

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM DADOS CLIMÁTICOS LIMITADOS E MODELOS ALTERNATIVOS PARA A REGIÃO DE IBIMIRIM, PE

Sirleide Maria de Menezes<sup>1</sup>, José Edson Florentino de Morais<sup>2</sup>, Anna Cecília Ribeiro da Silva<sup>3</sup>, Antônio Gebson Pinheiro<sup>4</sup>, Gerônimo Ferreira da Silva<sup>5</sup>, Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida<sup>6</sup>

**RESUMO:** A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um dos principais parâmetros meteorológicos para estudos climatológicos e sua estimativa subsidia o planejamento e manejo da irrigação. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho do método de Penman-Monteith (PM FAO-56) na estimativa da evapotranspiração de referência com dados climáticos limitados e métodos alternativos para Ibimirim, PE. Foi utilizada a série de dados de radiação solar global, temperatura e umidade relativa do ar e velocidade do vento da estação meteorológica automática no período de 2009 a 2017. Na avaliação, a ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método padrão de PM com todos os dados climáticos, e considerando combinações de dados climáticos ausentes, além dos métodos de alternativos de Hargreaves & Samani (HS), Jensen & Haise (JH) e Makkink (MK). O desempenho foi analisado por meio de índices e erros estatísticos. O método de PM apresentou boas estimativas da ET<sub>o</sub> para Ibimirim, quando a ausência de dados se limita às variáveis de radiação solar e velocidade do vento. O aumento do número de variáveis meteorológicas ausentes diminui a precisão e exatidão, aumentando os erros de estimativa da ET<sub>o</sub>. Dentre os métodos alternativos, MK e JH se mostraram satisfatórios para estimativa da ET<sub>o</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** manejo de irrigação, índices de desempenho, Semiárido

## ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH LIMITED CLIMATIC DATA AND ALTERNATIVE MODELS FOR IBIMIRIM REGION, PE

<sup>1</sup> Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco/Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 52171-900, Recife, PE. e-mail: sirleidemeneses@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutorando, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: joseedson50@hotmail.com

<sup>3</sup> Graduanda, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: cecilia.ribeiro.414@gmail.com

<sup>4</sup> Doutorando, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: gebson10@hotmail.com

<sup>5</sup> Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFRPE, Recife, PE. e-mail: geronimo.silva@ufrpe.br

<sup>6</sup> Prof<sup>a</sup>. Doutora, Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas, UFRPE, Recife, PE. e-mail: ceres.codai.ufrpe@gmail.com

**ABSTRACT:** Reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is one of the main meteorological parameters for climatological studies and its estimate subsidy in irrigation planning and management. Thus, the objective was to evaluate the performance of the Penman-Monteith method (PM FAO-56) in the estimation of reference evapotranspiration with limited climate data and alternative methods for Ibimirim, PE. The data from global solar radiation, temperature, relative humidity and wind speed of the automatic weather station from 2009 to 2017 were used. In the evaluation, the ET<sub>o</sub> was estimated by the standard PM method with all climate data, and considering combinations of missing climate data, as well as Hargreaves & Samani (HS), Jensen & Haise (JH) and Makkink (MK) as alternative methods. The performance was analyzed using indices and statistical errors. The PM method showed good estimates of ET<sub>o</sub> for Ibimirim when the absence of data is limited to solar radiation and wind speed variables. Increasing the number of missing weather variables decreases precision and accuracy, increasing ET<sub>o</sub> estimation errors. Among the alternative methods, MK and JH were satisfactory to estimate the ET<sub>o</sub>.

**KEY WORDS:** irrigation management, performance indexes, semiarid.

## INTRODUÇÃO

É característica da região do Semiárido brasileiro a ocorrência de longos períodos de seca e alta variabilidade pluviométrica, o que interfere diretamente no setor da produção agrícola. A água sendo um fator limitante nessa região é indispensável seu uso racional, bem como, melhoria na gestão e planejamento dos recursos hídricos. A irrigação complementar representa a forma mais eficiente de produção de alimentos. Assim, seu correto dimensionamento garante um sistema eficiente e, para tal, a evapotranspiração torna-se uma ferramenta imprescindível, juntamente com coeficientes relacionados à planta e solo (Ortega-Farias *et al.*, 2009; Bezerra *et al.*, 2014; Alencar *et al.*, 2015).

