



## TECHNICAL NOTE

### Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para os municípios de Paulistana e Piripiri no estado do Piauí, Nordeste do Brasil

Francisco de Assis Gomes Junior<sup>1</sup>\*; Inaria Costa de Souza<sup>1</sup>; Mairton Gomes da Silva<sup>2</sup>  
João Valdenor Pereira Filho<sup>1</sup>; Clarice Sousa Moura<sup>2</sup> & Ariadna Faria Vieira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Piauí, Uruçuí, Piauí, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil

**Resumo:** A evapotranspiração é um importante componente para o manejo da água na agricultura irrigada. Medições diretas da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) são muito difíceis, geralmente requerendo muito tempo e de alto custo. A ET<sub>c</sub> pode ser obtida multiplicando-se o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) pela evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Na literatura, existem muitos métodos empíricos para estimar a ET<sub>o</sub> a partir de diferentes variáveis meteorológicas. Nesse sentido, no presente trabalho objetivou-se avaliar o desempenho dos métodos de Makkink, Hamon, Jensen-Haise, Benavides-Lopez, Camargo, Priestley-Taylor, Linacre, Radiação FAO-24 e Hargreaves-Samani para estimativa da evapotranspiração de referência mensal em comparação ao método padrão Penman-Monteith FAO-56, para os municípios de Paulistana e Piripiri no estado do Piauí. Foram usados dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação de estações meteorológicas convencionais para o período de 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2014, obtidos a partir do Instituto Nacional de Meteorologia. Para comparar os valores mensais de ET<sub>o</sub> por PM FAO-56 e os outros métodos, foram utilizados os seguintes critérios de qualidade de ajuste: erro médio (EM, mm dia<sup>-1</sup>), erro padrão de estimativa (EPE, mm dia<sup>-1</sup>), erro percentual médio (EPM, %), razão entre médias (RM, %), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de concordância de Willmott (id) e índice de desempenho de Camargo e Sentelhas (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 ≤ 0,40 – péssimo). Para o município de Piripiri, os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo apresentaram melhores desempenhos nas estimativas de ET<sub>o</sub> mensal de acordo com os índices estatísticos: EM de 0,41 e 0,13 mm dia<sup>-1</sup>; EPE de 0,45 e 0,33 mm dia<sup>-1</sup>; EPM de 8,29 e 2,56%; RM de 108,29 e 102,56%; R<sup>2</sup> de 0,96 e 0,89; id de 0,89 e 0,91 e c de 0,86 – ótimo e 0,81 – muito bom, respectivamente. No município de Paulistana, os métodos de Hargreaves-Samani e Jensen-Haise apresentaram melhores desempenhos (EM de -0,14 e 0,80 mm dia<sup>-1</sup>; EPE de 0,45 e 1,03 mm dia<sup>-1</sup>, EPM de -2,76 e 15,53%; RM de 97,24 e 115,53%; R<sup>2</sup> de 0,80 e 0,96; id de 0,88 e 0,74 e c de 0,70 – bom e 0,71 – bom, respectivamente).

**Palavras-chave:** Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, evapotranspiração da cultura, temperatura do ar.

\* Autor correspondente: E-mail: franciscoassis@urc.uespi.br

Editores: Petterson Costa Conceição Silva & Selma Cristina da Silva

Recebido em: 18 de junho de 2023

Aceito em: 19 de outubro de 2023

## Evaluation of reference evapotranspiration estimation methods for the municipalities of Paulistana and Piripiri in the State of Piauí, northeastern Brazil

**Abstract:** Evapotranspiration is a major component for agricultural water management. Direct measurements of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) are very difficult and requires a lot of time and cost. ET<sub>c</sub> can be obtained by multiplying the specific crop coefficient (K<sub>c</sub>) by reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). According to the literature, there are a large number of empirical methods to estimate ET<sub>o</sub> from different climatic variables. Thus, the objective of this study was to evaluate the performance of Makkink, Hamon, Jensen-Haise, Benavides-Lopez, Camargo, Priestley-Taylor, Linacre, Radiação FAO-24, and Hargreaves-Samani methods for the estimation of monthly reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) compared with the FAO-56 Penman-Monteith method, in the municipalities of Paulistana and Piripiri in the State of Piauí, northeastern Brazil. The work was developed based on maximum and minimum air temperatures, relative air humidity, wind speed, and sunshine duration of conventional weather stations over the period from 01 January 2005 to 31 December 2014, obtained from the National Institute of Meteorology. To compare the values of monthly ET<sub>o</sub> by FAO-56 PM and the other methods the following goodness-of-fit criteria were used: mean error (ME, in mm day<sup>-1</sup>), standard error of estimation (SEE, in mm day<sup>-1</sup>), mean percentage error (MPE, in %), ratio between the mean (RM, in %), coefficient of determination (R<sup>2</sup>), Willmott's index of agreement (id), and Camargo and Sentelhas index of performance ( $c > 0.85$  is great,  $0.76 \leq c \leq 0.85$  is very good,  $0.66 \leq c \leq 0.75$  is good,  $0.61 \leq c \leq 0.65$  is median,  $0.51 \leq c \leq 0.60$  is not good,  $0.41 \leq c \leq 0.50$  is bad, and  $c \leq 0.40$  is terrible). For the municipality of Piripiri, the Hargreaves-Samani and Camargo methods showed the best performance in the monthly ET<sub>o</sub> estimation according to the statistical indices (ME of 0.41 and 0.13 mm day<sup>-1</sup>, SEE of 0.45 and 0.33 mm day<sup>-1</sup>, MPE of 8.29 and 2.56%, RM of 108.29 and 102.56%, R<sup>2</sup> of 0.96 and 0.89, id of 0.89 and 0.91, and c of 0.86 – great and 0.81 – very good, respectively). In the municipality of Paulistana, the Hargreaves-Samani and Jensen-Haise methods showed the best performance (ME of -0.14 and 0.80 mm day<sup>-1</sup>, SEE of 0.45 and 1.03 mm day<sup>-1</sup>, MPE of -2.76 and 15.53%, RM of 97.24 and 115.53%, R<sup>2</sup> of 0.80 and 0.96, id of 0.88 and 0.74, and c of 0.70 – good and 0.71 – good, respectively).

**Keywords:** Penman-Monteith, Hargreaves-Samani, crop evapotranspiration, air temperature.

### Introdução

A agricultura é uma atividade econômica de alto risco, a qual é sujeita aos impactos ocasionados pelas variações climáticas (Batista et al., 2014; Cintra et al., 2020; Gonçalves et al., 2022). Esse risco é ainda maior nas regiões áridas e semiáridas, onde a pluviosidade é extremamente variável (distribuição irregular) e a alta evapotranspiração, pode levar ao déficit hídrico na maior parte do ano (Marengo et al., 2018; Freitas et al., 2022; Temesgen et al., 2022; Lessa et al., 2023). Consequentemente, pode ocasionar reduções ou até mesmo em perdas totais dos cultivos (Fahad et al., 2017; Seleiman et al., 2021). Essa situação é agravada ainda mais pelo efeito das mudanças climáticas.

Nesse sentido, a pressão sobre o uso dos recursos hídricos tem se intensificado. Além de garantir água potável para o consumo humano, há uma alta demanda desse recurso mineral na agricultura irrigada para o suprimento de alimentos num cenário crescente da população (Silva et al., 2013; Wang et al., 2022; Ahmad et al., 2023). Portanto, se faz necessário estabelecer limites no âmbito da irrigação, porém sem comprometer a segurança alimentar (Makhlof et al., 2021; Bispo et al., 2022). A água deve ser usada mais eficientemente, ou seja, garantir que ocorra o mínimo de perdas ao longo do percurso e após chegar ao solo (Aydinsakir et al., 2021; Silva et al., 2021a; Alsayim et al., 2022; Temesgen, 2023).

