

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUI, BRASIL POR DIFERENTES METODOLOGIAS

Poliana Rocha D'Almeida Mota¹, Marcus Willame Willame Lopes Carvalho², Luis Fernando Araujo Santos³, Nierley Teófilo Mateus da Cruz⁴, José Walmar Setubal⁵, Savio Braga Castelo Branco⁶

RESUMO

O trabalho objetivou obter os valores da evapotranspiração de referência, por meio das equações de estimativa pelas equações de Hargreaves e Samani, Camargo, Andrade Junior, Tornthwaite, e o método de Penman-Monteith, padrão FAO, e a comparação destas como método padrão, a fim de determinar qual ou quais equações melhor se ajustam as condições de Teresina, Piauí, Brasil, de modo a embasar o manejo da irrigação. O trabalho foi realizado utilizando dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no município de Teresina, Estado do Piauí, Brasil, obtidos entre 01 de janeiro de 2008 até 31 de dezembro de 2018. Foram quantificados os dados de temperaturas máxima (T_{max}), média (T_{med}) e mínima (T_{min}) do ar, radiação (R_a), umidade relativa média do ar (UR_{med}) e velocidade média do vento a 10 m (U_{10m}) e precipitação pluviométrica (mm). De acordo com os resultados obtidos recomenda-se o método de Andrade Junior para a estimativa da evapotranspiração de referência em substituição ao método padrão Penman-Monteith FAO-56 para a cidade de Teresina, Piauí, Brasil. Para todas as metodologias avaliadas, o mês de outubro apresentou as maiores máximas de ETo.

Palavras chave: Penman-Monteith – FAO, demanda hídrica, manejo de irrigação, consumo hídrico.

REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE TERESINA REGION, PIAUI, BRAZIL BY DIFFERENT METHODOLOGIES

ABSTRACT

¹Eng. Agrônoma, Doutora. Dep. de Eng. Agrícola e Solos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Piauí, Campus Agrícola da Socopo, 64049-550, Teresina, Piauí, Brasil. (86) 3215-5745. poliana@ufpi.edu.br

²Eng. Agrônomo, Doutorando. UFPI. marcuswillame@hotmail.com

³Eng. Agrônomo pelo CCA, UFPI. luisfernandop22@hotmail.com

⁴Acadêmico de Engenharia Agrônômica. CCA, UFPI. mateusnierley@hotmail.com

⁵Eng. Agrônomo, Doutor. Dep. de Fitotecnia, CCA, UFPI. (86) 3215-5747. jwalmarsetubal@uol.com.br

⁶Eng. Agrônomo, Mestre. Dep. de Zootecnia, CCA, UFPI. (86) 3215-5750. saviobraga@gmail.com

The work aimed to obtain the reference evapotranspiration values, using the estimation equations by the equations of Hargreaves and Samani, Camargo, Andrade Junior, Thornthwaite, and the Penman-Monteith method, standard FAO, and the comparison of these as standard method, in order to determine which or which equations best fit the conditions of Teresina, Piauí, Brazil, in order to support the irrigation management. The work was carried out using data from the automatic station of the National Institute of Meteorology (INMET), installed in the municipality of Teresina, State of Piauí, Brazil, obtained between January 1, 2008 until December 31, 2018. Temperature data were quantified maximum (T_{max}), average (T_{med}) and minimum (T_{min}) of the air, radiation (R_a), average relative humidity (UR_{med}) and average wind speed at 10 m (U_{10m}) and rainfall (mm). According to the results obtained, the Andrade Junior method is recommended to estimate the reference evapotranspiration to replace the standard Penman-Monteith FAO-56 method for the city of Teresina, Piauí, Brazil. For all the evaluated methodologies, the month of October presented the highest ETo maximums.

Keywords: Penman-Monteith - FAO, water demand, irrigation management, water consumption.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é um dos principais componentes do ciclo hidrológico e tem como definição a ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e em superfícies líquidas, e da transpiração das plantas (MENDONÇA et al., 2003). O estudo da evapotranspiração tem se revelado cada vez mais importante para o planejamento agrícola, especialmente no manejo da irrigação, sendo crescente a demanda por informações sobre as necessidades hídricas das culturas para o planejamento regional e preliminar de projetos agrícolas e/ou agropecuários (CARVALHO et al., 2011).