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um parâmetro importante no balanço hídrico, seu conceito refere-se a perda de água por uma cultura hipotética que se assemelha a um gramado, em crescimento ativo e mantida a uma altura uniforme de 0,12 m, sombreando completamente o terreno e sem restrição hídrica (Allen *et al.*, 1998; Morais *et al.*, 2015).

O método para a estimativa da ET<sub>o</sub> padronizado pela FAO (Organizações das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação) é o Penman-Monteith (FAO-56), cuja metodologia baseia-se na abordagem física associada a parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos (Allen *et*

*al.*, 1998; Burguera *et al.*, 2017). A aplicação desse modelo é limitada pela demanda de um grande número de variáveis meteorológicas, as quais nem sempre estão disponíveis nas estações meteorológicas, resultando em séries de dados heterogêneas.

Em regiões onde há ausência de dados climáticos, Allen *et al.* (1998) sugeriram procedimentos para estimar os parâmetros climáticos ausentes, como radiação solar, déficit de pressão de vapor e velocidade do vento, ou ainda, a utilização de métodos alternativos para estimar a ETo. No entanto, há a necessidade de avaliar esses procedimentos para testar a viabilidade e o desempenho na determinação da ETo.

De acordo com Zhang *et al.* (2018) e Venancio *et al.* (2019) para o desenvolvimento de um sistema moderno de irrigação, a pesquisa de estimativas de evapotranspiração de referência sob a condição de dados de entrada limitados é um trabalho significativo, que pode não apenas melhorar a eficiência da utilização dos recursos hídricos agrícolas, mas também reduzir o aporte econômico.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o desempenho do método de Penman-Monteith (FAO-56) na estimativa da ETo com dados climáticos limitados, bem como o uso de métodos alternativos para a região de Ibimirim, Pernambuco.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para o município de Ibimirim, Pernambuco (8° 32' 05'' S, 37° 41' 50'' O e altitude de 408 m), localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó onde encontra-se o Perímetro Irrigado do Moxotó (PIMOX) administrado pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) que compõe a principal área de produção agrícola irrigada de Ibimirim (Salin *et al.*, 2012).

A região de Ibimirim localiza-se no semiárido do sertão brasileiro, cujo clima é caracterizado como BSw<sup>h</sup> (semiárido muito seco e quente), de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). O índice pluviométrico anual médio é de 454 mm, concentrado nos meses de junho a agosto com temperatura média do ar de 24,7 °C.

Os dados climáticos utilizados foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) da estação meteorológica automática de Ibimirim, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET – 8° 30' S, 37° 42' O e 448 m) no período de 2009 a 2017. As variáveis monitoradas em escala diária foram radiação solar global (Rs, MJ

$\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), temperatura média, máxima e mínima do ar ( $T_{\text{méd}}$ ,  $T_{\text{máx}}$  e  $T_{\text{mín}}$ , °C), umidade relativa do ar ( $UR_{\text{ar}}$ , %) e velocidade do vento a 3 m de altura ( $u_3$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ).

Inicialmente a ETo foi calculada empregando o método padrão considerado como o mais preciso, proposto pela FAO 56 (Allen *et al.* 1998) de acordo com a equação 1:

$$E_{\text{To}}_{\text{PM-FAO56}} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{t_{\text{med}} + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que:

ETo - evapotranspiração de referência da grama com resistência estomática de  $70 \text{ m s}^{-1}$ , altura da cultura hipotética fixada em 0,12 m e albedo de 0,23 ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $\Delta$  - inclinação da curva de pressão de vapor d'água saturada ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  - saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );  $G$  - fluxo de calor no solo (sendo considerado nulo para estimativas diárias  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );  $\gamma$  - constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $t_{\text{med}}$  - temperatura média do ar diária (°C);  $u_2$  - velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_a$  - é a pressão atual de vapor d'água (kPa);  $e_s$  - é a pressão de vapor de saturação (kPa); ( $e_s - e_a$ ) - déficit de pressão vapor d'água (kPa).