A água deve ser fornecida às plantas em quantidade adequada, respeitando a capacidade de armazenamento da mesma no solo (Veimrober Júnior et al., 2022). Para isso, diferentes metodologias podem ser utilizadas para o cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada, por exemplo, em função da evapotranspiração da cultura (ETc) por meio de medições diretas ou indiretas (Moreno-Pizani et al., 2018; Lopes Sobrinho et al., 2020; Silva et al., 2021b). Apesar das medidas diretas da ETc serem mais precisas, geralmente, são necessárias estruturas com elevado custo de implantação (Cavalcante Junior et al., 2011; Silva, 2016; Aparecido et al., 2020).

Já de forma indireta, a evapotranspiração pode ser estimada a partir do produto da evapotranspiração de referência – ETo (estimada usando variáveis meteorológicas locais) pelo coeficiente de cultivo – Kc (determinado experimentalmente e/ou obtido em tabelas de acordo com o estágio fenológico da cultura) (Djaman et al., 2017; Mehdizadeh, 2018; Farias et al., 2020).

A ETo pode ser estimada por vários métodos, sendo que, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) recomenda o método combinado de Penman-Monteith (PM-FAO56) como padrão (Allen et al., 1998). No entanto, esse método requer muitas variáveis de entrada, como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar ou insolação, que por vezes, não são todas medidas nas estações meteorológicas (Carvalho et al., 2015; Duarte et al., 2017; Silva et al., 2017; Coutinho et al., 2020).

Portanto, tem sido recorrente a utilização de métodos simplificados que exigem um menor número de dados de entrada (Rezaei et al., 2016; Leite et al., 2020; Souza et al., 2021; Hamed et al., 2022), como aqueles baseados na temperatura do ar (Hamon, 1961; Benavides; Lopez, 1970; Camargo, 1971; Linacre, 1977; Hargreaves; Samani, 1985; Kharrufa, 1985) e na radiação solar (Makkink, 1957; Jensen; Haise, 1963; Priestley; Taylor, 1972; Doorenbos; Pruitt,

1977). Como tais métodos são utilizados em diferentes regiões com condições climáticas adversas e agronomicamente distintas daquelas em que inicialmente foram concebidos, sendo assim, necessitam ser avaliados quanto ao desempenho em comparação ao padrão PM-FAO56 (Caporusso; Rolim, 2015; Jerszurki et al., 2017; Silva et al., 2018; Celestin et al., 2020; Costa et al., 2020; Dai et al., 2022; Althoff; Rodrigues, 2023).

Em perímetros irrigados do estado de Sergipe (Califórnia, Jacarecica, Jabiberi e Piauí), os métodos que incorporaram o saldo de radiação (Jensen; Haise, 1963; Priestley; Taylor, 1972) e Hargreaves-Samani (1985) foram os que apresentaram as melhores estimativas da ETo em relação ao padrão PM-FAO56 (Souza et al., 2010). De acordo com Costa et al. (2017), as melhores estimativas da ETo em cinco localidades de Alagoas (Areia Branca, Maceió, Palmeira dos Índios, Pão de Açúcar e Porto de Pedras) foram obtidas usando os métodos de Blaney e Criddle (1950) e Hargreaves-Samani (1985). Em 34 municípios incluindo os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, Ide e Silva (2017) registraram que os métodos de Hargreaves-Samani e Radiação FAO-24 (Doorenbos; Pruitt, 1977) apresentam os melhores desempenhos nas estimativas da ETo. Em outras regiões do Nordeste brasileiro, o método de Hargreaves-Samani teve melhor desempenho (Cavalcante Junior et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Guedes Filho et al., 2011; Borges Júnior et al., 2012; Gomes Filho et al., 2017; Freitas et al., 2018; França et al., 2021; Santos et al., 2022).

O desempenho de um determinado método em detrimento de outro depende da série de dados e da escala utilizada. Visando o manejo da irrigação, por exemplo, as irrigações são mais frequentes (Ferreira et al., 2021; Ghiat et al., 2021); já para o dimensionamento de sistemas de irrigação, as estimativas máximas da ETo devem ser consideradas para períodos mais longos, a

cada 5, 10, 15 ou 30 dias (Silva et al., 2014; Melo et al., 2021; Melo et al., 2023). Nesse sentido, no presente trabalho objetivou-se avaliar o desempenho de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência mensal em relação ao método padrão Penman-Monteith FAO-56, para os municípios de Paulistana e Piripiri no estado do Piauí.

## Material e Métodos

### Coleta de dados e caracterização da área em estudo

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima (°C) e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento a 10 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ ) e insolação (h), oriundos das estações meteorológicas convencionais dos municípios de Paulistana (8° 7' 48" S, 41° 7' 48" W e altitude de 374 m) e Piripiri (4° 15' 36" S, 41° 46' 48" W e altitude de 161 m) no estado do Piauí. Os dados compreenderam o período de 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2014, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Após a coleta, os dados passaram por uma filtragem, e em seguida, foram organizados em escala mensal.

Segundo a classificação de Köppen, o clima do município de Piripiri é do tipo As (quente e úmido tropical chuvoso) (Medeiros et al., 2020), com temperatura média de 28°C e precipitação anual de 1.496 mm (concentrada no período de janeiro a maio) (Ribeiro et al., 2015). O clima do município de Paulistana é do tipo BSh (semiárido quente com chuvas de verão e inverno seco) (Medeiros et al., 2020), com temperatura média de 26,4°C e precipitação anual de 568 mm (concentrada de novembro a abril) (Tavares et al., 2013).

### Estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>)

As estimativas da ET<sub>o</sub> mensal foram realizadas usando 10 métodos, quais sejam: Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 1998), Makkink (1957), Hamon (1961), Jensen e Haise (1963), Benavides e Lopez

(1970), Camargo (1971), Priestley e Taylor (1972), Linacre (1977), Radiação FAO-24 (Doorenbos; Pruitt, 1977) e Hargreaves e Samani (1985), como mostrado na Tabela 1. Para isso, foi usado o programa ET<sub>o</sub>-Application desenvolvido por Arraes et al. (2012), em linguagem Visual Basic Applications (VBA) na plataforma do Microsoft Excel<sup>®</sup>.

De acordo com os dados de entrada, existem várias opções para escolha de equações no programa ET<sub>o</sub>-Application (Arraes et al., 2012) para as estimativas dos parâmetros necessários nos métodos de ET<sub>o</sub> mostrados na Tabela 1. No presente estudo, todos os cálculos foram adotados conforme as recomendações do manual nº 56 FAO (Allen et al., 1998).

### Desempenho dos métodos de ET<sub>o</sub>

Na comparação dos valores de ET<sub>o</sub> obtidos por Penman-Monteith FAO-56 e os demais métodos, utilizaram-se os seguintes indicadores estatísticos: erro médio (EM, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ), erro padrão de estimativa (EPE, em  $\text{mm dia}^{-1}$ ), erro percentual médio (EPM, em %), razão entre as médias (RM, em %), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), índice de concordância de Willmott et al. (1985) (id) e o índice de confiança proposto por Camargo e Sentelhas (1997) (c) (Tabela 2).

