



## Estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Caruaru – PE

### *Estimation of evapotranspiration of reference by different methods for the city of Caruaru – PE*

*Izaías Romário Soares do Nascimento<sup>1</sup>, Felipe Marinho Coutinho de Souza<sup>2</sup>, Edileide Natália da Silva Rodrigues<sup>3</sup>, Péricles de Farias Borges<sup>4</sup> & Lazaro de Souto Araújo<sup>5</sup>*

**Resumo:** O estudo da evapotranspiração é essencial para o planejamento agrícola, bem como o manejo da irrigação é essencial em regiões como o semiárido proporcionado um desenvolvimento agrícola. O objetivo do trabalho foi avaliar equações empíricas em comparação ao método padrão de estimativa da evapotranspiração. Foram avaliadas três equações em comparação ao método de Penman-Monteith para estimativa de  $ET_0$ , os métodos avaliados foram o de Hamon, Hargreaves e Samani e o de Priestley-Taylor. Utilizando dados diários do ano de 2015 para o município de Caruaru – PE as equações foram comparadas a partir de correlação, coeficiente de exatidão (d), coeficiente de desempenho (c) e regressão linear. Os métodos de Hargreaves e Samani e o de Hamon apresentaram desempenho abaixo do aceitável, mesmo apresentando coeficientes de correlação satisfatórios, esses métodos tendem a subestimar a  $ET_0$  para a região, já o método de Priestley-Taylor apresentou-se um melhor desempenho na correlação e coeficiente de exatidão. Os métodos de Hargreaves e Samani e o de Hamon não são recomendados para a localidade, sendo o de Priestley-Taylor o método mais preciso e de desempenho ótimo.

**Palavras-chave:** *Agrometeorologia; Avaliação de modelos; Manejo de irrigação; Priestley-Taylor.*

**Abstract:** The study of evapotranspiration is of fundamental importance for the agricultural planning, as well as the management of irrigation is essential in regions such as the semiarid provided an agricultural development. The objective of this work was to evaluate empirical equations in comparison to the standard method of estimation of evapotranspiration. Three equations were evaluated in comparison to the Penman-Monteith method for estimating  $ET_0$ , the methods evaluated were the Hamon, Hargreaves and Samani and Priestley Taylor. Using daily data for the year 2015 for the municipality of Caruaru - PE the equations were compared the effect of correlation coefficient of accuracy (d), coefficient of performance (c) and linear regression. The methods of Hargreaves and Samani and Hamon presented performance below the acceptable, even presenting satisfactory correlation coefficients, these methods tend to underestimate the  $ET_0$  for the region, already the Priestley-Taylor method presented a better performance in correlation and coefficient of accuracy. The methods of Hargreaves and Samani and Hamon are not recommended for the locality, being the Priestley-Taylor method more precise and optimal performance.

**Keywords:** *Agrometeorology; Evaluation of models; Irrigation management; Priestley-Taylor.*

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 03/10/2017; aprovado em 30/06/2019

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, Bolsista do PET AGROBIO, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), e-mail: izaiaa.agronomia@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Agronomia, Bolsista PIBIC, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), e-mail: felipemarinhopbc@gmail.com

<sup>3</sup>Graduanda em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (CCA/UFPB), e-mail: edileidenatalia@hotmail.com

<sup>4</sup>Prof. Dr. do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (DCFS/CCA/UFPB); e-mail: periclescca@hotmail.com;

<sup>5</sup>Prof. Dr. do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba (DCFS/CCA/UFPB); e-mail: lazaro.souto@hotmail.com.

## **INTRODUÇÃO**

Sendo a agricultura o setor que mais demanda de água para irrigação dos cultivos, é de total importância o manejo adequado de quando e quanto irrigar, evitando assim prejuízos ambientais e sociais maiores devido à escassez hídrica. Uma das formas de saber qual lâmina de água deve-se aplicar é por meio do produto entre evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) e coeficiente da cultura (k<sub>c</sub>), que depende das fases fenológicas da mesma (PEREIRA e PRUITT, 2004).

A determinação adequada da evapotranspiração é fator importantíssimo também para o dimensionamento das tubulações e bombas de um sistema de irrigação (CHAGAS et al., 2013), além da realização do balanço hídrico para fins de hidrologia e classificação climática.

