

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE PRESIDENTE FIGUEIREDO, AM*

ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO¹ E DÉRICK ALBERTO ARRUDA²

*Parte retirado do trabalho de conclusão de curso “Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência e obtenção do balanço hídrico climatológico para o município de Presidente Figueiredo, Amazonas”, Universidade Federal do Amazonas, defendido em 28 de abril de 2022.

¹ Professor Titular do Colegiado do Curso de Agronomia do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Campus Itacoatiara, Av. Nossa Senhora do Rosário, 3863 – Bairro; ORCID: 0000-0002-0123-7515, e-mail: aristoteles@ufam.edu.br

Tiradentes, Itacoatiara, Amazonas, Brasil, aristoteles@ufam.edu.br

² Engenheiros Agrônomos pelo Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Campus Itacoatiara, ORCID: 0009-0002-0822-9056, e-mail: arrudaderick.agro@gmail.com

1 RESUMO

A evapotranspiração é um processo de grande importância na determinação das necessidades hídricas de uma cultura, constatando períodos de excessos ou escassez de água, sendo fundamental para a elaboração do balanço hídrico climatológico, essencial no planejamento agrícola. Portanto, o objetivo foi comparar os métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves e Jensen-Haise com o método de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Presidente Figueiredo, AM. Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos na estação meteorológica automática de Presidente Figueiredo, compreendendo dados diários de uma série temporal de 10 anos. Os indicadores estatísticos utilizados foram, percentagem em relação ao método-padrão, erro-padrão de estimativa, erro-padrão de estimativa ajustado, índice de concordância, coeficiente de correlação, coeficiente de determinação e coeficiente de desempenho. A classificação do método de Jensen-Haise, Makkink, FAO 54 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert, foram satisfatórias ajustando melhor ao método padrão Penman-M FAO 56, com desempenho “ótimo”, seguidos pelos métodos de Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani tiveram desempenho “muito bom”, e Thornthwaite com desempenho “mediano”, devendo ser recomendados após ajustes locais. O modelo de Camargo apresentou desempenho “mau”, não recomendado em razão da baixa exatidão e precisão em relação ao padrão.

Palavras-chave: Penman-Monteith, dados meteorológicos, irrigação.

TEIXEIRA FILHO, A. de J.; ARRUDA, D. A.
PERFORMANCE EVALUATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION
ESTIMATION METHODS FOR THE CITY OF PRESIDENTE FIGUEIREDO, AM

2 ABSTRACT

Evapotranspiration is a process of great importance in determining the water needs of a crop, noting periods of excess or scarce water, which is fundamental for the elaboration of the climatological water balance, an essential tool in agricultural planning. Therefore, the objective

was to compare the Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves, and Jensen-Haise methods with the Penman-Monteith method, the FAO standard, for estimating the reference evapotranspiration for the municipality of Presidente Figueiredo, AM. The meteorological data used were obtained from the Presidente Figueiredo automatic meteorological station, comprising daily data from a 10-year time series. The statistical indicators used were percentage in relation to the standard method, standard error of estimate, standard error of adjusted estimate, concordance index, correlation coefficient, determination coefficient and performance coefficient. The classifications of the Jensen-Haise, Makkink, FAO 54 Radiation, and Blaney-Criddle-Frevert methods were satisfactory and better adjusted to the standard Penman-M FAO 56 method, with an 'optimal' performance, followed by the Blaney-Criddle and Hargreaves-Samani methods, which had a 'very good' performance, and Thornthwaite performed 'arverage', which should be recommended after local adjustments. Camargo's model presented a "bad" performance and was not recommended because of its low accuracy and precision in relation to the standard.

Keywords: Penman-Monteith, weather data, irrigation.

3 INTRODUÇÃO

O clima ainda é a variável mais importante na produção agrícola, pois os parâmetros climáticos influenciam todos os estágios da cadeia produtiva, incluindo a preparação do solo, semeadura, crescimento das culturas, colheita, armazenagem, transporte e comercialização (Ayoade, 2013).

A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições edafoclimáticas e agrometeorológicas, que envolvem o manejo adequado do solo, da água, do clima e dos recursos hídricos (Alencar *et al.*, 2016). A obtenção do consumo hídrico das culturas pode ser realizada por meio de medições diretas no campo ou por métodos indiretos, através de equações empíricas. As medições diretas, no entanto, requerem equipamentos sofisticados e de alto custo, o que torna as equações empíricas alternativas mais práticas e viáveis (Cavalcante Junior *et al.*, 2011).