Tabela 1: Descrição dos métodos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>, mm dia<sup>-1</sup>) para os municípios de Paulistana e Piripiri no estado do Piauí

Métodos	Parâmetros
$ET_{o-PM} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$	<p>R<sub>n</sub> – Saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; G – fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; T<sub>med</sub> – temperatura média diária do ar, °C; u<sub>2</sub> – velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>; e<sub>s</sub> – pressão de saturação de vapor, kPa; e<sub>a</sub> – pressão parcial de vapor, kPa; Δ – declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>med</sub>, kPa °C<sup>-1</sup>; γ – constante psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>.</p>
$ET_{o-MK} = 0,61 \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \left( \frac{R_s}{2,45} \right) - 0,12$	<p>R<sub>s</sub> – Radiação solar, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; Δ – declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>med</sub>, kPa °C<sup>-1</sup>; γ – constante psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>.</p>
$ET_{o-HA} = 0,55 \left( \frac{N}{12} \right)^2 \left( \frac{4,95 \times e^{0,062 \times T_{med}}}{100} \right) \times 25,4$	<p>N – Fotoperíodo, h; T<sub>med</sub> – temperatura média diária do ar, °C.</p>
$ET_{o-JH} = \frac{R_s}{2,45} (0,025 \times T_{med} + 0,08)$	<p>R<sub>s</sub> – Radiação solar, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; T<sub>med</sub> – temperatura média diária do ar, °C.</p>
$ET_{o-BL} = 1,21 \times 10^{\left( \frac{7,45 \times T_{med}}{234,7 + T_{med}} \right)} (1 - 0,01 \times UR_{med}) + 0,21 \times T_{med} - 2,3$	<p>T<sub>med</sub> – Temperatura média diária do ar, °C; UR<sub>med</sub> – umidade relativa média, %.</p>
$ET_{o-CA} = 0,01 \times \frac{R_a}{2,45} \times T_{med} \times K$	<p>R<sub>a</sub> – Irradiação solar extraterrestre, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; T<sub>med</sub> – temperatura média diária do ar, °C; K – fator de ajuste dependente da temperatura média anual.</p>
$ET_{o-PT} = \alpha \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \left( \frac{R_n - G}{2,45} \right)$	<p>α – Coeficiente empírico variando de 1,08 a 1,34, sendo recomendado valor igual a 1,26; Δ – declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>med</sub>, kPa °C<sup>-1</sup>; γ – constante psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>; R<sub>n</sub> – saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; G – fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.</p>
$ET_{o-LI} = \frac{700 \left[ \frac{T_{med} + 0,006 \times Z}{100 -  \phi } \right] + 15 \times (T_{med} - T_d)}{80 - T_{med}}$	<p>T<sub>med</sub> – Temperatura média diária do ar, °C; T<sub>d</sub> – temperatura média do ponto de orvalho, °C; Z – altitude, m; φ – latitude, graus.</p>
$ET_{o-RS} = C_0 + C_1 \times \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \times \frac{R_s}{2,45}$	<p>C<sub>0</sub> – Coeficiente de ajuste, igual a -0,3; C<sub>1</sub> – coeficiente de ajuste, calculado com equação específica; Δ – declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T<sub>med</sub>, kPa °C<sup>-1</sup>; γ – constante psicrométrico, kPa °C<sup>-1</sup>; R<sub>s</sub> – radiação solar, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.</p>
$ET_{o-HS} = 0,0023 \times \left( \frac{R_a}{2,45} \right) \times (T_{max} - T_{min})^{0,5} \times (T_{med} + 17,8)$	<p>R<sub>a</sub> – Irradiação solar extraterrestre, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub> e T<sub>med</sub> – temperaturas máxima, mínima e média diária do ar, °C.</p>

ET<sub>o-PM</sub>, ET<sub>o-MK</sub>, ET<sub>o-HA</sub>, ET<sub>o-JH</sub>, ET<sub>o-BL</sub>, ET<sub>o-CA</sub>, ET<sub>o-PT</sub>, ET<sub>o-LI</sub>, ET<sub>o-RS</sub> e ET<sub>o-HS</sub> – evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO-56, Makkink, Hamon, Jensen-Haise, Benavides-Lopez, Camargo, Priestley-Taylor, Linacre, Radiação FAO-24 e Hargreaves-Samani, respectivamente.

Tabela 2: Indicadores estatísticos empregados na avaliação do desempenho de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para os municípios de Paulistana e Piripiri no estado do Piauí

Indicador estatístico	Descrição
$EM \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{outro}} - \overline{ET}_{o_{PM}})}{n}$	$\overline{ET}_{o_{PM}}$ – Evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, mm dia <sup>-1</sup> ; $ET_{o_{outro}}$ – evapotranspiração de referência por qualquer outro método, mm dia <sup>-1</sup> ; n – número de observações.
$EPE \text{ (mm dia}^{-1}\text{)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{outro}} - \overline{ET}_{o_{PM}})^2}{n}}$	
$EPM \text{ (\%)} = \frac{EM}{\overline{ET}_{o_{PM}}} \times 100$	$\overline{ET}_{o_{PM}}$ – Média da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith, mm dia <sup>-1</sup> ; $\overline{ET}_{o_{outro}}$ – média da evapotranspiração de referência por qualquer outro método, mm dia <sup>-1</sup> .
$RM \text{ (\%)} = \frac{\overline{ET}_{o_{outro}}}{\overline{ET}_{o_{PM}}} \times 100$	
$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (ET_{o_{PM}} - \overline{ET}_{o_{PM}}) \times (ET_{o_{outro}} - \overline{ET}_{o_{outro}})]^2}{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{PM}} - \overline{ET}_{o_{PM}})^2 \times \sum_{i=1}^n (ET_{o_{outro}} - \overline{ET}_{o_{outro}})^2}$	$ET_{o_{PM}}$ e $ET_{o_{outro}}$ – ETo por Penman-Monteith e por qualquer outro método, respectivamente, mm dia <sup>-1</sup> ; $\overline{ET}_{o_{PM}}$ e $\overline{ET}_{o_{outro}}$ – médias de ETo por Penman-Monteith e por qualquer outro método, respectivamente, mm dia <sup>-1</sup> .
$id = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o_{outro}} - ET_{o_{PM}})^2}{\sum_{i=1}^n ( ET_{o_{outro}} - \overline{ET}_{o_{PM}}  +  ET_{o_{PM}} - \overline{ET}_{o_{PM}} )^2} \right]$	
$c = id \times \sqrt{R^2}$	O índice de desempenho “c” é interpretado e distribuído nas seguintes classes: $c > 0,85$ – ótimo; $0,76 \leq c \leq 0,85$ – muito bom; $0,66 \leq c \leq 0,75$ – bom; $0,61 \leq c \leq 0,65$ – mediano; $0,51 \leq c \leq 0,60$ – sofrível; $0,41 \leq c \leq 0,50$ – mau; $c \leq 0,40$ – péssimo.

## Resultados e Discussão

Em um cenário de mudanças climáticas, em que a água é cada vez mais restrita para agricultura irrigada, estudos dessa natureza são importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos. Para realização de tais estudos são necessários dados históricos das variáveis meteorológicas. No entanto, as estações meteorológicas distribuídas no território brasileiro são insuficientes; conseqüentemente, impossibilita a avaliação em locais sem a instalação das mesmas (Fernandes et al., 2012; Moura et al., 2013; Bezerra et al., 2014; Lima Junior et al., 2016; Paiva; Souza, 2016; Althoff et al., 2019; Reis et al., 2019; Althoff et al., 2020; Valle Júnior et al., 2021).

Messe sentido, quando não há estação em um dado local, por vezes, se recorre aos dados de estações vizinhas; procedimento este que pode levar, por exemplo, superestimativas ou subestimativas na evapotranspiração de referência (ETo) e, portanto, maiores ou

menores lâminas de irrigação serão aplicadas para atender as exigências das culturas. Nesse sentido, se fazem necessárias calibrações locais de métodos empíricos ou até mesmo o desenvolvimento de métodos para atender especificidades locais.