O uso da equação da PM FAO 56 só é possível quando um conjunto completo de dados está disponível. No entanto, Allen *et al.* (1998) sugerem que este método também pode ser usado em condições de dados climáticos limitados, estimando os dados em falta por meio de alguns procedimentos, além da estimativa por métodos mais simples.

Dessa forma, avaliou-se o desempenho do método de Penman-Monteith (FAO-56) com dados limitados e métodos alternativos mais simples como o de Hargreaves & Samani (Hargreaves & Samani, 1985), Jensen & Haise (Jensen & Haise, 1963) e Makkink (Makkink, 1957). Para realizar as comparações considerou-se as seguintes relações (R): R1 - radiação global estimada ( $-R_s$ ,  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ); R2 - velocidade do vento constante ( $-u$ ,  $\text{m s}^{-1}$ ); R3 - pressão parcial de vapor d'água estimada na ausência de dados de umidade relativa do ar ( $-e_a$ , kPa); R4 - apenas dados de temperatura para estimar  $R_s$  e  $e_a$ , e  $u$  constante; R5 - ausência de  $R_s$  e  $u$ ; R6 - ausência de  $u$  e  $e_a$ ; R7 - ausência de  $R_s$  e  $e_a$ ; R8 - ausência de  $R_s$ ,  $u$  e  $e_a$ , R9 - método alternativo de Hargreaves & Samani (HS); R10 - método alternativo de Jensen & Haise (JH); e, R11 - método alternativo Makkink (MK).

De acordo com Allen *et al.* (1998), outros métodos alternativos que podem ser utilizados para estimar a ETo são descritos nas equações de Hargreaves & Samani (H&S), Jensen & Haise (J&H) e Makkink (MK):

$$E_{\text{To}}_{\text{H\&S}} = 0,0023.(t_{\text{med}} + 17,8).(t_{\text{máx}} - t_{\text{mín}})^{0,5} . Q_o \quad (2)$$

$$ETo_{J\&H} = 0,408.R_s.(0,025.t_{med} + 0,08) \quad (3)$$

$$ETo_{MK} = 0,408.R_s.\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right) + 0,12 \quad (4)$$

Em que:

$R_s$  - radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (mm);  $t_{m\acute{a}x}$  - temperatura máxima (°C);  $t_{m\acute{i}n}$  - temperatura mínima (°C);  $t_{med}$  - temperatura média (°C);  $Q_0$  - radiação solar extraterrestre (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $\Delta$  - inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água (kPa °C<sup>-1</sup>);  $\gamma$  - constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>).

Os dados de ETo obtidos pelo método padrão da FAO 56 foram comparados com os resultados de ETo estimados com dados faltosos e com os métodos alternativos. A avaliação do desempenho das estimativas de ETo foi realizada por meio do emprego de regressão linear simples e dos seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro percentual (EP%), o erro médio da estimativa (MBE) e a raiz do quadrado do erro médio (RMSE). A precisão das estimativas foi avaliada pelo coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), o índice de exatidão de Willmont ( $d$ ) e o índice de desempenho ( $c$ ) que foi interpretado de acordo com Camargo & Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) a partir do método de PM FAO-56 usando dados faltosos de  $R_s(t)$  (Tabela 1) apresentou alto coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,86$ ) para a região de Ibimirim, mostrando boa precisão em relação à sua estimativa usando todos os dados meteorológicos, boa precisão com coeficiente angular da reta ( $a = 0,73$ ) e desempenho classificado como mediano ( $c = 0,61$ ), no entanto, observa-se que houve uma subestimativa (MBE = -1,98 mm dia<sup>-1</sup>) a longo prazo nos valores da ETo obtidos para essa condição ( $-R_s(t)$ ) conforme Figura 1. Os resultados corroboram com os encontrados por Sentelhas et al. (2010) ao analisar o desempenho do método de PM com dados faltosos de  $R_s$  em 12 localidades no sul de Ontário, Canadá.