Conhecimentos sobre evapotranspiração se tornam fundamentais em regiões caracterizadas pela irregularidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica, como também devido a escassez de reservas naturais de água, conforme ocorre nas áreas áridas e semiáridas do Nordeste brasileiro (MARENGO et al., 2011; PACA et al., 2019; VELOSO et al., 2012).

O consumo hídrico de uma cultura normalmente refere-se à água transferida para a atmosfera pelos processos de evaporação da superfície do solo e superfícies líquidas, e pela transpiração da planta, ou seja, a evapotranspiração durante seu ciclo de desenvolvimento (PEREIRA et al., 1997). Na literatura existem diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência,

que de acordo com Burman et al. (1983) pode ser obtida a partir de medidas diretas ou estimadas a partir de elementos climáticos, utilizando-se modelos ou métodos teórico-empíricos.

Os métodos teóricos ou métodos micrometeorológicos, que são baseados em princípios físicos, apresentam alta precisão, mas têm limitações por necessitarem de instrumentação adequada, impedindo a sua utilização na maioria das vezes. Entretanto, os métodos empíricos, que utilizam dados meteorológicos são muito utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), destacando-se dentre eles os modelos de Penman-Monteith - FAO 56, (ALLEN et al., 1998), Hargreaves e Samani (ALLEN et al., 1998), Camargo (PEREIRA et al., 1997), Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948), Andrade Junior (SILVA et al., 2016) dentre outros.

O método de Penman-Monteith (FAO) é considerado padrão para a estimativa da ETo por englobar os parâmetros físicos que governam a troca de energia e os aspectos aerodinâmicos e fisiológicos da cultura. Assim, se faz necessária a comparação e adequação destas metodologias às características climáticas das diferentes regiões, visto que também devido a grande extensão territorial do Brasil, temos uma grande diversidade climática.

Diante do exposto o objetivo desse trabalho foi obter os valores da

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUÍ, BRASIL POR DIFERENTES METODOLOGIAS

evapotranspiração de referência, por meio das equações de estimativa pelas equações de Hargreaves e Samani, Camargo, Andrade Junior, Thornthwaite, e a comparação destas com o método padrão FAO de Penman-Monteith, a fim de determinar qual ou quais equações melhor se ajustam as condições de Teresina, Piauí, Brasil, visando o melhor planejamento agrícola e manejo da irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no município de Teresina, Estado do Piauí, Brasil, localizada a 5°03' de latitude Sul e 42°80' de longitude Oeste, 75,0 metros acima do nível do mar, obtidos entre 01 de janeiro de 2008 até 31 de dezembro de 2018.

O município de Teresina caracteriza-se pelo clima sub-úmido seco, com moderado excedente hídrico no verão e elevada deficiência hídrica durante o período de julho a dezembro, com temperatura média do ar de 28,4°C, umidade relativa do ar de 72,6%, velocidade do vento de 1,1 m s⁻¹, insolação média de 8,2 h e precipitação pluviométrica de 1.336,5 mm (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2008).

Foram quantificados os dados de temperaturas máxima (T_{max}), média (T_{med}) e mínima (T_{min}) do ar, radiação (Ra), umidade relativa média do ar (UR_{med}) e velocidade média do vento a 10 m (U_{10m}) e precipitação pluviométrica (mm). Com o propósito de tornar os dados utilizados mais homogêneos, foram eliminadas aquelas informações discrepantes, incompletas ou inconsistentes.

Os métodos empíricos de estimativa da Evapotranspiração de Referência utilizados foram: Hargreaves e Samani (HS), Camargo (CM), Thornthwaite (TW) e Andrade Júnior (AJ). Todos foram comparados ao método de Penman-Monteith (PM), considerado padrão pela FAO (ALLEN et al., 1998).

O modelo de Hargreaves e Samani (HS) vem sendo utilizado amplamente devido a sua simplicidade e a potencialidade para

calibração de seus parâmetros (BAUTISTA et al., 2009) podendo fornecer dados confiáveis da ETo para o intervalo de cinco dias ou períodos mais longos (THEPADIA; MARTINEZ, 2012). Propuseram a seguinte equação para estimativa da ETo utilizando apenas os valores das temperaturas máxima, mínima e média do ar e radiação no topo da atmosfera:

$$ETo = 0,0023 Qo (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8)$$

sendo que Qo é a irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente; T_{max} a temperatura máxima do ar (°C); T_{min} a temperatura mínima do ar (°C); e T_{med} a temperatura média do ar (°C), no período considerado.

