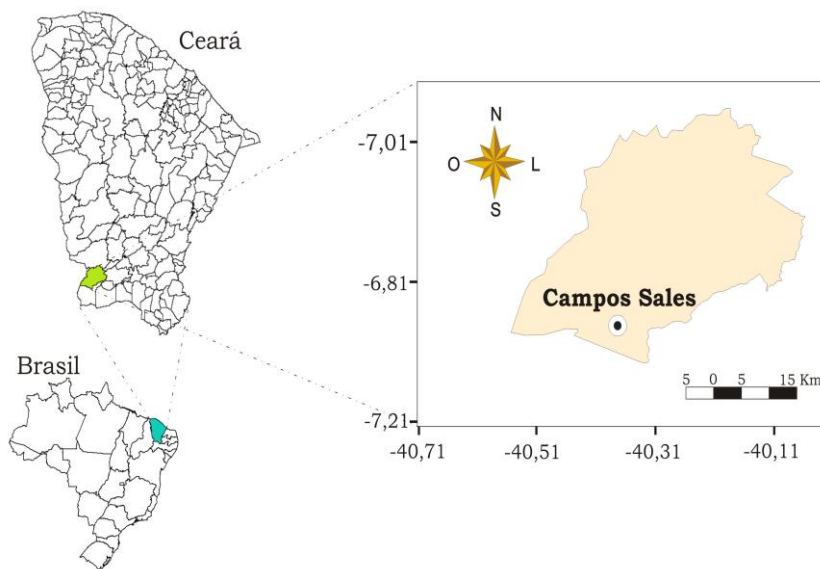


Figura 1. Localização da área em estudo.

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação, a partir dos quais foram

calculadas as médias mensais, compreendendo uma série de dados de 17 anos (1962 a 1978). Os valores de  $ET_0$  pelo método padrão PM-FAO 56 foram calculados pelo

software REF-ET Allen (2000). As estimativas de  $ET_o$  pelos métodos de Hargreaves-Samani (1985) e por Peman-Monteith FAO 56 a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  do ar foram realizadas por meio de planilha eletrônica.

Na estimativa de  $ET_o$  a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$ , quando não se dispõem de dados de velocidade do vento medida a 2 m de altura ( $u_2$ ), foi utilizada a velocidade média de 2 m.s<sup>-1</sup>, conforme descrito por Allen et al. (1998), em função desse número ser uma média de 2000 estações meteorológicas ao redor do globo. Foram também utilizadas, valores de  $u_2$  fixos de 1, 1,5, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 e 5 m.s<sup>-1</sup>.

O procedimento de estimativa dos parâmetros para cálculo da evapotranspiração de referência contando apenas com dados de  $T_x$  e  $T_n$  segue a metodologia sugerida pelo boletim N° 56 do FAO (Allen et al., 1998).

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

Onde:  $ET_o$  - evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;  $R_n$  - radiação líquida total do gramado, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $G$  - densidade do fluxo de calor no solo, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $T_m$  - temperatura média diária do ar a 2 m de altura, °C;  $u_2$  - velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m.s<sup>-1</sup>;  $e_s$  - pressão de saturação de vapor médio diário, kPa;  $e_a$  - pressão atual de vapor médio diário, kPa;  $e_s - e_a$  - déficit de saturação de vapor médio diário, kPa;  $\Delta$  - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de  $T_m$ , kPa.°C<sup>-1</sup>;  $\gamma$  - coeficiente psicrométrico, kPa.°C<sup>-1</sup>.

A pressão de saturação média diária ( $e_s$ ) foi calculada em função da pressão de saturação da temperatura máxima e mínima do ar, (2 e 3).

$$e_s = \frac{e^o(T_x) + e^o(T_n)}{2} \quad (2)$$

$$e^o = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \quad (3)$$

A estimativa da pressão atual de vapor ( $e_a$ ) foi determinada através da  $T_n$ , corrigida pela subtração de 2 °C, conforme sugerido por Allen et al. (1998) para climas semiáridos (4).

$$e_a = e_s(T_d) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_d}{T_n + 237,3}\right) \quad (4)$$

A declividade de curva de pressão de vapor foi obtida através da equação 5.