Na Tabela 3 encontram-se os indicadores estatísticos empregados na avaliação do desempenho de métodos para estimativa da ETo mensal em dois municípios no estado do Piauí. Para Piripiri, o método de Hargreaves e Samani (1985) se destaca na primeira posição, seguido do método de Camargo (1971). Já para Paulistana, na primeira posição destacam-se os métodos de Jensen-Haise ( $EM = 0,80$  mm dia<sup>-1</sup>,  $EPE = 1,03$  mm dia<sup>-1</sup>,  $R^2 = 0,96$ ,  $id = 0,74$  e  $c = 0,71$  – desempenho “bom”) e Hargreaves-Samani ( $EM = -0,14$  mm dia<sup>-1</sup>,  $EPE = 0,45$  mm dia<sup>-1</sup>,  $R^2 = 0,80$ ,  $id = 0,88$  e  $c = 0,70$  – desempenho “bom”).

Tabela 3: Desempenho de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência mensal em comparação ao padrão Penman Monteith FAO-56 para os municípios de Piriapiri e Paulistana no estado do Piauí, compreendendo o período entre 2005 e 2014

Métodos	EM (mm dia <sup>-1</sup> )	EPE	EPM (%)	RM	R <sup>2</sup>	id	c	Desempenho	Ordem
Piriapiri									
ET <sub>o</sub> -MK	-0,87	0,90	-17,65	82,35	0,96	0,65	0,63	Mediano	4°
ET <sub>o</sub> -HA	-1,06	1,14	-21,60	78,40	0,90	0,53	0,48	Mau	6°
ET <sub>o</sub> -JH	1,25	1,45	25,36	125,36	0,99	0,63	0,62	Mediano	4°
ET <sub>o</sub> -BL	0,99	1,26	20,19	120,19	0,89	0,66	0,59	Sofrível	5°
ET <sub>o</sub> -CA	0,13	0,33	2,56	102,56	0,89	0,91	0,81	Muito bom	2°
ET <sub>o</sub> -PT	0,31	0,45	6,40	106,40	0,89	0,84	0,75	Bom	3°
ET <sub>o</sub> -LI	1,15	1,17	23,36	123,36	0,94	0,61	0,57	Sofrível	5°
ET <sub>o</sub> -RS	0,77	0,94	15,77	115,77	0,97	0,76	0,74	Bom	3°
ET <sub>o</sub> -HS	0,41	0,45	8,29	108,29	0,96	0,89	0,86	Ótimo	1°
Paulistana									
ET <sub>o</sub> -MK	-1,13	1,14	-21,96	78,04	0,96	0,58	0,56	Sofrível	3°
ET <sub>o</sub> -HA	-1,30	1,38	-25,27	74,73	0,71	0,49	0,35	Péssimo	5°
ET <sub>o</sub> -JH	0,80	1,03	15,53	115,53	0,96	0,74	0,71	Bom	1°
ET <sub>o</sub> -BL	1,54	1,77	30,01	130,01	0,86	0,52	0,45	Mau	4°
ET <sub>o</sub> -CA	-0,16	0,66	-3,06	96,94	0,70	0,80	0,56	Sofrível	3°
ET <sub>o</sub> -PT	-0,17	0,47	-3,28	96,72	0,76	0,85	0,65	Mediano	2°
ET <sub>o</sub> -LI	1,18	1,21	22,90	122,90	0,90	0,57	0,51	Sofrível	3°
ET <sub>o</sub> -RS	1,14	1,31	22,18	122,18	0,97	0,65	0,63	Mediano	2°
ET <sub>o</sub> -HS	-0,14	0,45	-2,76	97,24	0,80	0,88	0,70	Bom	1°

ET<sub>o</sub>-MK, ET<sub>o</sub>-HA, ET<sub>o</sub>-JH, ET<sub>o</sub>-BL, ET<sub>o</sub>-CA, ET<sub>o</sub>-PT, ET<sub>o</sub>-LI, ET<sub>o</sub>-RS e ET<sub>o</sub>-HS – evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Makkink, Hamon, Jensen-Haise, Benavides-Lopez, Camargo, Priestley-Taylor, Linacre, Radiação FAO-24 e Hargreaves-Samani, respectivamente; EM – erro médio; EPE – erro padrão de estimativa; EPM – erro percentual médio; RM – razão entre as médias; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação; id – índice de concordância de Willmott et al. (1985); c – índice de confiança de Camargo e Sentelhas (1997).

Os valores do R<sup>2</sup> variaram entre 0,89 (métodos de Benavides-Lopez, Camargo e Priestley-Taylor) e 0,99 (método de Jensen-Haise) para o município de Piriapiri e entre 0,70 (método de Camargo) e 0,97 (método Radiação FAO) para o município de Paulistana (Tabela 3).

De acordo com Andrade Júnior et al. (2003) e Santana et al. (2018), isoladamente, o R<sup>2</sup> não é adequado para avaliar o desempenho de métodos de ET<sub>o</sub>, devido não estabelecer o tipo e a magnitude das diferenças. De fato, confirma-se no presente estudo (Tabela 3), onde para Piriapiri obteve-se maior R<sup>2</sup> para o método de Jensen-Haise; porém, na classificação geral, ficou na quarta posição juntamente com o método de Makkink, que também apresentou elevado valor do R<sup>2</sup> (0,96). Para Paulistana, os métodos Radiação FAO e Makkink se destacam com os maiores valores do R<sup>2</sup>; porém, com desempenhos

“mediando” (c = 0,63) e “sofrível” (c = 0,56), respectivamente.

Como descrito anteriormente (Tabela 3), os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo tiveram os melhores desempenhos para o município de Piriapiri, isso como consequência dos menores erros (EM, EPE e EPM). Analisando conjuntamente os erros, os valores negativos para EM e EPM indicam que houve subestimativas da ET<sub>o</sub> em relação ao padrão PM FAO-56, ao contrário, indicam superestimativas (Carvalho et al., 2015). Assim, quanto mais próximo de zero os valores de EM e EPM, melhor será o desempenho de determinado método em detrimento de outro (Borges Júnior et al., 2012; Tellen, 2017; Tejada Jr. et al., 2022; Koç; Can, 2023).

O método de Camargo apresentou uma superestimativa de apenas 2,56% (EPM); esse mesmo valor pode ser visualizado com base na razão entre médias (RM),

subtraindo de 100%. Os valores de EM e EPE foram de 0,13 e 0,33 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Consequentemente, melhores precisões baseadas no índice de concordância “id” (Willmott et al., 1985) e no índice de confiança “c” (Camargo; Sentelhas, 1997) foram obtidas, da ordem de 0,91 e 0,81, respectivamente. Esse valor de “c” enquadra-se na classificação como “muito bom”; já o método de Hargreaves-Samani foi classificado como “ótimo” (c = 0,86). Também houve uma superestimativa da ETo com o método de Hargreaves-Samani, com EPM da ordem de 8,29% (EM = 0,41 mm dia<sup>-1</sup> e EPE = 0,45 mm dia<sup>-1</sup>) (Tabela 3).

Tais resultados evidenciam a importância de avaliar o desempenho do máximo possível de métodos alternativos ao método padrão PM FAO-56, os quais podem apresentar performances diferentes para regiões com climas que não se assemelham daqueles onde foram desenvolvidos; isso porque, tais métodos foram concebidos empiricamente (Silva et al., 2016; Jerszurki et al., 2017; Lima et al., 2021; Aschale et al., 2022; Althoff; Rodrigues, 2023). Por exemplo, o método de Hargreaves-Samani foi desenvolvido originalmente para estimativa da ETo em regiões de climas áridos e semiáridos (Talaee, 2014; Alencar et al., 2015; Silva et al., 2015; Souza; Sousa, 2020).