Ao longo dos anos, diversos métodos foram desenvolvidos para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0), considerando três fatores principais: a adequação do método às condições climáticas regionais, a simplicidade de uso e

a disponibilidade de dados meteorológicos (Carvalho *et al.*, 2011).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) recomendam o método de Penman-Monteith como padrão para o cálculo da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos (Allen; Pereira; Raes, 1998; Smith, 1991). Esse método representa um aprimoramento do modelo original de Penman, sendo amplamente validado por estudos no Brasil e em diversas regiões do mundo (Barros *et al.*, 2009; Jabloun; Sahli, 2008; Xu; Chen, 2005; Yoder; Odhiambo; Wright, 2005). No entanto, sua aplicação é limitada devido à necessidade de um conjunto amplo de variáveis meteorológicas, muitas vezes indisponíveis, especialmente em países em desenvolvimento. Como alternativa, utilizam-se métodos empíricos que demandam menos variáveis, como os de Blaney-Criddle, Hargreaves, Camargo e Jensen-Haise (Ayoade, 2013), os quais são particularmente úteis em regiões tropicais.

Sabe-se que nenhum método de estimativa de ET_0 é universalmente adequado para todas as condições climáticas, sem os devidos ajustes locais ou regionais. Embora existam diversos estudos

sobre modelos de ET_o nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, há uma escassez de pesquisas voltadas à região Norte. A obtenção de dados confiáveis de ET_o nessa região é fundamental, considerando que, segundo Carvalho *et al.* (2011), uma das estratégias para racionalizar o uso da água na agricultura é estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir da ET_o e do coeficiente de cultura (Kc).

Dessa forma, com o objetivo de proporcionar métodos mais simples e ajustados às condições climáticas do município de Presidente Figueiredo (AM), região Norte do Brasil, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho dos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração de referência - Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo, FAO 54 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert — e compará-los com o método padrão Penman-Monteith FAO.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados oriundos da estação meteorológica convencional, referentes a uma normal provisória do período de 2009 a 2018. Os dados foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), para a localidade de Presidente Figueiredo, AM (Organização Meteorológica Mundial – OMM: 81699), situada na latitude 2,08499999° Sul, longitude 60,04888888° Oeste, a uma altitude de 92 metros.

De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Presidente Figueiredo (AM) é do tipo tropical úmido (Af), caracterizado por elevada pluviosidade ao longo do ano, com média anual de 3.038 mm de precipitação e temperatura média anual de 25,5 °C (CLIMATE DATA, 2023). As variáveis

meteorológicas consideradas nesta investigação foram: temperatura do bulbo seco; temperaturas máxima, mínima e média do ar; umidade relativa máxima, mínima e média do ar; pressão atmosférica; insolação (Allen; Pereira; Raes, 1998); direção e velocidade do vento. Tais variáveis são necessárias para as estimativas da evapotranspiração de referência diária (ET_o) pelo método padrão FAO-56 Penman-Monteith, bem como pelos métodos alternativos avaliados: Blaney-Criddle, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e Camargo.

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas no software Microsoft Excel. A estimativa da ET_o diária pelo método FAO-56 Penman-Monteith é sintetizada na Equação 1, conforme Allen, Pereira e Raes (1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn-G)+\gamma\left(\frac{900}{T+273}\right)U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm d⁻¹); Δ é a declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); Rn é o radiação líquida diária (MJ m⁻² d⁻¹); G é o fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T é a temperatura média do ar (°C) (INMET, 2022); U₂ é a velocidade do vento medido a altura de 2 m (m s⁻¹); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e e_a é a pressão de vapor atual do ar (kPa).

A pressão exercida pelo teor saturante de vapor d'água (e_s), média diária, foi obtida em função da pressão de saturação da temperatura máxima e mínima, descrita pelas Equações (2) e (3) de Tetens:

$$e_s = \frac{e^0(T_x)+e^0(T_n)}{2} \quad (2)$$

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

A pressão de vapor atual (e_a) foi obtida pela Equação 4, utilizando a umidade relativa média do ar.

$$e_a = \frac{e_s * U R_m}{100} \quad (4)$$

A declividade de curva de pressão de vapor foi calculada, Equação 5.

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

Já a constante psicrométrica foi estimada a partir das equações (6) e (7) ou quando não for possível se adotará valor tabelado:

$$\gamma = \frac{C_p * p}{\varepsilon * \lambda} = 0,665 * 10^{-3} \quad (6)$$

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

Em que: C_p é o calor específico a pressão constante, $1,013 \times 10^{-3}$ (MJ kg⁻¹ °C⁻¹);

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

$$R_{ns} = (1 - 0,23) * R_s \quad (10)$$

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

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

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

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

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

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

Em que: R_s é a radiação solar (MJ m⁻² dia⁻¹); R_a é a radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); G_{sc} é a constante, 0,0820 (MJ

P é a pressão atmosférica (kPa); ε é o coeficiente de peso molecular de vapor de água ar seco (-1, 0,622); λ é o calor latente de vaporização, 2,45 (MJ kg⁻¹); e Z é a altitude do local (m).