A metodologia de Thornthwaite (1948) foi um dos primeiros métodos desenvolvidos exclusivamente para se estimar a evapotranspiração potencial mensal. Inicialmente, calcula-se a evapotranspiração potencial padrão (ETp, mm mês⁻¹) pela fórmula empírica

$$ETp = 16 (10 Tn / I)^a \quad 0 \leq Tn \leq 26,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

sendo Tn a temperatura média do mês n, em °C; e I um índice que expressa o nível de calor disponível na região. O subscrito n representa o mês, ou seja, n = 1 é janeiro; n = 2 é fevereiro; etc. No caso de Tn > 26,5 °C a ETP será dada pela equação de Willmott et al. (1985), que substitui a Tabela de Thornthwaite (1948), ou seja:

$$ETp = -415,85 + 32,24 Tn - 0,43 Tn^2 \quad Tn > 26,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

O valor de I depende do ritmo anual da temperatura (preferencialmente com valores normais), integrando o efeito térmico de cada mês, e é calculado pela seguinte fórmula

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 Tn)^{1,514}$$

O expoente a, sendo função de I, também é um índice térmico regional, e é calculado pela função polinomial

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Para se obter a ETP do mês correspondente, esse valor de ETP deve ser corrigido em função do número real de dias e do fotoperíodo do mês, ou seja,

$$ETP = ETp \text{ Cor}$$

$$\text{Cor} = (\text{ND}/30) (\text{N}/12)$$

sendo ND o número de dias do mês em questão, e N é o fotoperíodo médio daquele mês.

O método proposto por Camargo (1971) é uma simplificação do método de Thornthwaite (1948), com uso apenas da temperatura média do ar e com a vantagem de não exigir dados normais de sua temperatura. A equação de cálculo é:

$$ETo = 0,012 \text{ Ra Tmed}$$

sendo Ra é a irradiância solar extraterrestre expressa em mm de evaporação equivalente,

$$ETo = \{0,408 s (Rn - G) + [\gamma 900 U_{2m} (es - ea) / T + 275]\} / [s + \gamma (1 + 0,34 U_{2m})]$$

em que: Rn é a radiação líquida total diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); $\gamma = 0,063 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ é a constante psicrométrica; T é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); U é a velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}), sendo cerca de 75% do valor da velocidade medida a 10 m de altura em posto meteorológico; es é a pressão de saturação de vapor (kPa); ea é a pressão parcial de vapor (kPa); e s é a declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$, sendo dado por:

$$s = (4098 \text{ es}) / (T + 237,3)^2$$

$$es = 0,6108 \cdot 10^{(7,5 T / 237,3 + T)}$$

$$ea = (\text{es UR}) / 100$$

Para a análise comparativa de desempenho entre os métodos avaliados e método padrão de PM, foram realizados cálculos dos coeficientes de determinação (R^2)

Tmed a temperatura média do ar no período considerado ($^\circ\text{C}$).

O método de Andrade Júnior foi estabelecido usando a análise de regressão linear múltipla, envolvendo as variáveis meteorológicas: temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), déficit de saturação (Δs).

$$ETo = 0,046 Tmed + 1,744 UR + 1,716 \Delta s$$

em que Tmed é a temperatura média do ar; UR é a umidade relativa do ar (decimal); Δs é o déficit de saturação de vapor d'água ($es - ea$), em kPa.

O método micrometeorológico de Penman-Monteith descrito por Monteith (1965), que foi adaptado por Allen et al. (1989) para estimativa da evapotranspiração de referência na escala diária. Atualmente, este é o método padrão da FAO (Allen et al., 1994), sendo ETP (mm d^{-1}) dada pela seguinte fórmula:

e correlação (r), o índice d proposto por Willmott et al. (1985) e o coeficiente “c” de desempenho, que é o produto do coeficiente r com o índice d (CAMARGO; SENTELHAS, 1997).

O coeficiente de correlação “r” determina a precisão do método e indica o grau de dispersão dos pontos em relação à média, o chamado erro aleatório. O índice “d” de Willmott, chamado também de índice de concordância de Willmott, determina a exatidão do método e indica o grau de afastamento dos valores estimados em relação aos valores observados.