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_m}{T_m + 237,3}\right) \right]}{(T_m + 237,3)^2} \quad (5)$$

A constante psicrométrica foi estimada pelas Equações 6 e 7.

$$\gamma = \frac{c_p \cdot P}{\epsilon \cdot \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} \cdot p \quad (6)$$

$$p = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 \cdot Z}{293} \right)^{5,26} \quad (7)$$

Onde:  $C_p$  - calor específico a pressão constante, 1,013x10<sup>-3</sup>, MJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>;  $P$  - pressão atmosférica, kPa;  $\epsilon$  - coeficiente de peso molecular de vapor de água ar.seco<sup>-1</sup>, 0,622;  $\lambda$  - calor latente de vaporização, 2,45 MJ.kg<sup>-1</sup>;  $Z$  - altitude do local, m.

O fluxo de calor no solo ( $G$ ) foi estimado pela equação abaixo:

$$G_{mês,i} = 0,14 \cdot (T_{mês,i} - T_{mês,i-1}) \quad (8)$$

Onde:  $T_{mês,i}$  - temperatura média mensal do ar para o mês  $i$ , °C;  $T_{mês,i-1}$  - temperatura média mensal do mês anterior a  $i$ , °C.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) é a diferença entre o saldo de radiação de onda curta ( $R_{ns}$ ) e o saldo de radiação de onda longa ( $R_{nl}$ ).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (9)$$

$$R_{ns} = 0,77 \cdot R_s \quad (10)$$

$$R_{nl} = \sigma \left( \frac{T_{x,k^4} + T_{n,k^4}}{2} \right) \left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (11)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} \cdot Z) R_a \quad (12)$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r (\omega_s \cdot \text{sen} \cdot \text{sen} \delta + \cos \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} \omega_s) \quad (13)$$

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi J}{365}\right) \quad (14)$$

$$\delta = 0,409 \text{sen}\left(\frac{2\pi J}{365} - 1,35\right) \quad (15)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \cdot \tan \delta) \quad (16)$$

Onde:  $R_s$  - radiação solar em, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $R_a$  - radiação no topo da atmosfera, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $G_{sc}$  - constante, 0,0820 MJ.m<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>;  $\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann, 4,903 x 10<sup>-9</sup> MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $R_{so}$  - radiação solar em um dia sem nuvens, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>;  $Z$  - altitude do local, m;  $d_r$  - distância

relativa Terra-Sol; J- dia Juliano;  $\delta$  - declinação solar, radianos;  $\varphi$ - latitude local, radianos;  $\omega_s$ - ângulo de radiação no momento do por do sol, radianos;  $T_{x,k}$  - temperatura máxima do ar, K;  $T_{n,k}$  - temperatura mínima do ar, K.

Na estimativa da radiação solar global foi utilizado o método de Hargreaves - Samani (17), descrito por Jabloun ; Sahli (2008), que utilizaram o coeficiente de ajuste empírico ( $K_{rs}$ ), de 0,16 para o interior e 0,19 para regiões costeiras e o  $K_{rs}$  em função da pressão (18).

$$R_s = K_{rs} \sqrt{(T_x - T_n)} R_a \quad (17)$$

$$K_{rs} = K_{ra} \sqrt{\frac{P}{P_o}} \quad (18)$$

Onde:  $R_a$  - radiação no topo da atmosfera, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>; P - pressão atmosférica média para o local, determinada em função da altitude, kPa;  $P_o$  - pressão atmosférica média ao nível do mar, 101,3 kPa;  $K_{ra}$  - coeficiente empírico igual a 0,17 na região continental e 0,20 na região costeira;  $T_x$  - temperatura máxima do ar, °C;  $T_n$  - temperatura mínima do ar, °C.

A estimativa de  $ET_o$  pelo método de Hargreaves-Samani (HS) foi calculada através da equação 19, descrito por Oliveira et al. (2010).

$$ET_o(H \& S) = 0,0023(T_m + 17,8)\sqrt{(T_x - T_n)}R_a \quad (19)$$

Onde:  $T_x$  - temperatura máxima do ar, °C;  $T_n$  - temperatura mínima do ar, °C;  $T_m$  - temperatura média do ar, °C;  $R_a$  - radiação no topo da atmosfera, MJ.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>.