Sabe-se que o fluxo de calor no solo (G) para o período de um dia ou dez dias sob uma superfície de referência gramada é relativamente pequena, o fluxo de calor no solo pode ser ignorado ($G \approx 0$). Para o período mensal G foi pela Equação 8.

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

Em que: $T_{mês,j}$ é a temperatura média mensal do ar para o mês i (°C); $T_{mês,i-1}$ é a temperatura média mensal do mês anterior a i (°C).

Já o saldo de radiação (R_n) é a diferença entre o saldo de radiação de onda curta (R_{ns}) e o saldo de radiação de onda longa (R_{nl}), que foi estimado pelas Equações (9) a (16).

m⁻² min⁻¹); σ é a constante de Stefan-Boltzmann, $4,903 \times 10^{-9}$ (MJ m⁻² dia⁻¹); R_{so} é a radiação solar em um dia sem nuvens (MJ

$m^{-2} \text{ dia}^{-1}$); Z é a altitude do local (m); dr é a distância relativa Terra-Sol; J é o dia juliano; δ é a declinação solar (radianos); Φ é a latitude local (radianos); ω_s é o ângulo de radiação no momento do pôr do sol (radianos); $T_{x,k}$ é a temperatura máxima observada durante o período de 24 horas (K); e $T_{n,k}$ é a temperatura mínima observada durante o período de 24 horas (K).

A estimativa da ET_o diária pelo método de Blaney e Criddle (1950), conhecido como Blaney-Criddle FAO 24, é sintetizada na Equação 17 (Pereira; Villa Nova; Sediyama, 1997).

$$ET_o = (0,457 * T + 8,13) * p * c \quad (17)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) (INMET, 2022); “ p ” é a percentagem mensal das horas anuais de luz solar; e “ c ” é o coeficiente regional de ajuste da equação (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006).

$$ET_o = 0,0135 * KT * (T_m + 17,8) * R_a * 0,408 * (T_x - T_n)^{1/2} \quad (19)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); KT é o coeficiente de transmissividade atmosférica global, cujo valor para uma região interiorana é de 0,162; e igual a 0,19 para uma região costeira; T_m é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) (INMET, 2022); R_a é a radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); T_x é a temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$); e T_n é a temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A estimativa da ET_o diária pelo método de Jensen e Haise (1963) foi obtida pela Equação 20 (Pereira; Villa Nova; Sediyama, 1997).

$$ET_o = R_s(0,0252 * T + 0,078) \quad (20)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); R_s é a radiação solar global (mm d^{-1}); e T é a

A estimativa da ET_o diária pelo método de Camargo (1971) foi calculada com a Equação 18 (Pereira; Villa Nova; Sediyama, 1997; Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

$$ET_o = R_T * T * k_f * ND \quad (18)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); R_T é a radiação solar extraterrestre (mm d^{-1} de evapotranspiração equivalente); T é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) (INMET, 2022); k_f é o fator de ajuste que varia com a média da temperatura anual local ($k_f = 0,01$ para $T < 23 ^{\circ}\text{C}$; $k_f = 0,0105$, para $T = 24 ^{\circ}\text{C}$; $k_f = 0,011$, para $T = 25 ^{\circ}\text{C}$; $k_f = 0,0115$, para $T = 26 ^{\circ}\text{C}$; e $k_f = 0,012$, para $T > 26 ^{\circ}\text{C}$); e ND é o número de dias do período analisado.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Hargreaves e Samani (1985) foi obtida pela Equação 19.

temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) (INMET, 2022).

A estimativa da ET_o diária pelo método de Thornthwaite (1948) foi obtida pela Equação 21 (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

$$ET_o = ET_p * Cor \quad (21)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); ET_p é a evapotranspiração padrão (mm mês^{-1}); e Cor é o fator de correção da evapotranspiração.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Thornthwaite (1948) simplificado por Camargo (1962) foi obtida pela Equação 22 (Pereira; Angelocci; Sentelhas, 2007).

$$ET_o = 30 * ET_T * Cor \quad (22)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês^{-1}); ET_T é a evapotranspiração potencial diária (mm d^{-1}); e Cor é o fator de correção da evapotranspiração.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Makkink (1957) foi obtida pela Equação 23 (Turco; Perecin; Pinto Junior, 2008; Pereira; Villa Nova; Sediyama, 1997).

$$ET_o = (0,61 * R_s * W) - 0,12 \quad (23)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm d^{-1}); R_s é a radiação solar global medida ou estimada, mm d^{-1} ; W é o fator de ponderação, estimado por meio das expressões lineares propostas por Wilson e Rouse (1972) e Viswanadham, Silva Filho e Andre (1991) para temperaturas de bulbos úmidos variando de 0 a 16 °C e 16,1 a 32 °C, respectivamente.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Blaney e Criddle (1950) adaptado Frevert; Hill; Braaten (1983) foi obtida pela Equação 24 (Fernandes *et al.*, 2010).

$$ET_o = a + b * p(0,457 * T + 8,13) \quad (24)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm d^{-1}); “a” e “b” são os coeficientes; “p” é a percentagem mensal das horas anuais de luz solar; e T é a temperatura média do ar (°C) (INMET, 2022).