Esse índice varia de 0, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O coeficiente “c” de Camargo e Sentelhas (1997) quantifica o desempenho do método, sintetizando de forma conjunta o resultado dos índices “d” e “r” (Tabela 1).

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUI, BRASIL
POR DIFERENTES METODOLOGIAS**

Tabela 1. Critérios de interpretação do coeficiente "c" de Camargo e Sentelhas (1997).

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

Para encontrar o índice "d" é usada a seguinte equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (P_i - O) + (O_i - O)^2} \right]$$

em que: Pi representa os valores estimados para cada uma das equações analisadas, Oi são os valores estimados para o método Penman-Monteith e O é a média dos valores estimados para Penman-Monteith.

Os cálculos e gráficos foram realizados com a utilização do software Microsoft Office Excel® (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre os valores de ETo estimados pelas metodologias de Hargreaves e Samani (HS), Thornthwaite (TW), Camargo

(CM) e Andrade Junior (AJ); e pelo método padrão Penman-Monteith (PM) encontram-se na Tabela 2.

O maior índice de concordância "d" encontrado foi para PM x AJ, e o menor para PM x HS. Os maiores coeficientes de determinação, de correlação e de confiança também foram obtidos em PM x AJ, e os menores para PM x CM. O índice "c" para PM x AJ de acordo com a Tabela 1 é considerado "ótimo", para PM x TW "sofrível", PM x HS "mau", e para PM x CM "péssimo".

Silva et al. (2012) em estudo realizado no Estado de Pernambuco, obtiveram desempenho "muito bom" na estimativa da ETo diária pela metodologia de HS. Nas condições climáticas de Recife e na microrregião de Garanhuns dentre os métodos baseados na temperatura do ar, o de HS apresentou o melhor desempenho.

Tabela 2. Coeficientes de concordância (d), coeficiente de determinação (R²), coeficiente de correlação (r), coeficiente de confiança (c) e equação de regressão da estimativa da Evapotranspiração de Referência pelas metodologias de Hargreaves e Samani (HS), Thornthwaite (TW), Camargo (CM) e Andrade Junior (AJ) em comparação com o método de Penman-Monteith (PM).

| Metodologias | Coeficientes | | | | Equação de regressão |
|--------------|--------------|----------------|------|------|----------------------|
| | d | R ² | r | c | |
| PM x HS | 0,71 | 0,44 | 0,67 | 0,47 | y = 0,6853x + 2,1995 |
| PM x TW | 0,88 | 0,41 | 0,65 | 0,57 | y = 0,1317x + 4,2202 |
| PM x CM | 0,89 | 0,05 | 0,23 | 0,20 | y = 0,1573x + 4,1731 |
| PM x AJ | 0,99 | 0,78 | 0,88 | 0,88 | y = 0,8859x + 0,5512 |

Autores como Cavalcante Junior et al. (2010), Oliveira et al. (2010), Cavalcante Junior et al. (2011), Tagliaferre et al. (2012), Conceição et al. (2013), Bezerra et al. (2014), Souza et al. (2014) e Silva et al. (2015), encontraram na região Nordeste no comparativo do método de PM x HS valores

de "d" que variaram de 0,59 a 0,96, e de "c" tendo variado de 0,32 a 0,67. Silva et al. (2015) e Almeida et al. (2010) em trabalho realizado na localidade de Fortaleza, o método de HS subestimou a ETo padrão mensal, com desempenho "péssimo".

O método de HS superestimou a ETO padrão no Arquipélago de Fernando de Noronha, PE, em estudo desenvolvido por Silva et al. (2014). Nas condições climáticas de Campos dos Goytacazes, RJ, segundo Fernandes et al. (2012b) o método de HS mostrou-se limitado para a estimativa da ETO nessa localidade.