A ET<sub>0</sub> pode ser obtida de forma direta ou indireta, sendo a forma direta muitas vezes cara e pouco usual por exigir a compra de equipamentos caros e que exigem mão de obra especializada. O método indireto é o mais utilizado, baseando-se em estimativa por meio de equações que utilizam dados de estações meteorológicas (PEREIRA et al., 1997). A equação recomendada pela FAO (Food and Agriculture Organization) como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência para todas as localidades é a de Penman-Monteith, conforme o boletim de Irrigação e Drenagem n° 56 (ALLEN et al., 1998).

Mesmo sendo o método de Penman-Monteith o padrão esse apresenta ainda uma certa desvantagem, pois muitas localidades não têm estações que mensurem todas as variáveis necessárias na equação, com isso diversos trabalhos são desenvolvidos para diferentes localidades na perspectiva de assumir outro método empírico que exija de menos dados para viabilizar a estimativa de forma precisa. Como Santos et al. (2017), que analisou qual método mais se adequa para as condições de Petrolina – PE, assim como também Moura et al. (2013), avaliou diferentes métodos para uma bacia experimental também no estado de Pernambuco.

A precisão do método para estimativa da ET<sub>0</sub> dependerá do local, conforme suas condições climáticas, dessa forma é de grande necessidade determinar quais métodos apresentam correlação e desempenho favorável em comparação ao método padrão para subsidiar e viabilizar o manejo da irrigação (JENSEN, BURMAN e ALLEN, 1990; ALLEN et al., 1998).

Hamon desenvolveu seu método em 1961, pois afirmava que o de Thornthwaite subestimava ou superestimava a ET<sub>0</sub> a depender da época (Pereira et al., 1997), no entanto, diversos trabalhos avaliaram que esse subestima a evapotranspiração em comparação a Penman-Monteith para diversas localidades do Brasil (BORGES e MEDIONDO, 2007; CAVALCANTE JUNIOR et al., 2011).

Objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Caruaru – PE, afim de adequar o modelo mais preciso para a região em comparação ao método padrão Penman-Monteith.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas é de suma importância para o manejo eficiente e consciente na agricultura irrigada, dessa forma a quantificação da evapotranspiração é imprescindível para quantificar as variações sobre as necessidades de irrigação durante o ciclo das culturas (ORTEGA-FARIAS, IRMAK e CUENGA, 2009).

Segundo Allen et al. (1998), a evapotranspiração de referência é um processo simultâneo de evaporação e transpiração de uma superfície com cobertura de uma cultura hipotética com altura uniforme de 0,12 m, resistência aerodinâmica de superfície de 70 s m<sup>-1</sup> e albedo de 0,23, sem restrição de água, crescendo ativamente e sombreando completamente o solo, características semelhantes às da grama.

Existem diversos métodos que possibilitam a estimativa da ET<sub>0</sub>, sendo o de Penman-Monteith considerado o método padrão mundial, visto que nesse modelo várias variáveis meteorológicas são incorporadas (ALLEN et al., 1998), mesmo assim em condições climáticas especiais esse método pode levar a erros próximos aos 30% (WIDMOSER, 2009). Outros diversos métodos comumente são encontrados na literatura, esses são baseados em equações matemáticas empíricas com fundamentos físicos (FOOLADMAND; AHMADI, 2009).

Para McAneney e Itier (1996), o método de Priestley-Taylor comparado com o de Penman-Monteith aponta limites operacionais, visto que propõe empiricamente coeficiente de proporcionalidade entre taxa de perda d'água e energia líquida disponível de uma superfície vegetada para a atmosfera. No entanto, segundo Vila Nova e Pereira (2006), o método apresenta suporte experimental e garantia de uma certa precisão.

Para localidades onde há uma limitação de dados climáticos que viabilizem a estimativa da evapotranspiração pelo modelo padrão, o método de Hargreaves pode ser uma alternativa, sendo necessário ajustes e calibrações para a região por meio de coeficientes empíricos (FERNANDES et al., 2012).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada para o ano de 2015, a partir de dados diários disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação automática de código

OMM 81956, com coordenadas 8°14'9,85'' Latitude Sul, 35°59'7,98'' Longitude Oeste e 570 metros de altitude, localizada na cidade de Caruaru – PE.