Quando se avaliou a estimativa da ETo com dados faltosos de umidade relativa do ar ( $-ea(t_{n-3})$ ) conforme Tabela 1, sendo a pressão parcial do vapor d'água ( $ea$ ) calculada com dados de temperatura mínima menos 3° C, a precisão de estimativa mostra-se baixa com inclinação da reta variando de 0,48. Além disso, o índice de desempenho ( $c = 0,59$ ) foi classificado como

sofrível, subestimativa da ETo (MBE = -1,82 mm dia<sup>-1</sup>) e RMSE de 1,85 mm dia<sup>-1</sup>, indicando a necessidade de um ajuste nos valores da ETo para a região.

**Tabela 1.** Coeficiente angular (a), coeficiente de determinação ajustado (R<sup>2</sup>), erro percentual (EP%), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de exatidão de Willmont (d) e índice de desempenho ou concordância (c) das relações entre a evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO-56), considerando todos os dados climatológicos e com ausência de dados e os métodos alternativos (HG - Hargreaves & Samani; JH - Jensen & Haise; MK - Makkink).

Variável	a	R <sup>2</sup>	EP (%)	r	d	c	Classificação
-Rs(t)	0,73	0,86	34,17	0,93	0,66	0,61	Mediano
-ea(t <sub>n</sub> -3)	0,48	0,76	24,96	0,87	0,68	0,59	Sofrível
-u(const.)	0,85	0,94	8,10	0,97	0,95	0,92	Ótimo
t	0,09	0,74	79,23	0,86	0,34	0,29	Péssimo
-Rs(t), -u	0,56	0,88	44,44	0,94	0,56	0,52	Sofrível
-Rs(t), -ea	0,21	0,71	59,13	0,84	0,42	0,35	Péssimo
-u, -ea	0,48	0,72	26,24	0,85	0,67	0,57	Sofrível
-Rs(t), -u, -ea	0,19	0,71	62,59	0,84	0,40	0,34	Péssimo
HS	0,20	0,73	69,05	0,85	0,38	0,33	Péssimo
JH	1,12	0,81	18,75	0,90	0,85	0,76	Muito Bom
MK	0,99	0,76	24,68	0,87	0,77	0,68	Bom

-Rs(t): radiação solar global estimada por de dados de temperatura, -ea(t<sub>n</sub>-3): pressão parcial de vapor d'água estimada por meio dos dados de temperatura mínima menos 3 °C, -u: velocidade do vento, t: estimativa usando apenas dados de temperatura; e as combinações -Rs, -u; -Rs, -ea; -u, -ea; -Rs(t), -u, -ea.

A estimativa da ETo a partir do método padrão da FAO-56 usando dados limitados de -u(const.) apresentou o maior coeficiente de determinação entre todas as comparações (0,94), mostrando ótima correlação entre o modelo com todos os dados climáticos, com um coeficiente angular bom (0,85), conferindo exatidão aos dados. O erro percentual foi baixo e o desempenho classificado como ótimo (Tabela 1), além disso, valores de RMSE (1,7 mm dia<sup>-1</sup>) e MBE (-1,6 mm dia<sup>-1</sup>) na Figura 1A e B, respectivamente.

Em estudo de estimativa da ETo para o estado do Espírito Santo, Venancio *et al.* (2019) observaram que na ausência de dados ausentes da velocidade do vento, assumindo valor médio 2 m s<sup>-1</sup>, foi a melhor alternativa comparado ao método padrão PM-FAO, com valores de R<sup>2</sup> de 0,96 para a primavera e o verão e 0,94 no outono e inverno. Morais *et al.* (2015) também observaram o mesmo desempenho para esta condição para o Vale do Submédio São Francisco, mostrando-se boa opção exatidão (a = 1,02), coeficiente de determinação superior a 0,85 e baixos valores de RMSE e MBE.