Diferentemente dos resultados encontrados para Piripiri (Tabela 3), o qual tem clima do tipo As (quente e úmido tropical chuvoso) (Medeiros et al., 2020), as estimativas da ETo diária por Hargreaves-Samani não foram satisfatórias nos estudos de Ribeiro et al. (2016) e Andrade Junior et al. (2017). Portanto, o melhor desempenho de Hargreaves-Samani, em parte, pode ser explicado pela escala mensal adotada no presente estudo. De acordo com Venancio et al. (2019) e Ferreira et al. (2021), ao agrupar valores diários da ETo em períodos mais longos, os erros tendem a diminuir.

Ainda no que diz respeito à escala adotada, tais resultados são reforçados pelo estudo de Santos et al. (2017) no perímetro

irrigado de Bebedouro, em Petrolina no estado de Pernambuco. Mesmo em uma região com clima semiárido do tipo BSh, as estimativas de ETo diária pelo método de Hargreaves-Samani não foram satisfatórias; sendo que, o método de Jensen-Haise apresentou melhor desempenho. Similarmente, Cabral Júnior et al. (2017) registraram o pior desempenho nas estimativas de ETo diária por Hargreaves-Samani nos perímetros irrigados também de Bebedouro e de Mandacaru (Juazeiro, Bahia), separados por uma distância de aproximadamente 30 km e com o mesmo tipo de clima. Em ambos os locais, o método Radiação FAO-24 (Doorenbos; Pruitt, 1977) teve melhor desempenho nas estimativas da ETo, seguido pelo método de Linacre (1977).

Em diferentes regiões do Nordeste brasileiro, o método de Priestley-Taylor tem apresentado melhor desempenho nas estimativas da ETo, como no clima Aw (tropical quente e úmido) de São Luís (Mendoza et al., 2016) e de Chapadinha (Passos et al., 2017) no estado do Maranhão; nos climas Aw de Caracol (Araújo et al., 2014) e Cwa (tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno) de Bom Jesus (Lucena et al., 2020) no Piauí; nos climas BSh (semiárido) de Itaberaba (Lima et al., 2019), Aw de Bom Jesus da Lapa (Costa et al., 2020) e Af (tropical úmido ou superúmido) de Ilhéus (Braga et al., 2023) na Bahia. Para o município de Piripiri, desempenho “bom” foi encontrado para o método de Priestley-Taylor (EM = 0,31 mm dia<sup>-1</sup>; EPE = 0,45 mm dia<sup>-1</sup>; id = 0,84 e c = 0,75) juntamente com o método Radiação FAO-24 (EM = 0,77 mm dia<sup>-1</sup>; EPE = 0,94 mm dia<sup>-1</sup>; id = 0,76 e c = 0,74), os quais ficaram na terceira posição (Tabela 3).

Para o município de Paulistana (Tabela 3), os menores erros de estimativas da ETo foram para Hargreaves-Samani, com uma subestimativa de apenas 2,76% (EPM); enquanto para o método de Jensen-Haise, houve uma superestimativa da ordem de 15,53% (EPM). Diferentemente desses



resultados, não foi possível estimar satisfatoriamente a ETo por Hargreaves-Samani no estudo de Andrade Júnior et al. (2017) para o mesmo município. Portanto, como mencionado anteriormente, tais diferenças, em parte, podem ser explicadas pela escala mensal adotada no presente estudo, enquanto Andrade Junior et al. (2017) estimaram a ETo em escala diária.

Ainda no estudo de Andrade Junior et al. (2017), o método de Priestley-Taylor se mostrou com melhor desempenho em relação ao de Hargreaves-Samani, especialmente no período chuvoso. No presente estudo, Priestley-Taylor (EM = -0,17 mm dia<sup>-1</sup>, EPE = 0,47 mm dia<sup>-1</sup>, id = 0,85 e c = 0,65) conjuntamente com o método Radiação FAO-24 (EM = 1,14 mm dia<sup>-1</sup>, EPE = 1,31 mm dia<sup>-1</sup>, id = 0,65 e c = 0,63) ocupam a segunda posição, com desempenho “mediano”. Enquanto para Priestley-Taylor há uma subestimativa de apenas 3,28% (EPM); para o método Radiação FAO, há uma superestimativa da ordem de 22,18% (EPM). Portanto, enfatiza mais uma vez que, os índices estatísticos devem ser analisados conjuntamente. Por exemplo, com o método de Camargo houve uma subestimativa (EPM = -3,06%) na mesma ordem daquela registrada para o método de Priestley-Taylor; porém, o desempenho é classificado como “sofrível”. Assim, nas condições climáticas de Paulistana não se justifica o uso dos demais métodos, incluindo o de Camargo.

### Conclusões

Para o município de Piri-piri no estado do Piauí, os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo apresentaram os melhores desempenhos nas estimativas da evapotranspiração de referência mensal. Assim, são indicados como alternativa ao método padrão Penman-Monteith FAO-56.

Similarmente, Hargreaves-Samani conjuntamente com o método de Jensen-Haise podem ser usados nas condições climáticas de Paulistana no estado do Piauí.

### Referências

Ahmad, B.; Nadeem, M. U.; Liu, T.; Asif, M.; Rizvi, F. F.; Kamran, A.; Virk, Z. T.; Jamil, M. K.; Mustafa, N.; Saeed, S.; Abbas, A. Climate change impact on groundwater-based livelihood in Soan River Basin of Pakistan (South Asia) based on the perception of local farmers. *Water*, v. 15, n. 7, 1287, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15071287>

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, n. 1, p. 39-50, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p39-50/2015>

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

Alsayim, H. E.; El-Edaim, A. M. A.; Elamin, A. W. M.; Adam, A. B.; Abass, M. A-E. Field evaluation of center pivot irrigation system's performance under the River Nile State conditions, Sudan. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 11, n. 1-3, p. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.19149/wrim.v11i1-3.2300>

Althoff, D.; Dias, S. H. B.; Filgueiras, R.; Rodrigues, L. N. ETo-Brazil: a daily gridded reference evapotranspiration data set for Brazil (2000-2018). *Water Resource Research*, v. 56, n. 7, e2020WR027562, 2020. <https://doi.org/10.1029/2020WR027562>

Althoff, D.; Rodrigues, L. N. Improvement of reference crop evapotranspiration estimates using limited data for the Brazilian Cerrado. *Scientia Agrícola*, v. 80, e20210229, 2023. <http://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0229>

Althoff, D.; Santos, R. A.; Bazame, H. C.; Cunha, F. F.; Filgueiras, R. Improvement of Hargreaves-Samani reference evapotranspiration estimates with local calibration. *Water*, v. 11, n. 11, 2272, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11112272>

Andrade Júnior, A. S.; Bastos, E. A.; Sentelhas, P. C.; Silva, A. A. G. Métodos de estimativa da

evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.

Andrade Junior, A. S.; Silva, C. O.; Sousa, V. F.; Ribeiro, V. Q. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Piauí. *Agrometeoros*, v. 25, n. 1, p. 181-190, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26278>

Aparecido, L. E. O.; Meneses, K. C.; Torsoni, G. B.; Moraes, J. R. S. C.; Mesquita, D. Z. Accuracy of potential evapotranspiration models in different time scales. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 1, p. 63-80, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786351026>

Araújo, E. F.; Andrade Júnior, A. S.; Silva, E. M.; Souza, K. B.; Santos, E. O. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Caracol, PI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 43., 2014, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SBEA, 2014. p. 1-4.

Arraes, F. D. D.; Silva, M. G.; Lêdo, E. R. F.; Oliveira, J. B. Desenvolvimento do programa “ET<sub>o</sub>-Application” para estimativa da evapotranspiração de referência. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 11., 2012, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 2012. p. 1-20.