A ET<sub>0</sub> foi estimada pelas seguintes equações: Penman-Monteith (1), Hamon (2), Hargreaves (3) e Priestley-Taylor (4):

**Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998):**

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_{med} + 273} \right) U_{2m} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34U_{2m})} \quad [01]$$

Onde:

ET<sub>0</sub> – evapotranspiração de referência dada em mm d-1; R<sub>n</sub> – saldo de radiação a superfície dado em MJ m-2 d-1; Δ – declinação da curva de saturação do vapor da água (kPa °C-1); T – temperatura média do ar (°C); G – fluxo de calor no solo (MJ m-2 d-1); e<sub>s</sub> – pressão de saturação do vapor (kPa); e<sub>a</sub> – pressão atual de vapor (kPa); γ – constante psicrométrica (kPa °C-1); U<sub>2</sub> – velocidade do vento a 2 m de altura (m s-1).

**Hamon (1961):**

$$ET_0 = 0,55 \left( \frac{N}{12} \right)^2 \left( \frac{4,95 \exp 0,062 T}{100} \right) 25,4 \quad [2]$$

Em que: ET<sub>0</sub> – evapotranspiração (mm dia-1); T – temperatura média do ar (°C); N – fotoperíodo (h).

**Hargreaves e Samani (1985):**

$$ET_0 = 0,0023 Q_0 (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8) \quad [3]$$

Em que: ET<sub>0</sub> – evapotranspiração de referência (mm d-1); Q<sub>0</sub> – irradiância solar extraterrestre (mm dia-1); T max – temperatura máxima do ar (°C); T min – temperatura mínima do ar (°C); T med – temperatura média do ar (°C).

**Priestley-Taylor (1972):**

$$ET_0 = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) \quad [4]$$

Em que:  $ET_0$  – evapotranspiração de referência (mm d-1);  $R_n$  – saldo de radiação a superfície (MJ m-2 d-1);  $\Delta$  – declinação da curva de saturação do vapor da água (kPa °C-1);  $G$  – fluxo de calor no solo (MJ m-2 d-1);  $\gamma$  – constante psicrométrica (kPa °C-1).

Os valores obtidos de  $ET_0$  para todas as equações empíricas foram comparados ao método de Penman-Monteith por meio de regressão linear ( $R^2$ ), correlação de Pearson ( $r$ ), coeficiente de desempenho ( $c$ ), conforme observa-se na Tabela 1 e equação 6 (CAMARGO e SENTELHAS, 1997), coeficiente de exatidão ( $d$ ), conforme equação 5 (WILLMOTT, CKLESON e DAVIS, 1985).

$$d=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i-O_i|+|O_i-O|)^2}\right] \quad [5]$$

Em que:  $d$  – coeficiente de exatidão;  $P_i$  – valor da  $ET_0$  estimado;  $O_i$  – valor da  $ET_0$  padrão observado;  $O$  – média dos valores observados; e:

$$c=d \times r \quad [6]$$

Em que:  $c$  – coeficiente de desempenho;  $d$  – coeficiente de exatidão;  $r$  – coeficiente de correlação de Pearson. Conforme a Tabela 1:

**TABELA 1.** Avaliação de desempenho

Valor de $c$	Desempenho
$c > 0,85$	Ótimo
$0,76 < c < 0,85$	Muito Bom
$0,66 < c < 0,75$	Bom
$0,61 < c < 0,65$	Mediano
$0,51 < c < 0,60$	Sofrível
$0,41 < c < 0,50$	Mau
$c \leq 0,40$	Péssimo

**FONTE:** Camargo e Sentelhas (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores estatísticos de desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência são apresentados na Tabela 2. Observou-se que entre os métodos analisados o modelo de Priestley-Taylor apresentou valores maiores tanto de correlação (0,95), como nos coeficientes de exatidão (0,95) e desempenho (0,90), sendo classificado como ótimo para estimativa da  $ET_0$  para a localidade. Já os métodos de Hargreaves e Samani e Hamon, não apresentaram desempenho favorável a utilização dos mesmos respectivamente.

**TABELA 2:** Indicadores estatísticos de desempenho dos métodos empíricos em comparação ao método padrão Penman-Monteith, Caruaru – PE (2015).