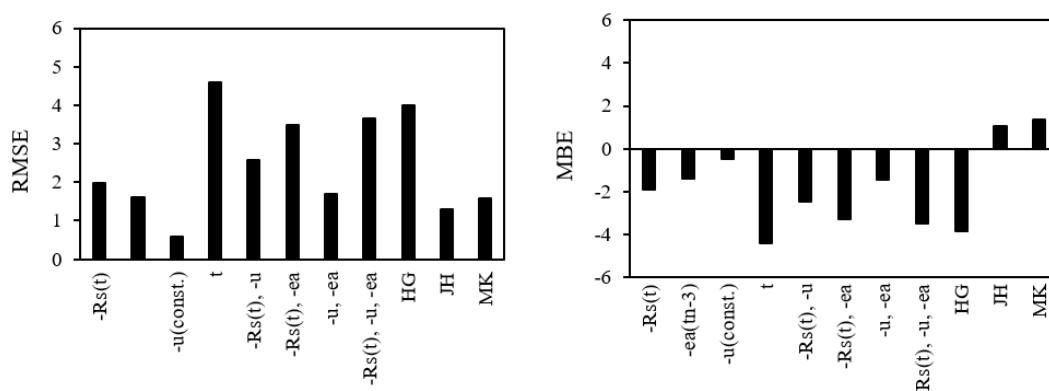
As combinações com dados limitados de -Rs(t), -u e -Rs(t), -u, -ea apresentaram R<sup>2</sup> acima de 0,80 representando uma boa relação entre as estimativas. No entanto, valores do coeficiente angular foram inferiores a 0,70 o que confere baixa exatidão das estimativas

reforçada pelos altos valores de erro percentuais e baixos índices de desempenho que foram classificados de sofrível a péssimo.

Os coeficientes de determinação mais baixos ( $R^2 < 0,80$ ) foram para as estimativas com dados faltantes de t; -ea e -Rs(t), -u, -ea, apresentando baixos valores de coeficientes angular (0,09 a 0,21) o que pode estar relacionado com erros de exatidão, uma vez que para essas relações o erro percentual foi elevado ( $> 59\%$ ) e desempenho classificado como péssimo. Para essas relações, observou-se os maiores valores de superestimativa da ETo com RMSE variando de 3,5 a 4,5 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 1A), destacando-se a necessidade de calibração destes modelos para a região.

Esses resultados são semelhantes aos observados por Morais *et al.* (2015) onde para a relação t obteve os piores resultados. De acordo com Sentelhas *et al.* (2010), como esse método é empírico e baseado apenas em dados de temperatura, a precisão das estimativas tende de ser reduzida. Outros estudos (Wu *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2018) também demonstraram que os modelos baseados em radiação solar eram mais precisos do que os modelos baseados em temperatura.

Em relação aos métodos alternativos, observou-se que o método de HS apresentou o pior desempenho (Tabela 1), com baixos valores de  $R^2$  e coeficiente angular, elevado EP (69,73%) em relação ao método padrão FAO com todos os dados. Já os métodos alternativos de JH e MK apresentaram desempenho muito bom e bom, respectivamente, sendo observado ainda  $R^2 > 0,80$  (Tabela 1) e baixos valores de RMSE (1, 0 a 1,2 mm dia<sup>-1</sup>) e os menores valores de MBE (0,72 a 0,84 mm dia<sup>-1</sup>) (Figura 1).



**Figura 1.** Raiz quadrada do quadrado do erro médio (RMSE, mm dia<sup>-1</sup>) e erro médio de estimativa (MBE, mm dia<sup>-1</sup>) da relação entre a evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith, considerando todos os dados climáticos e dados limitados: -Rs(t) (radiação solar global estimada por de dados de temperatura, -ea(tn-3) (pressão parcial de vapor d'água estimada por meio dos dados de temperatura mínima menos 3 °C), -u (velocidade do vento), t (estimativa usando apenas dados de temperatura); as combinações (-Rs, -u; -Rs, -ea; -u, -ea; -Rs(t), -u, -ea); e os métodos alternativos (HG - Hargreaves & Samani; JH - Jensen & Haise; MK - Makkink).