Aschale, T. M.; Sciuto, G.; Peres, D. J.; Gullotta, A.; Cancelliere, A. Evaluation of reference evapotranspiration estimation methods for the assessment of hydrological impacts of photovoltaic power plants in Mediterranean climates. *Water*, v. 14, n. 14, 2268, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14142268>

Aydinsakir, K.; Dinc, N.; Buyuktas, D.; Kocaturk, M.; Ozkan, C. F.; Karaca, C. Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. *Irrigation Science*, v. 39, n. 6, p. 773-787, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00744-0>

Batista, L. S.; Silva, M. G.; Silva Filho, J. A.; Coelho, E. F.; Santos, N. T. Probability of occurrence of water deficits and excess on the climatic conditions of Barreiras, Bahia. *Applied*

*Research & Agrotechnology*, v. 7, n. 2, p. 15-24, 2014. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V7.N2.02>

Benevides, J. G.; Lopez, D. Formula para el caculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N-15° S). *Agronomia Tropical*, v. 20, n. 5, p. 335-345, 1970.

Bezerra, J. M.; Moura, G. B. A.; Silva, Ê. 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.

Bispo, R. C.; Hernandez, F. B. T.; Gonçalves, I. Z.; Neale, C. M. U.; Teixeira, A. H. C. Remote sensing based evapotranspiration modeling for sugarcane in Brazil using a hybrid approach. *Agricultural Water Management*, v. 271, 107763, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107763>

Blaney, H. F.; Criddle, W. D. Determining water requirements in irrigated area from climatological irrigation data. Washington: United States Department of Agriculture/Soil Conservation Service, 1950. 48p. (Technical Paper, 96).

Borges Júnior, J. C. F.; Anjos, R. J.; Silva, T. J. A.; Lima, J. R. S.; Andrade, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 380-390, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400008>

Braga, L. G. S.; Bouix, C. P. S.; Póvoas, C. E.; Ramos, A. Estimativa da evapotranspiração de referência por três métodos, para a região de Ilhéus/BA. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 4, e7812440936, 2023. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i4.40936>

Cabral Júnior, J. B.; Silva, C. M. S.; Almeida, H. A. Comparação mensal, sazonal e anual de métodos de estimativas da evapotranspiração de referência para Juazeiro-BA e Petrolina-PE. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 3, n. 2, p. 23-42, 2017. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2017v3n2ID12448>

Camargo, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 28p. (Boletim Técnico, 116).

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

Caporusso, N. B.; Rolim, G. S. Reference evapotranspiration models using different time scales in the Jaboticabal region of São Paulo, Brazil. Acta Scientiarum Agronomy, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2015. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v37i1.18277>

Carvalho, D. F.; Rocha, H. S.; Bonomo, R.; Souza, A. P. Estimating reference evapotranspiration with limited meteorological data. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 50, n. 1, p. 1-11, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000100001>

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. <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V4N200110>

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 Nordeste. Semina: Ciências Agrárias, v. 32, n. 4 (Sup1), p. 1699-1708, 2011. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1699>

Celestin, S.; Qi, F.; Li, R.; Yu, T.; Cheng, W. Evaluation of 32 simple equations against the Penman-Monteith method to estimate the reference evapotranspiration in the Hexi Corridor, Northwest China. Water, v. 12, n. 10, 2772, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12102772>

Cintra, P. H. N.; Melo, O. F. P.; Menezes, J. O. S. Produção agrícola: uma revisão bibliográfica sobre as mudanças climáticas e produtividade de plantas graníferas no Brasil. Revista Agrotecnologia, v. 11, n. 1, p. 87-94, 2020.

Costa, J. A.; Rodrigues, G. P.; Silva, N. D.; Sobrinho, O. P. L.; Costa, L. D. A. Avaliação de

métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. Agrometeoros, v. 25, n. 1, p. 173-179, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26277>

Costa, T. S.; Santos, R. A.; Sales, R. A.; Nogueira, A. T.; Santos, R. L. Comparison between estimation methods of reference evapotranspiration in Bom Jesus da Lapa, BA. Revista Engenharia na Agricultura, v. 28, p. 120-128, 2020. <https://doi.org/10.13083/reveng.v28i.974>

Coutinho, E. R.; Madeira, J. G. F.; Silva, R. M.; Oliveira, E. M.; Delgado, A. R. S. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) diária para regiões dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 4, p. 649-657, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786354006>

Dai, L.; Fu, R.; Zhao, Z.; Guo, X.; Du, Y.; Hu, Z.; Cao, G. Comparison of fourteen reference evapotranspiration models with lysimeter measurements at a site in the humid Alpine Meadow, Northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. Frontiers in Plant Science, v. 13, 854196, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.854196>

Djaman, K.; Rudnick, D.; Mel, V. C.; Mutiibwa, D.; Diop, L.; Sall, M.; Kabenge, I.; Bodian, A.; Tabari, H.; Irmak, S. Evaluation of Valiantzas' simplified forms of the FAO-56 Penman-Monteith reference evapotranspiration model in a humid climate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 143, n. 8, 06017005, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001191](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001191)

Doorenbos, J.; Pruitt, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

Duarte, A. B.; Ferreira, L. B.; Santos, E. F. Calibration of the Hargreaves-Samani equation for specific periods of the year in the municipality of Jaíba-MG, Brazil. Revista Engenharia na Agricultura, v. 25, n. 5, p. 445-453, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i5.838>

- Fahad, S.; Bajwa, A. A.; Nazir, U.; Anjum, S. A.; Farooq, A.; Zohaib, A.; Sadia, S.; Nasim, W.; Adkins, S.; Saud, S.; Ihsan, M. Z.; Alharby, H.; Wu, C.; Wang, D.; Huang, J. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, 1147, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- Farias, V. D. S.; Costa, D. L. P.; Pinto, J. V. N.; Souza, P. J. O. P.; Souza, E. B.; Ortega-Farias, S. Calibration of reference evapotranspiration models in Pará. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 42, e42475, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.42475>
- 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. 246-255, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200006>
- Ferreira, L. B.; Cunha, F. F.; Zanetti, S. S. Selecting models for the estimation of reference evapotranspiration for irrigation scheduling purposes. *PLoS ONE*, v. 16, n. 1, e0245270, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245270>
- França, M. V.; Medeiros, R. M.; Holanda, R. M.; Saboya, L. M. F.; Rolim Neto, F. C.; Araújo, W. R. Análise da estimativa da evapotranspiração por diferentes modelos para Amparo de São Francisco – Sergipe. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, e514101321505, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21505>
- Freitas, A. A.; Drumond, A.; Carvalho, V. S. B.; Reboita, M. S.; Silva, B. C.; Uvo, C. B. Drought assessment in São Francisco River Basin, Brazil: Characterization through SPI and associated anomalous climate patterns. *Atmosphere*, v. 13, n. 1, 41, 2022. <https://doi.org/10.3390/atmos13010041>
- Freitas, P. A. S.; Oliveira, L. M. M.; Barbosa, R. F. S.; Ursulino, B. S.; Montenegro, S. M. G. L. Evapotranspiração de referência diária por diferentes modelos na bacia hidrográfica do Rio Capibaribe (Pernambuco – Brasil). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 4, n. 1, p. 35-45, 2018.
- Ghiat, I.; Mackey, H. R.; Al-Ansari, T. A review of evapotranspiration measurement models, techniques and methods for open and closed agricultural field applications. *Water*, v. 13, n. 18, 2523, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13182523>
- Gomes Filho, R. R.; Souza, L. G.; Santos, I. L. N.; Santos, K. V.; Oliveira, D. T. B.; Silva, D. T. Estimativa da evapotranspiração de referência do Estado de Sergipe. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 109912, 2017. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109912>
- Gonçalves, I. Z.; Ruhoff, A.; Laipelt, L.; Bispo, R. C.; Hernandez, F. B. T.; Neale, C. M. U.; Teixeira, A. H. C.; Marin, F. R. Remote sensing-based evapotranspiration modeling using geeSEBAL for sugarcane irrigation management in Brazil. *Agricultural Water Management*, v. 274, 107965, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107965>
- Guedes Filho, D. H.; Santos Júnior, J. A.; Costa Filho, J. F.; Francisco, P. R. M.; Campos, V. B. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Areia, Paraíba. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 5, n. 1, p. 37-47, 2011. <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V5N100038>
- Hamed, M. M.; Khan, N.; Muhammad, M. K. I.; Shahid, S. Ranking of empirical evapotranspiration models in different climate zones of Pakistan. *Land*, v. 11, n. 12, 2168, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11122168>
- Hamon, W. R. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of Hydraulics Division*, v. 87, n. 3, p. 107-120, 1961. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0000599>
- Hargreaves, G. H.; Samani, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985. <https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Ide, A. K.; Silva, C. L. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na área de influência dos canais da transposição do Rio São Francisco. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 25, n. 6, p. 526-539, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i6.758>