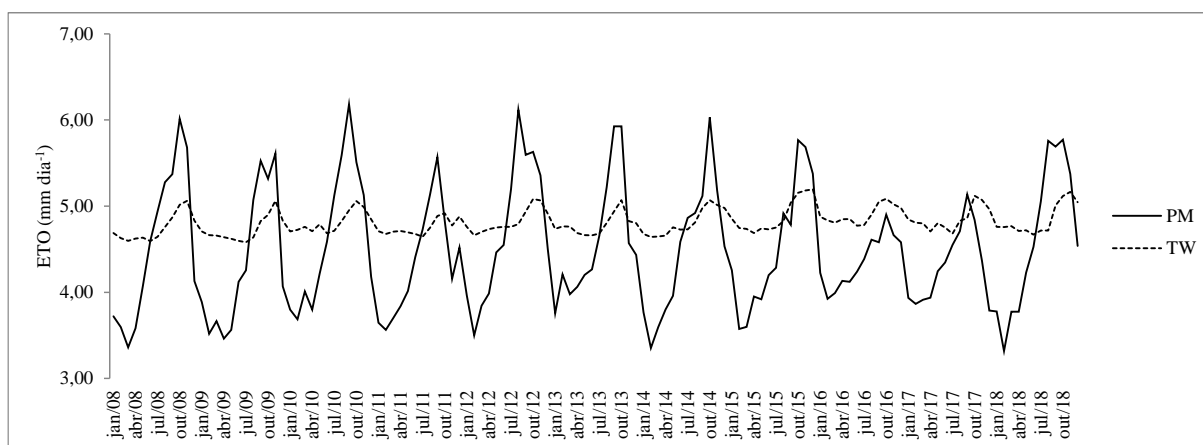
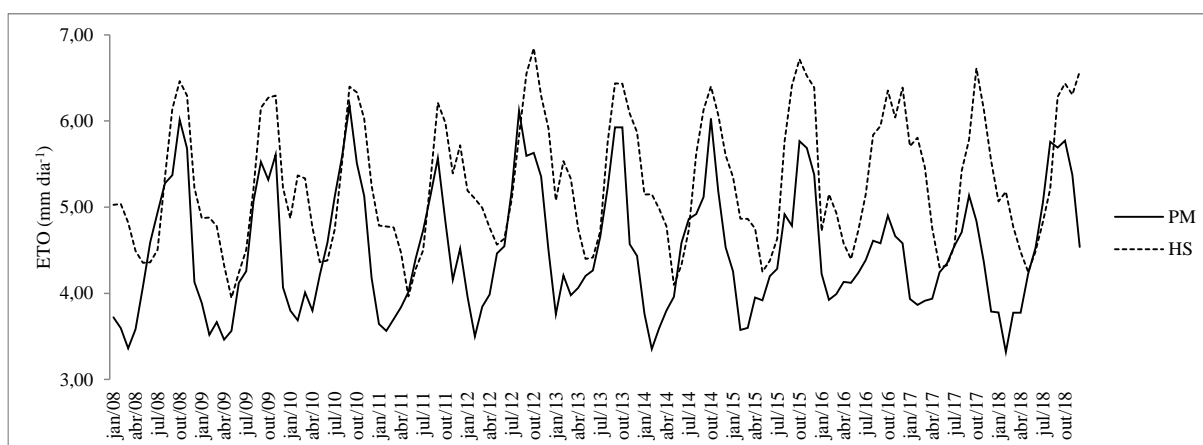
Tais resultados podem estar associado ao número de variáveis utilizadas pelo método, uma vez, que considera apenas a temperatura do ar e a radiação no topo da atmosfera na sua estimativa.

Silva et al. (2015) considerando as variações significativas no desempenho do método de HS dentro do Estado do Ceará, visando melhor desempenho dessa

metodologia, sugerem em trabalhos futuros ajustar os coeficientes empíricos da equação para a região de estudo.

Logo, por meio da utilização da equação de HS ajustada, há a possibilidade de se fazer um manejo da irrigação utilizando-se somente as variáveis meteorológicas de temperaturas máximas e mínimas do ar, as quais podem ser obtidas por meio de sensores economicamente acessíveis, com isso pode-se otimizar os recursos hídricos no momento de aplicar uma determinada lâmina de irrigação.

Os dados de Evapotranspiração de Referência calculados por diferentes equações de estimativa da evapotranspiração, para Teresina, Piauí, Brasil, anos de 2008 a 2018 encontram-se na Figura 1.



EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUI, BRASIL POR DIFERENTES METODOLOGIAS

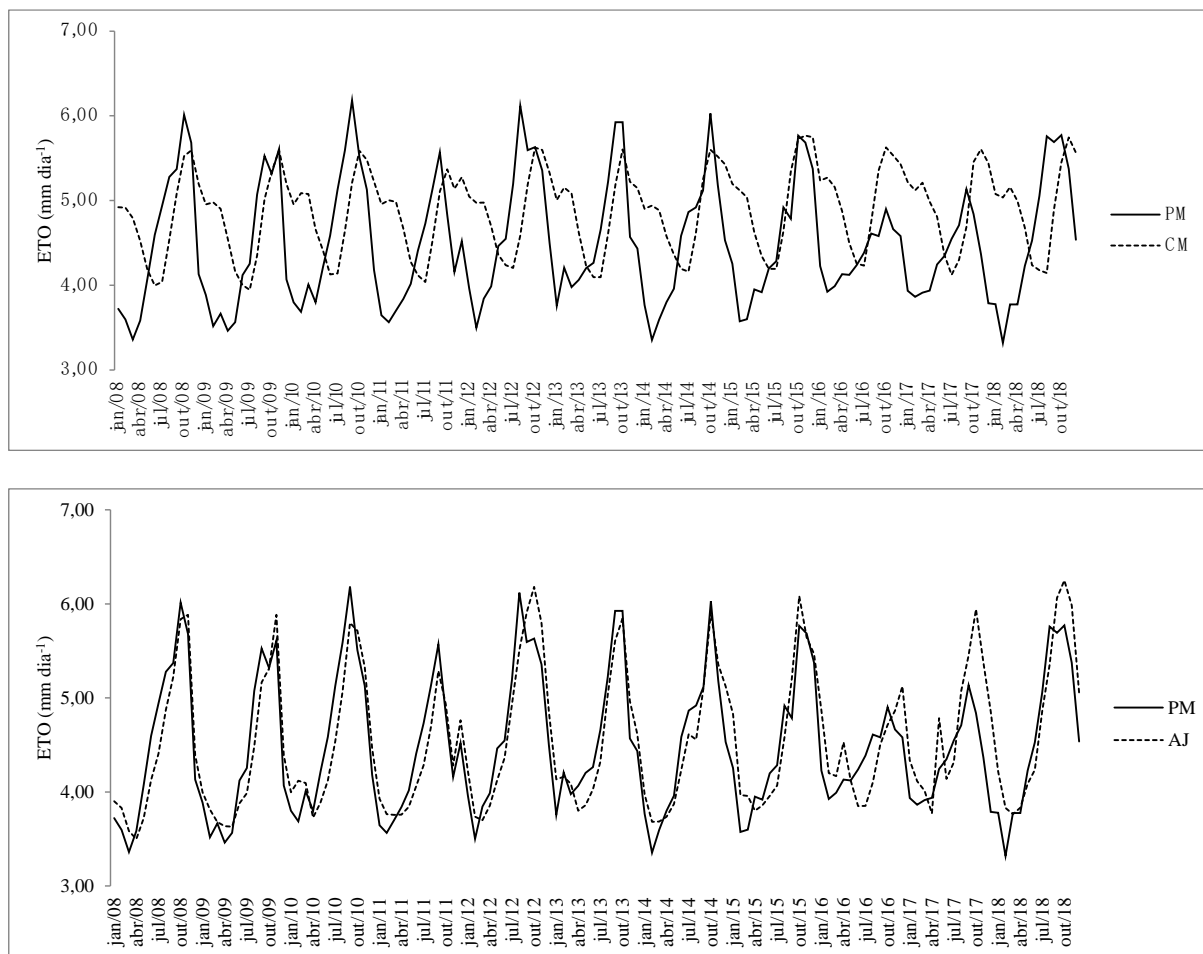


Figura 1. Comparação da Evapotranspiração de Referência pelo método de estimativa da evapotranspiração de referência pelas equações de Hargreaves e Samani (HS) (A), Thornthwaite (TW) (B), Camargo (CM) (C) e Andrade Junior (AJ) (D), com o método de Penman-Monteith (PM).

Os valores de evapotranspiração pelo método padrão de PM variaram entre 3,32 e 6,18 mm dia⁻¹, com média para todo o período de 4,50 mm dia⁻¹. Para o método de HS os valores de ETo encontrados foram entre 3,95 e 6,84 mm dia⁻¹, e valor médio de 5,28 mm dia⁻¹. Pela metodologia de TW os valores variaram de 4,58 a 5,19 mm dia⁻¹ e a média 4,81 mm dia⁻¹.