Liu *et al.* (2017) compararam 16 modelos de estimativa de ETo em regiões semiáridas da China, observando que os modelos de Jensen & Haise e Makkink apresentaram um bom desempenho para a estimativa de ETo, sendo o modelo de Jensen & Haise mais preciso e exatidão.

O método Hargreaves & Samani (SH) apresentou as piores estimativas de ETo entre as opções estudadas, com base nos baixos valores de R<sup>2</sup>. Além disso, o método HS superestimou a ETo em praticamente todas as estações do ano para valores abaixo 5 mm dia<sup>-1</sup> para o estado do Espírito Santo (Venancio *et al.*, 2019).

## CONCLUSÕES

O método padrão de Penman-Monteith FAO 56, apresentou boas estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) para a região de Ibimirim quando a ausência de dados se limitou às variáveis de radiação solar e velocidade do vento.

O aumento do número de variáveis meteorológicas ausentes na estimativa da ETo diminui sua precisão e exatidão, aumentando os erros de cálculo da ETo.

Dentre os métodos alternativos, Jensen & Haise e Makkink se mostraram satisfatórios para estimativa da ETo. Há uma necessidade de calibração do método de Penman-Monteith na ausência da temperatura e umidade relativa do ar, bem como do método alternativo de Hargreaves & Samani.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, L. P.; Sedyama, G. C.; Mantovani, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. *Engenharia Agrícola*, v.35, p.39-50, 2015.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome (Irrigation and Drainage Paper, 56), 1998.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p.711-728, 2013.



Bezerra, J. M.; Moura, G. B. A.; Silva, E. F. F.; Lopes, P. M. O.; Silva, B. B. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para Mossoró (RN, Brasil). *Revista Caatinga*, v.27, p.211-220, 2014.

Burguera, M. T.; Serrano, S. M. V; Grimalt, M.; Beguería, S. Accuracy of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) estimates under data scarcity scenarios in the Iberian Peninsula. *Agricultural Water Management*, v. 182, p.103-116, 2017.

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*, v. 1, p.89-97, 1997.

Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v.1, p.96-99, 1985.

Jensen, M. E.; Haise, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drain Engineering (Bulletin of the American Meteorological Society)*, v. 89, p.15-41, 1963.

Liu, X. Y.; Xu, C. Y.; Zhong, X. L.; Li, Y. Z.; Yuan, X. H.; Cao, J. F. Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agricultural Water Management*, v. 184, p.145–155, 2017.

Makkink, G. F. Ekzameno de la formula de Penman. *Neth Journal of Agricultural Science*, v. 5, p.290-305, 1957.

Morais, J. E. F.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Moura, M. S. M.; Diniz, W. J. S.; Souza, C. A. A. Avaliação do método de Penman Monteith FAO 56 com dados faltosos e de métodos alternativos na estimativa da evapotranspiração de referência no Submédio Vale do São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, p.1644-1660, 2015.

Ortega-Farias, S.; Irmak, S.; Cuenca, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling, *Irrigation Science*, v.28, p.1-3, 2009.

Salin, T. C.; Ferreira, R. L. C.; Albuquerque, S. F.; Silva, J. A. A.; Alves Junior, F. T. Caracterização de sistemas agrícolas produtivos no semiárido brasileiro como bases para um planejamento agroflorestal. *Revista Caatinga*, v. 25, p.109-118, 2012.

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 Ontário, Canadá. *Agricultural Water Management*, v. 97, p.635-644, 2010.

Venancio, L. P.; Cunha, F. F.; Mantovani, E. C.; Sedyama, G. C.; Eugenio, F. C.; Aleman, C. C. Penman-Monteith with missing data and Hargreaves-Samani for ETo estimation in Espírito Santo state, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.153-159, 2019.

Wu, L. F.; Bai, H.; Zhang, F. C.; Lu, X. H.; Wang, J. W.; Liu, H. Y. Applicability of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration in Northwest China *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, v. 47, p.139-151, 2016.

Zhang, Q.; Cui, N.; Feng, Y.; Gong, D.; Hu, X. Improvement of Makkink model for reference evapotranspiration estimation using temperature data in Northwest China. *Journal of Hydrology*, v. 566, p.264-273, 2018.