Este método também é recomendado pela FAO (Allen et al., 1998) quando há somente disponibilidade de dados de temperatura do ar no local de estudo.

Os resultados foram analisados por meio de regressões lineares simples, erro padrão de estimativa (EPE), porcentagem (%), índice de concordância (d) e pelo índice de confiança ou desempenho (c) de Camargo ; Sentelhas (1997) (20 a 22).

A análise de desempenho dos modelos foi realizada comparando os valores de  $ET_o$  obtidos pelo método de PM-FAO 56 a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  e o método de (HS) com o método padrão PM-FAO 56. A metodologia utilizada para comparar os resultados foi o do erro padrão de estimativa (EPE), descrito por Oliveira et al. (2008).

$$EPE = \left[ \frac{\sum (Pi - Oi)^2}{n - 1} \right]^{0,5} \quad (20)$$

O coeficiente de correlação (r) foi obtido através da equação abaixo:

$$r = \frac{\sum [(Pi - \bar{O}) + (Oi - \bar{O})]^2}{\sqrt{\sum (Pi - \bar{O})^2 \sum (Oi - \bar{O})^2}} \quad (21)$$

A aproximação dos valores de  $ET_o$  estimados por determinado método estudado, em comparação aos valores obtidos pelo método padrão, foi obtido pelo índice de concordância (Willmontt et al., 1985), onde seus valores variam de “0” (não existe concordância) a “1” (concordância perfeita), descrito por Barros et al. (2009).

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^n [(Pi - \bar{O}) + (Oi - \bar{O})]^2} \right] \quad (22)$$

Onde: EPE - erro padrão de estimativa, mm.dia<sup>-1</sup>; d - índice de concordância ou ajuste;  $P_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado;  $O_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método padrão;  $\bar{O}$  - média dos valores de  $ET_o$  obtida pelo método padrão; n - número de observações.

Utilizou-se um índice de confiança “c”, proposto por Camargo ; Sentelhas (1997), reunindo os índices de precisão “r” e de exatidão “d”, sendo expresso por (c= r.d) (Tabela 1), descrito por Oliveira et al. (2008).

**Tabela 1.** Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa de evapotranspiração pelo índice de confiança “c” de Camargo ; Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo ; Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As melhores estimativas de radiação solar foram encontradas com a metodologia de  $K_{rs}$  em função da pressão atmosférica, onde apresentou o menor EPE quando comparado com a utilização de  $K_{rs}$  fixo de 0,16, recomendado para região continental. Resultados semelhantes ao encontrados por Rocha et al. (2011), onde trabalharam com dados mínimos e compararam a  $ET_o$  de Penman-Monteith FAO estimada com dados mínimos e utilizando conjunto de dados completos disponíveis para a localidade de Limoeiro do Norte-CE, encontrando o melhor valor com  $K_{rs}$  de 0,17, quando comparado a qualidade de ajuste para um  $K_{rs}$  de 0,16; 0,18 ou 0,19.

Jabloun ; Sahli (2008) avaliaram a metodologia da FAO 56 para a estimativa da evapotranspiração de referência usando dados climáticos limitados para a Tunísia, e encontraram alta correlação na estimativa da  $ET_o$  com a utilização do coeficiente de ajuste ( $K_{rs}$ ) calibrado para cada localidade na estimativa da radiação solar. Resultados diferentes foram encontrados por Sentelhas et al. (2010) que não encontraram boa concordância no sul do Canadá, aplicando a metodologia sugerida pela FAO para estimativa da radiação solar (Allen et al., 1998).

As estimativas de  $ET_o$  pelo método de (HS) apresentou “c” de 0,66, classificado como (Bom) segundo Camargo ; Sentelhas (1997), com EPE de 0,68 mm.dia<sup>-1</sup> e “d” de 0,82, subestimando o método padrão PM-FAO 56 em 5,34% (0,26 mm.dia<sup>-1</sup>). Gonçalves et al. (2009) compararam métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE e verificaram para o método de (HS) “c” de 0,76, classificado como (Muito Bom), EPE de 0,79 mm.dia<sup>-1</sup> e “d” de 0,93. Resultado semelhante encontrado por Silva et al. (2010), em que estimaram a  $ET_o$  pelos métodos de PM-FAO 56 e (HS) a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  para Sobral-CE, e encontraram para o método de (HS) “c” de 0,80, classificado como “Muito Bom”, superestimando o método padrão PM-FAO 56 em 7,60% (0,37 mm.dia<sup>-1</sup>).