---

Método	R <sup>2</sup>	d	r	c	Desempenho
Hargreaves e Samani	0,45	0,65	0,67	0,44	Mau
Hamon	0,71	0,23	0,84	0,19	Péssimo
Priestley-Taylor	0,90	0,95	0,95	0,90	Ótimo

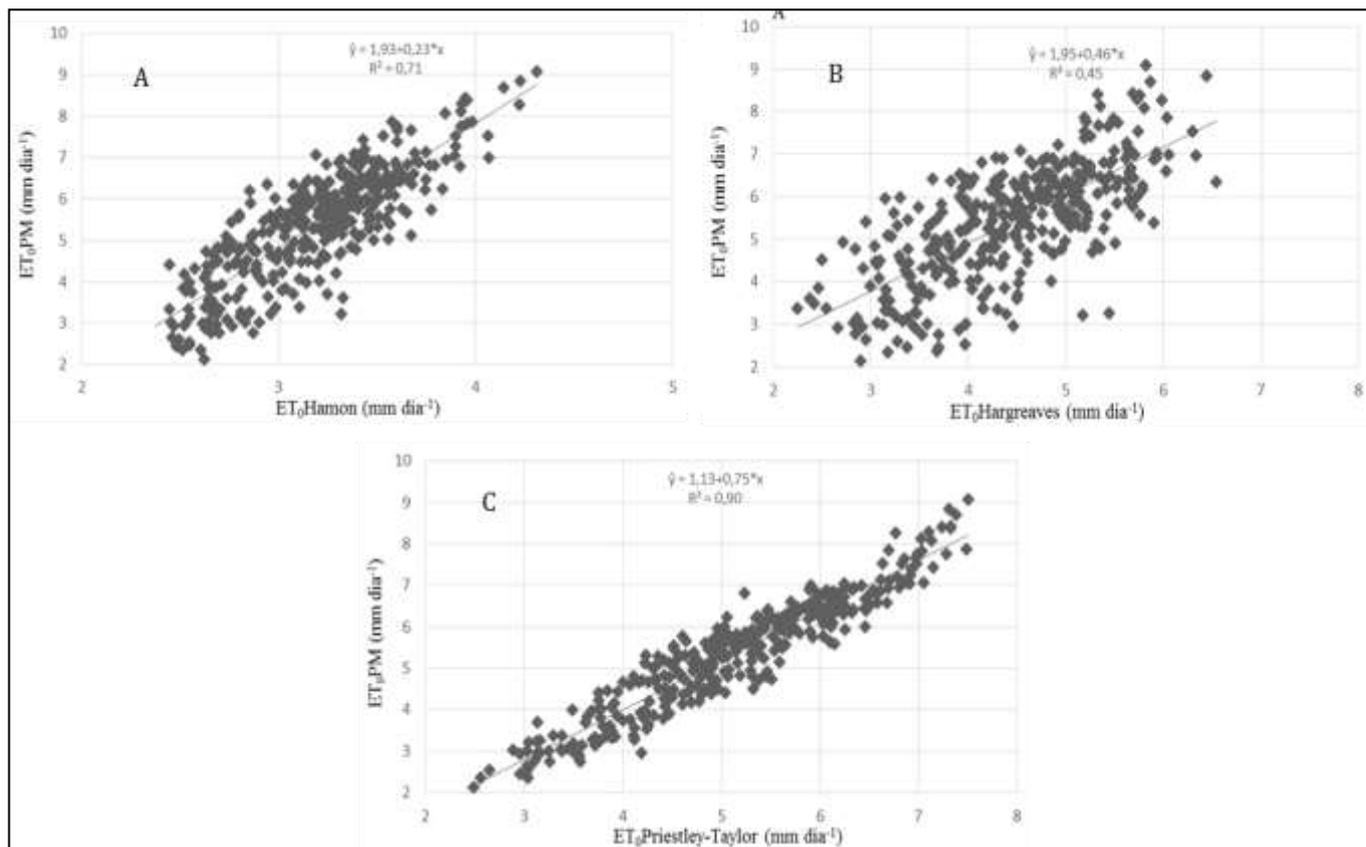
---

Santos et al. (2017), constataram que o método de Priestley-Taylor foi classificado como mediano para o município de Petrolina – PE e Moura et al. (2013), mostraram que o método de Hargreaves e Samani foi o que apresentou melhor desempenho em uma bacia experimental em Vitória de Santo Antão – PE, dessa forma é possível verificar que mesmo no estado há uma mudança espacial de qual método é mais adequado para estimativa da ET<sub>0</sub>.