Pela metodologia de CM a variação foi de 3,95 a 5,77 mm dia⁻¹ sendo a média de 4,88 mm dia⁻¹ e para AJ 3,50 e 6,25 mm dia⁻¹ e o valor médio de 4,54 mm dia⁻¹. A menor amplitude registrada foi para a metodologia de TW.

A média da ETo estimada por AJ e PM no período de 2008 a 2018 foi praticamente da mesma ordem. Superestimativa média da ETo ocorreram em ordem crescente para TW, CM

e HS, em torno de 0,31, 0,38 e 0,85 mm dia⁻¹, respectivamente, correspondendo aproximadamente a 7,0; 8,5 e 17,4% a mais que o valor médio encontrado pelo método padrão de PM.

Em contrapartida Silva et al. (2015) encontraram valores poucos subestimados para HS em relação ao método de PM, na localidade de Campos Sales, Estado do Ceará, considerando os valores praticamente da mesma ordem, e subestimativa em Fortaleza, Iguatu e Quixeramobim, respectivamente da ordem de 10,81, 3,09 e 7,91%.

Lacerda e Turco (2015) reportaram subestimativa da ETo diária por HS da ordem de 11% em relação ao método padrão de PM-FAO 56 na cidade de Uberlândia, Estado de Minas Gerais. As maiores superestimativas da ETo ocorreram pelo

método de HS em relação ao método padrão de PM.

Resultados similares foram reportados por Silva et al. (2015) nas cidades em que existem instaladas estações meteorológicas do INMET, e por Palaretti et al. (2014) em diferentes regiões citrícolas paulistas, nas quais o método de HS tendeu a superestimar a ETo padrão. Tendência de superestimativa de ETo padrão foi reportado por Fernandes et al. (2012a) no Estado de Goiás.

Considerando as condições climáticas do local onde foi realizado esse trabalho, como a umidade relativa média do ar no período estudado (2008 a 2018) foi superior a 70% (71,2%), a divergência entre os resultados encontrados de ETo pelo método de Hargreaves e Samani (1985) e o método padrão, justifica-se pelo método de HS ser originalmente desenvolvido para o clima semiárido, e como se baseia apenas em dados de temperatura do ar, é esperado que este método superestime a ETo em climas úmidos.

A temperatura mínima média do período foi de 22,4°C e a máxima média 34,5°C, abaixo dos valores historicamente registrados para Teresina. A precipitação média anual foi 1181,2 mm.

Pelo método de Penman-Monteith, os maiores valores de Evapotranspiração de Referência registrados apresentaram variações entre 4,90 mm dia⁻¹ (no ano de 2016) e 6,18 mm dia⁻¹ (em 2010). Os maiores valores de ETo pelo método de HS encontrados variaram entre 6,21 (ano de 2011) a 6,84 mm dia⁻¹ (ano de 2012).

De acordo com a metodologia de TW, a variação dos maiores registros de ETo foi entre 4,92 (ano de 2011), e 5,19 mm dia⁻¹, ano de 2015. Para o método de CM os valores mais elevados de ETo diária foram entre 5,37 (anos de 2011) e 5,74 mm (em 2018).

Pela metodologia proposta por AJ, os maiores valores estimados de ETo para a cidade de Teresina foram registrados no mês de outubro, com exceção do ano de 2008, 2009 e 2016 e dados entre 5,29 (2011) e 6,25 mm dia⁻¹ (ano de 2018).

Com exceção da metodologia de PM, os menores valores da máxima de ETO foram

registrados no ano de 2011. Para todas as metodologias avaliadas, o mês de outubro apresentou as maiores máximas de ETo considerando os anos avaliados: de 2008 a 2018, concordando com Silva et al. (2016) que ao estimar evapotranspiração obtiverem maiores valores no período seco e menores no período chuvoso no Estado do Piauí.

CONCLUSÕES

Recomenda-se o método de Andrade Junior para a estimativa da evapotranspiração de referência em substituição ao método de Penman-Monteith FAO-56 para a cidade de Teresina, Piauí, Brasil, de acordo com os resultados obtidos quando comparados, especialmente na ausência de dados necessários para o método padrão, podendo ser uma alternativa em relação aos outros métodos testados.