Araújo et al. (2007) compararam métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Boa Vista-RR e encontraram para o método de (HS) “c” de 0,57 e “d” de 0,57, classificado como “Sofrível”. Resultado um pouco melhor foi encontrado por Araújo et

al. (2010), onde avaliaram o desempenho de métodos de estimativa de  $ET_o$  correlacionados com a equação de padrão Penman-Monteith FAO 56 em quatro cidades do Estado do Ceará, verificando-se para a localidade de Crateús-CE “c” de 0,62, sendo classificado como “Mediano” e EPE de 0,73 mm.dia<sup>-1</sup>.

Observou-se que o melhor desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar foi encontrado para PM-FAO 56 com  $u_2$  de 3 e 3,5 m.s<sup>-1</sup>, para a primeira “c” de 0,74, EPE de 0,59 mm.dia<sup>-1</sup> e “d” de 0,85, para a segunda “c” também de 0,74, EPE de 0,65 mm.dia<sup>-1</sup> e “d” de 0,84, com ambos índices de desempenho classificados como “Bom” e superestimando o método padrão PM-FAO 56 em 2,67 (0,14 mm.dia<sup>-1</sup>) e 6,83% (0,35 mm.dia<sup>-1</sup>).

O método de PM-FAO 56, com  $u_2$  de 2,5, 4, 4,5 e 5 m.s<sup>-1</sup>, também apresentou desempenho classificado como “Bom”, com “c” de 0,71; 0,72; 0,70 e 0,68 e EPE de 0,61; 0,75; 0,88 e 1,02 mm.dia<sup>-1</sup> (Tabela 2). Silva et al. (2010) estimaram a  $ET_o$  a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  para Tauá-CE e encontraram os melhores resultados para o método de PM-FAO 56 para a  $u_2$  de 2,5 m.s<sup>-1</sup>, com “c” de 0,91 e EPE de 0,26 mm.dia<sup>-1</sup>, classificado como “Ótimo”.

Para o método de PM-FAO 56, empregando  $u_2$  de 2 m.s<sup>-1</sup>, foi encontrado “c” de 0,64, EPE de 0,72 mm.dia<sup>-1</sup> e “d” de 0,79, classificado como “Mediano”. Popova et al. (2006) avaliaram a metodologia da FAO para computar a  $ET_o$  com dados limitados em cinco estações meteorológicas no sul da Bulgária e Jabloun ; Sahli (2008), também trabalharam com dados limitados para a Tunísia, com  $u_2$  de 2,0 m.s<sup>-1</sup>, e verificaram que a sua utilização tende a superestimar  $ET_o$  padrão.

Sentelhas et al. (2010) também trabalharam com dados mínimos, e concluíram que PM-FAO é aceitável para estimar  $ET_o$  diária, quando a velocidade do vento não está disponível.

O pior desempenho foi encontrado com o método de PM-FAO 56 com  $u_2$  de 1 e 1,5 m.s<sup>-1</sup>, com “c” de 0,48 e 0,55 e EPE de 1,12 e 0,89 mm.dia<sup>-1</sup>, classificados como “Mau” e “Sofrível” respectivamente, subestimando o método padrão em 17,18 (0,87 mm.dia<sup>-1</sup>) e 11,67% (0,59 mm.dia<sup>-1</sup>).