Jensen, M. E.; Haise, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v. 89, n. 4, p. 15-44, 1963.

<https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0000287>

Jerszurki, D.; Souza, J. L. M.; Silva, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. *PLoS ONE*, v. 12, n. 6, e0180055, 2017.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180055>

Kharrufa, N. S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. *Beitrag zur Hydrologie Sonderheft*, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.

Koç, D. L.; Can, M. E. Reference evapotranspiration estimate with missing climatic data and multiple linear regression models. *PeerJ*, v. 11, e15252, 2023.

<http://doi.org/10.7717/peerj.15252>

Leite, C. V.; Casaroli, D.; Vicente, M. R.; Cessa, R. M. A.; Alves Júnior, J. Reference evapotranspiration through Hargreaves method using the solar radiation estimation for Goiás state, Brazil. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 28, p. 274-292, 2020.

<https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.8752>

Lessa, C. I. N.; Lacerda, C. F.; Cajazeiras, C. C. A.; Neves, A. L. R.; Lopes, F. B.; Silva, A. O.; Sousa, H. C.; Gheyi, H. R.; Nogueira, R. S.; Lima, S. C. R. V.; Costa, R. N. T.; Sousa, G. G. Potential of brackish groundwater for different biosaline agriculture systems in the Brazilian semi-arid region. *Agriculture*, v. 13, n. 3, 550, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030550>

Lima, E. F.; Damascena, J. F.; Pereira, J. A.; Conceição, F. A.; Oliveira, P. L. S.; Diniz, P. O.; Moraes, W. S.; Silva, C. M. Estimativa da evapotranspiração de referência com base em modelos de temperatura do ar e radiação solar para o Município de Estreito – MA. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, e23410514881, 2021.

<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14881>

Lima, J. G. A.; Viana, P. C.; Espínola Sobrinho, J.; Couto, J. P. C. Comparação de métodos de estimativa de ETo e análise de sensibilidade

para diferentes climas brasileiros. *Irriga*, v. 24, n. 3, p. 538-551, 2019.

<https://doi.org/10.15809/irriga.2019v24n3p538-551>

Lima Junior, J. C.; Arraes, F. D. D.; Oliveira, J. B.; Nascimento, F. A. L.; Macedo, K. G. Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p. 447-454, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160054>

Linacre, E. T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agricultural Meteorology*, v. 18, n. 6, p. 409-424, 1977.

[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(77\)90007-3](https://doi.org/10.1016/0002-1571(77)90007-3)

Lopes Sobrinho, O. P.; Castro Júnior, W. L.; Santos, L. N. S.; Silva, G. S.; Pereira, Á. I. S.; Tavares, G. G. Empirical methods for reference evapotranspiration estimation. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 19, n. 3, p. 203-210, 2020.

<https://doi.org/10.18188/sap.v19i3.21487>

Lucena, F. A. P.; Silva, E. M.; Ribeiro, A. A.; Simeão, M.; Lucena, J. P. A. P. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Bom Jesus, PI. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 10, n. 3, p. 663-675, 2016. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n300404>

Makhlof, H. A. H.; Elamin, A. W. M.; Mohamed, M. A.; Adam, A. B.; Abdeldyim, A. M. Demarcation of groundwater quality for irrigation purposes in Sirte, Libya. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 10, n. 1-3, p. 15-24, 2021.

<https://doi.org/10.19149/wrim.v10i1-3.2299>

Makkink, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers*, v. 11, n. 3, p. 277-288, 1957.

Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Alvala, R. C. S.; Cunha, A. P.; Brito, S.; Moraes, O. L. L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2 (suppl1), p. 1973-1985, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

- Medeiros, R. M.; Cavalcanti, E. P.; Duarte, J. F. M. Classificação climática de Köppen para o estado do Piauí – Brasil. *Revista Equador*, v. 9, n. 3, p. 82-99, 2020. <https://doi.org/10.26694/equador.v9i3.9845>
- Mehdizadeh, S. Estimation of daily reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) using artificial intelligence methods: Offering a new approach for lagged  $ET_0$  data-based modeling. *Journal of Hydrology*, v. 559, p. 794-812, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.060>
- Melo, V. G. M. L.; Frizzzone, J. A.; Camargo, A. P.; Melo, L. L. Evaluation of irrigation requirement for the design of an irrigation system using a probabilistic approach for the estimation of evapotranspiration and rainfall. *Revista Ciência Agronômica*, v. 54, e20207523, 2023. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230048>
- Melo, V. G. M. L.; Frizzzone, J. A.; Melo, L. L.; Camargo, A. P. Extreme values of  $ET_0$  at Piracicaba, Brazil, for designing irrigation systems. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 25, n. 10, p. 677-683, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n10p677-683>
- Mendoza, C. J.; Menezes, R. H.; Dias, A. S. Estimativa da evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de São Luís – MA. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 10, n. 3, p. 621-630, 2016. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n300379>
- Moreno-Pizani, M. A.; Farias-Ramirez, A. J.; Barros, T. H. S.; Zucolotto, J.; Marques, P. A. A.; Coelho, R. D. Crop water stress index for a medicinal plant (*Baccharis crispa* Spreng.) under variable irrigation levels. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 7, n. 1, p. 9-15, 2018.
- 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. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200007>
- 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. <http://dx.doi.org/10.7127/RBAI.V4N206100>
- Paiva, C. M.; Souza, A. S. P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo da irrigação. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 39, n. 1, p. 42-51, 2016. [http://dx.doi.org/10.11137/2016\\_1\\_42\\_51](http://dx.doi.org/10.11137/2016_1_42_51)
- Passos, M. L. V.; Raposo, A. B.; Mendes, T. J. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. *Applied Research & Agrotechnology*, v. 10, n. 1, p. 59-66, 2017. <https://doi.org/10.5935/PAeT.V10.N1.06>
- Priestley, C. H. B.; Taylor, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- Reis, M. M.; Silva, A. J.; Zullo Junior, J.; Santos, L. D. T.; Azevedo, A. M.; Lopes, É. M. G. Empirical and learning machine approaches to estimating reference evapotranspiration based on temperature data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 165, 104937, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104937>
- Rezaei, M.; Valipour, M.; Valipour, M. Modelling evapotranspiration to increase the accuracy of the estimations based on the climatic parameters. *Water Conservation Science and Engineering*, v. 1, n. 3, p. 197-207, 2016. <https://doi.org/10.1007/s41101-016-0013-z>
- Ribeiro, A. A.; Simeão, M.; Santos, A. R. B. Balanço hídrico climatológico para os municípios de Piripiri e São João do Piauí, Piauí, Brasil. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 9, n. 3, p. 228-235, 2015. <https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n3p228-235>
- 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 Agrogeambiental*, v. 8, n. 3, p. 89-100, 2016. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v8n32016862>

Santana, J. S.; Lima, E. F.; Silva, W. A.; Fernandes, M. C.; Ribeiro, M. I. D. Equações de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para a região de Balsas-MA. Enciclopédia Biosfera, v. 15, n. 27, p. 1-14, 2018.