Para todas as metodologias avaliadas, o mês de outubro apresentou as maiores máximas de ETo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). 1998, 297 p.

ALMEIDA, B. M.; ARAÚJO, E. M.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, J. B.; ARAÚJO, E. M.; NOGUEIRA, B. R. C. Comparação de métodos de estimativa da ETo na escala mensal em Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 2, p. 93-98, 2010.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de. **Boletim Agrometeorológico de 2007 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 37 p. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, 181).

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUI, BRASIL
POR DIFERENTES METODOLOGIAS

- BAUTISTA, F. et al. Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications. **Atmosfera**, v. 22, n. 4, p. 331-348, 2009.
- 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, n. 3, p. 211-220, 2014.
- BURMAN, R. D. et al. Water requirements. In: JENSEN, M. E. **Design operation of farm irrigation system**. St. Joseph: Transactions of ASAE, p.189-232. 1983.
- 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. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ALMEIDA, B. M.; OLIVEIRA, A. D.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; ARAÚJO, E. M.; VIEIRA, R. Y. M. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 2, p. 87-92, 2010.
- CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido nordestino. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 1699-1708, 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Ajuste do modelo de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência no noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 5, p. 306-316, 2013.
- 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(2): 246-255, 2012a.
- FERNANDES, L. C.; PAIVA, C. M.; ROTUNNO FILHO, O. C. Evaluation of six empirical evapotranspiration equations – case study: Campos dos Goytacazes/RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 272-280, 2012b.
- LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Estimation methods of reference evapotranspiration (ET_o) for Uberlândia-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 27-38, 2015.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, 2011.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: FOGG, G. E. (Ed.). **The State and movement of water in living organisms**. London, GB: Academic Press (Symposium of the Society for Experimental Biology, 19). p. 205-234. 1965.

- MONTEITH, J. L. Evaporation and surface temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London. v. 107, p. 1-27, 1981.
- OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. 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, n. 2, p. 104-109, 2010.
- PACA, V. H. M. da; ESPINOZA-DÁVALOS, G. E.; HESSELS, T. M.; MOREIRA, D. M.; COMAIR, G. F.; BASTIAANSEN, W. G. The spatial variability of actual evapotranspiration across the Amazon River Basin based on remote sensing products validated with flux towers. **Ecological Processes**, v. 8, n. 1, p. 6, 2019.
- PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Análise da sensibilidade dos componentes da equação de Hargreaves - Samani para a região de Bebedouro-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2014.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Piracicaba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: SBEA; Funep, p. 63-120. 2001.
- SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial para a região Norte de Recife-PE. **Engenharia na Agricultura**, v. 20, n. 2, p. 163-174, 2012.
- SILVA, C. O.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUSA, V. F. de; RIBEIRO, V. Q.; SENTELHA, P. C. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados climáticos limitados no estado do Piauí. **Espacios**, v. 37, n. 23, p. 12. 2016.
- SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M.; SANTOS, E. S. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Fernando de Noronha. **Irriga**, v. 19, n. 3, p. 390-404, 2014.
- SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. de S.; CARMO, F. F.; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. da. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI NO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering** v. 9, n. 2, p. 132-141, 2015.
- SILVA, M. G.; OLIVEIRA, J. B.; LÊDO, E. R. F.; ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M. Estimativa da ETo pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Hargreaves-Samani a partir de dados de Tx e Tn para Sobral e Tauá no Ceará. **Revista Acta Tecnológica**, v. 5, n. 2, p. 52-68, 2010.
- SOUZA, J. M.; PEREIRA, L. R.; RAFAEL, A. M.; SILVA, L. D.; REIS, E. F.; BONOMO, R. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in two locations of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2014.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J. P.; PAULA, A.; GUIMARAES, D. U. G.; BARROSO, N. I. S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 136-143, 2012.
- 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**, v. 138, n. 2, p. 111-119, 2012.

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO DE TERESINA, PIAUI, BRASIL
POR DIFERENTES METODOLOGIAS

VELOSO, G.; SANTOS, R. F.; SILVA, B. K.;
DOLCI, B. D. Estimativa de
evapotranspiração de referência para o
município de Fernandes Pinheiro-PR. **Acta
Iguazu**, v. 1, n. 1, p. 15-22.