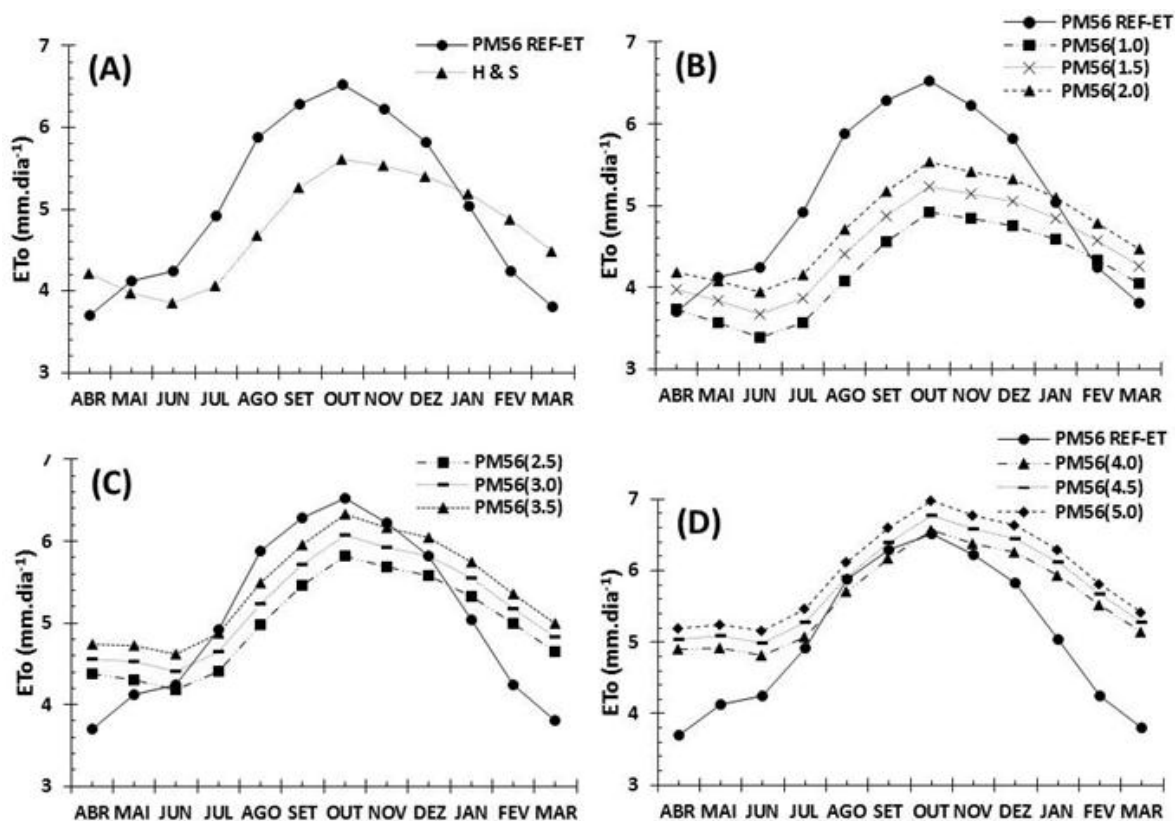
**Tabela 2.** Indicadores estatísticos da correlação entre o método padrão PM-FAO 56 com os métodos de (HS) e PM-FAO 56 a partir de dados de temperatura máxima e mínima mensais utilizando diferentes velocidades do vento fixas para a localidade de Campos Sales-CE

Método	%	EPE	r	d	c	Desempenho
PM56 (1,0)	82,82	1,12	0,74	0,64	0,48	Mau
PM56 (1,5)	88,33	0,89	0,78	0,71	0,55	Sofrível
PM56 (2,0)	93,46	0,72	0,82	0,79	0,64	Mediano
PM56 (2,5)	98,22	0,61	0,84	0,84	0,71	Bom
PM56 (3,0)	102,67	0,59	0,87	0,85	0,74	Bom
PM56 (3,5)	106,83	0,65	0,88	0,84	0,74	Bom
PM56 (4,0)	110,73	0,75	0,90	0,81	0,72	Bom
PM56 (4,5)	114,41	0,88	0,91	0,77	0,70	Bom
PM56 (5,0)	117,86	1,02	0,92	0,73	0,68	Bom
(HS)	94,66	0,68	0,81	0,82	0,66	Bom

Fonte: Autoria própria.