O método de Hamon apresentou resultados semelhantes aos encontrados por Cavalcante Júnior et al. (2011), para o município de Mossoró – RN, assim como também Santos et al. (2017), classificou esse como péssimo.

Na Figura 1, são apresentados os resultados da correlação entre os métodos empíricos com o padrão. Observa-se que os métodos de Hamon e Hargreaves e Samani têm grande tendência a subestimarem a estimativa da ET<sub>0</sub> em comparação ao método Penman-Monteith, como é possível visualizar esses apresentam um baixo coeficiente R<sup>2</sup>, 0,71 e 0,45, respectivamente. O método de Hamon apresenta um desempenho menor que o de Hargreaves e Samani, um valor superior (R<sup>2</sup>), como se observa na sua equação, demonstrando melhor ajuste ao método padrão.

**FIGURA 1:** Correlação entre os métodos de estimativa da ET<sub>0</sub> empíricos e o método de Penman-Monteith (Padrão), Caruaru – PE (2015).



O método com melhor ajuste e maior R2 foi o de Priestley-Taylor (Figura 1. C), no entanto, esse ainda subestima a evapotranspiração de referência. Resultados divergentes foram encontrados por Silva et al. (2011), em Uberlândia – MG e por Ribeiro, Simeão e Santos (2016), para Piri-piri – PI, já que o método superestimou a ET0 de Penman-Monteith para essas localidades, no entanto, Santos et al. (2017), encontrou resultados semelhantes.

Segundo Vila Nova e Pereira (2006), mesmo o método de Priestley-Taylor apresentando uma simplicidade e ajuste empírico em comparação ao método Penman-Monteith esse apresenta suporte experimental substancial.

## CONCLUSÕES

Podemos concluir que os métodos de Hamon e de Hargreaves e Samani não devem ser utilizados para estimativa da evapotranspiração de referência para a localidade, pois subestimam os resultados com desempenho não favorável, gerando resultados imprecisos;

Dentre os métodos avaliados verificou-se que o melhor desempenho foi obtido com o método de Priestley-Taylor, com base nos valores do coeficiente de confiança (c), correlação (r) e equação de ajuste mais eficiente (R<sup>2</sup>).

## **REFERÊNCIAS**

- [1] ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- [2] CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- [3] CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, p. 1699-1708, 2011.
- [4] CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) no município de Rio Real - BA. *Irriga*, Botucatu, v.18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- [5] FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ, R. L. F., AMORIM, A. O. Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.2, p.246255, 2012.
- [6] FOOLADMAND, H.R.; AHMADI, S.H. Monthly spatial calibration of Blaney-Criddle equation for calculating monthly ET<sub>0</sub> in south of Iran. *Irrigation and Drainage*, Sidney, v. 58, n. 2, p. 234-245, 2009.
- [7] HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division ASCE*, Nova Iorque, v. 87, n. 3, p. 107-120, 1961.
- [8] HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- [9] JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: American Society of Civil Engineers, 1990. 332 p.

[10] McANENEY, K.J.; ITIER, B. Operational limits to the Priestley-Taylor formula. *Irrigation Science*, Berlin, v.17, n.1, p.37-43, 1996.

[11] MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n.2, 181 - 191, 2013.

[12] ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENGA, R.H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. *Irrigation Science*, Sidney, v. 28, n.1, p. 1-13, 2009.

[13] PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

[14] PEREIRA, A.R., PRUITT, W.O. Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, Netherlands, v. 66, n. 2, p. 251-257, 2004.

[15] PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assesement of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Review*, v. 100, p. 81-92, 1972.

[16] RIBEIRO, A. A.; SIMEÃO, M.; SANTOS, A. R. B. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso e seco em Piripiri (PI). *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre, v. 8, n. 3, p. 89-100, 2016.

[17] SANTOS, R. D. S.; SOUZA, M. H. C.; BISPO, R. C.; VENTURA, K. M.; BASSOI, L. H. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Petrolina, PE. *Irriga*, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 31-39, 2017.

[18] SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; DA SILVA, C. R.; DE CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.

[19] VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 395-405, 2006.

[20] WIDMOSER, P. A. discussion on and alternative to Penman–Monteith equation. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 96, p. 711–721, 2009.

[21] WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.