Santos, R. B.; Santos, B. S.; Souza, R. T. A.; Ricarte, T. L.; Cordeiro Júnior, J. J. F. Estimativas da evapotranspiração de referência por equações empíricas para o município de Nossa Senhora da Glória – SE. Revista de Geociências do Nordeste, v. 8, n. 2, p. 147-155, 2022.

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2022v8n2ID30338>

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, v. 1, n. 1 (Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI), p. 31-39, 2017.

<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p31-39>

Seleiman, M. F.; Al-Suhaibani, N.; Ali, N.; Akmal, M.; Alotaibi, M.; Refay, Y.; Dindaroglu, T.; Abdul-Wajid, H. H.; Battaglia, M. L. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. Plants, v. 10, n. 2, 259, 2021.

<https://doi.org/10.3390/plants10020259>

Silva, A. O.; Almeida, A. V. R.; Silva, V. B.; Rabello, J. S. Eficiência do uso da água em cultivares de tomate irrigados no semiárido. Water Resources and Irrigation Management, v. 10, n. 1-3, p. 25-37, 2021a.

<https://doi.org/10.19149/wrim.v10i1-3.2404>

Silva, G. H.; Dias, S. H. B.; Ferreira, L. B.; Santos, J. É. O.; Cunha, F. F. Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 2, p. 83-89, 2018.

<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p83-89>

Silva, K. F.; Moraes, D. H. M.; Mesquita, M.; Oliveira, H. F. E.; Nascimento, W. M.; Battisti, R.; Flores, R. A. Water requirement and crop coefficient of three chickpea cultivars for the edaphoclimatic conditions of the Brazilian savannah biome. Irrigation Science, v. 39, n. 5, p. 607-616, 2021b.

<https://doi.org/10.1007/s00271-021-00737-z>

Silva, M. G. Estimativa da evapotranspiração de referência padrão (Penman-Monteith FAO 56): Uma abordagem com dados meteorológicos limitados. Nativa, v. 4, n. 4, p. 253-260, 2016.

<https://doi.org/10.31413/nativa.v4i4.2728>

Silva, M. G.; Arraes, F. D. D.; Ledo, E. R. F.; Santos, N. T.; Silva Filho, J. A. Avaliação da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith usando dados climáticos mínimos no sertão do Ceará. Revista Agro@mbiente Online, v. 7, n. 3, p. 284-293, 2013.

<https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i3.1245>

Silva, M. G.; Batista, L. S.; Carmo, F. F.; Santos, N. T.; Oliveira, I. S. Probabilidade de ocorrência de valores estimados de evapotranspiração de referência no Sertão do Ceará. Revista Engenharia na Agricultura, v. 22, n. 6, p. 562-574, 2014.

<https://doi.org/10.13083/reveng.v22i6.473>

Silva, M. G.; Batista, L. S.; Gomes Filho, R. R.; Carvalho, C. M. Estimativa da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith FAO 56 usando dados meteorológicos limitados em Aracaju, Sergipe. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 10, n. 4, p. 830-840, 2016.

<http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v10n400454>

Silva, M. G.; Oliveira, I. S.; Carmo, F. F.; Lêdo, E. R. F.; Silva Filho, J. A. 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.

<https://doi.org/10.18011/bioeng2015v9n2p132-141>

Silva, R. D.; Silva, M. A. A.; Canteri, M. G.; Rosisca, J. R.; Vieira Junior, N. A. Reference evapotranspiration for Londrina, Paraná, Brazil: performance of different estimation methods. Semina: Ciências Agrárias, v. 38, n. 4 (Sup1), p. 2363-2374, 2017.

<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Sup1p2363>

Sousa, I. F.; Silva, V. P. R.; Sabino, F. G.; Netto, A. O. A.; Silva, B. K. N.; Azevedo, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. Revista

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000600010>  
Souza, J. L. M.; Oliveira, S. R.; Rosa, S. L. K.; Jerszurki, D. Hourly reference evapotranspiration by Moretti-Jerszurki-Silva method using data from alternative station. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 25, n. 8, p. 505-513, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n8p505-513>

Souza, M. L. A.; Sousa, J. W. Avaliação do desempenho de métodos empíricos para a estimativa da evapotranspiração de referência em Rio Branco, Acre. Scientia Naturalis, v. 2, n. 1, p. 254-267, 2020.

Talae, P. H. Performance evaluation of modified versions of Hargreaves equation across a wide range of Iranian climates. Meteorology and Atmospheric Physics, v. 126, n. 1-2, p. 65-70, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00703-014-0333-5>

Tavares, A. L.; Medeiros, R. M.; Silva, V. M. A. Balanço hídrico climatológico como planejamento agropecuário para o município de Paulistana, PI. In: Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 1., 2013, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Editora Realize, 2013. p. 1-5.

Tejada Jr., A. T.; Ella, V. B.; Lampayan, R. M.; Reaño, C. E. Modeling reference crop evapotranspiration using Support Vector Machine (SVM) and Extreme Learning Machine (ELM) in Region IV-A, Philippines. Water, v. 14, n. 5, 754, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14050754>

Tellen, V. A. A comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in Yaounde, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. Earth Perspectives, v. 4, 4, 2017. <https://doi.org/10.1186/s40322-017-0039-1>

Temesgen, T. Improvement of yield and water productivity of Adama onion (*Allium cepa* L.) under deficit irrigation using furrow method in West Oromia, Ethiopia. Water Resources and Irrigation Management, v. 12, n. 1-3, p. 44-53, 2023. <https://doi.org/10.19149/wrim.v12i1-3.3157>

Temesgen, T.; Mideksa, G.; Seyoum, T. Assessment of irrigation water potential and water requirements of selected crops in the Wabe-Shebelle River Basin, Ethiopia. Water Resources and Irrigation Management, v. 11, n. 1-3, p. 47-65, 2022.

<https://doi.org/10.19149/wrim.v11i1-3.2909>

Thornthwaite, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948. <https://doi.org/10.2307/210739>

Valle Júnior, L. C. G.; Vourlitis, G. L.; Curado, L. F. A.; Palácios, R. S.; Nogueira, J. S.; Lobo, F. A.; Islam, A. R. M. T.; Rodrigues, T. R. Evaluation of FAO-56 procedures for estimating reference evapotranspiration using missing climatic data for a Brazilian Tropical Savanna. Water, v. 13, n. 13, 1763, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13131763>

Veimrober Júnior, L. A. A.; Silva, A. J. P.; Gheyi, H. R.; Nascimento, F. A. L.; Silva, M. G.; Vellame, L. M. Water productivity of passion fruit under different forms of propagation and soil-based irrigation management criteria. Irrigation Science, v. 40, n. 3, p. 423-433, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00766-8>

Venancio, L. P.; Cunha, F. F.; Mantovani, E. C.; Sediya, 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, n. 3, p. 153-159, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n3p153-159>

Wang, X. Managing land carrying capacity: Key to achieving sustainable production systems for food security. Land, v. 11, n. 4, 484, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11040484>

Willmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, R. E.; Feddema, J. J.; Klink, K. M.; Legates, D. R.; O'Donnell, J.; Rowe, C. M. Statistics for evaluation and comparison of models. Journal of Geophysical Research, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>