Os menores valores de  $ET_o$  pelo método padrão ocorrem em abril e o maiores em outubro (Figura 2). Na estimativa de  $ET_o$  a partir das temperaturas máxima e mínima do ar com a utilização  $u_2$  de 1 a 5  $m.s^{-1}$ , a mínima ocorre em junho e a máxima em outubro. Valores de  $ET_o$  estimada com  $u_2$  de 1 a 3,5  $m.s^{-1}$  superestimaram e subestimaram o método padrão, sendo que os resultados

de  $ET_o$  calculada com velocidade do vento de 4  $m.s^{-1}$  apresentou valores mais próximos do método padrão e as velocidades de 4,5 e 5  $m.s^{-1}$  superestimaram a  $ET_o$ . Para o método de (HS) os menores valores de  $ET_o$  ocorrem em junho e a máxima também ocorre no mesmo período da  $ET_o$  padrão (Figura 2A).



**Figura 2.** Valores médios mensais da distribuição da evapotranspiração de referência pelo método padrão PM-FAO 56 em relação aos métodos de (HS) (A) e PM-FAO 56 a partir da temperatura máxima e mínima do ar utilizando velocidades do vento fixas, de 1 a 2  $m.s^{-1}$  (B), 2,5 a 3,5  $m.s^{-1}$  (C), 4 a 5  $m.s^{-1}$  (D) para Campos Sales-CE.

## CONCLUSÕES

Para as estimativas de  $ET_o$  apenas com dados de temperatura máxima e mínima do ar, o melhor ajuste de

Penman-Monteith FAO foi velocidades do vento a 2m de altura de 3 e 3,5  $m.s^{-1}$ .

Com base nas condições climáticas da região em estudo, o método de Hargreaves-Samani apresentou um

bom desempenho, podendo ser utilizado para estimar a  $ET_0$  com boa precisão.

Esse procedimento utilizado de estimar a  $ET_0$  a partir de dados de temperatura máxima e mínima do ar apresentou resultados aceitáveis, podendo ser empregado para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação, bem como para um manejo de irrigação adequado.

## LITERATURA CITADA

ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator, version 2.0**. Kimberly: University of Idaho Research and Extension Center, 2000. 76p.

ALLEN R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, E. M.; OLIVEIRA, J. B.; ARAÚJO, E. M.; LEDO, E. R. F.; SILVA, M. G. Desempenho de métodos de estimativa de  $ET_0$  correlacionados com a equação padrão Penman Monteith FAO 56, em cidades do Estado do Ceará. **Acta Tecnológica**, v. 5, n. 2, p. 84-101, 2010.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, A. A. S.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para Boa Vista, RR. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009.

BRAGANÇA, R. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Estado do Espírito Santo**. 2007. 69p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Fitotecnia) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with FAO Penman-Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agriculture and Forest Meteorology**, v. 145, n. 01/02, p. 22-35, 2007.

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

GONÇALVES, F. M.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R.; JÚNIOR, M. V. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009.

HENRIQUE, F. A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2007.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 06, p. 707-715, 2008.

LIMA, E. P. **Evapotranspiração de referência de Penman-Monteith, padrão FAO (1998), a partir de dados de temperatura máxima e mínima de Minas Gerais**. Minas Gerais, 2005. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, UFV.

NANDAGIRI, L.; KOVOOR, G. M. Sensitivity of the Food and Agriculture Organization Penman-Monteith evapotranspiration estimates to alternative procedures for estimation parameters. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 3, p. 238-248, 2005.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v. 4, p. 104-109, 2010.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G.; SANTOS, F. X. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 58-67, 2008.

POPOVA, Z.; KERCHEVA, M.; PEREIRA, L.S. Validation of the FAO methodology for computing  $ET_0$  with limited data. **Application to South Bulgaria. Irrigation and Drainage**. v. 55, n. 02, p. 201-215, 2006.

ROCHA, E. J. T.  $ET_0$  AL. Estimativa da  $ET_0$  pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 75-83, 2011.

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**, v. 97, n. 05, p. 635-644, 2010.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, J. B.; LEDO, E. R. F.; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M. Estimativa da  $ET_0$  pelos métodos de Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de  $T_x$  e  $T_n$  para Sobral e Tauá no Ceará. **Acta Tecnológica**, v. 5, n. 2, p. 52-68, 2010.