As estimativas de ET_o foram analisadas por regressão linear (Equações 25 a 29), tendo como variável dependente (Y), os métodos de Blaney-, Criddle Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO-24 da radiação e Blaney-Criddle-Frevert como variável independente (X), os valores de ET_o estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (25)$$

Em que: Y é o valor estimado para os métodos empíricos; β_0 é o coeficiente angular; β_1 é o coeficiente linear; e X é o valor estimado pelo método padrão Penman-Monteith 56.

$$\beta_0 = Y - \beta_1 X \quad (26)$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (27)$$

$$S_{xy} = \sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y}) \quad (28)$$

$$S_{xx} = \sum(X_i - \bar{X})^2 \quad (29)$$

A correlação entre o método de Penman-Monteith-FAO 56 e os métodos empíricos foi realizada com base em indicadores estatísticos a fim de se observar a precisão dada pelo coeficiente de correlação (r) que está associado ao desvio entre os valores estimados e medidos, indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média, utilizando-se a Equação 30.

$$r = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X}_m)(Y_i - \bar{Y}_m)]^2}{\sum(X_i - \bar{X}_m)^2 \sum(Y_i - \bar{Y}_m)^2}} \quad (30)$$

Em que: X_i é o valor estimado pelo método Penman-Monteith FAO 56; \bar{X}_m é a média do método de Penman-Monteith FaO 56; Y_i é o valor estimado do método avaliado; e \bar{Y}_m é a média do método avaliado.

A exatidão na estimativa da ET_o em relação ao modelo padrão foi obtida por meio do cálculo do índice “d” (Equação 31), que varia 0 a 1 (Willmott; Ckleson; Davis, 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(|Y_i - \bar{X}_m| + |X_i - \bar{X}_m|)^2} \right] \quad (31)$$

O coeficiente de segurança ou desempenho “c” (Tabela 1), foi calculado pelo produto de r e d ($c = r * d$) (Camargo; Sentelhas, 1997).

Tabela 1. Valores do coeficiente de desempenho conforme Camargo e Sentelhas (1997).

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

A quantificação do erro padrão da estimativa (EPE) foi obtida pela equação 32, do erro padrão da estimativa ajustado (EPEA) da regressão foi obtida pela equação 33 e por meio da relação dos valores médios, expressa em porcentagem (Equação 34). Os erros-padrão são uma medida de dispersão das observações ao redor da linha de regressão, adotando a mesma medida da variável dependente, ou seja, mede o quanto distante a variável dependente Y está do seu valor predito (Stock; Watson, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, apresentam-se as médias mensais das variáveis climatológicas — temperatura mínima, máxima e média, umidade relativa média, velocidade do vento a 2 metros de altura, radiação solar global e número de horas de brilho solar — referentes à normal provisória de 10 anos (2009 a 2018) para o município de Presidente Figueiredo, AM. Esses dados foram utilizados como base para a estimativa da evapotranspiração potencial de referência. As temperaturas mínima (T_n) e máxima (T_x) variaram, respectivamente, entre 25,73 °C e 26,05 °C, e entre 26,72 °C e 27,09 °C. A menor amplitude total foi observada nas temperaturas mínimas, com variação de apenas 0,32 °C. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2023), que registraram para Manicoré, AM, a menor amplitude térmica entre as temperaturas mínimas, com valor de 1,51 °C. Barbosa *et al.* (2022), ao

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{n-1}} \quad (32)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n-2}} \quad (33)$$

$$\% = \left(\frac{Y_i}{X_i} \right) * 100 \quad (34)$$

Em que: X_i é a estimativa da ET_o pelo modelo padrão (P-M); Y_i é a estimativa da ET_o obtida por cada um dos modelos avaliados; e n é o número de observações. estudarem Maués, AM, também constataram a menor amplitude nas temperaturas mínimas, de 0,94 °C. Essa baixa amplitude térmica das temperaturas mínimas é característica de regiões de baixa latitude e altitude, como observado em Boa Vista, RR (Araújo; Conceição; Venancio, 2012). A umidade relativa média do ar permaneceu acima de 74,96%, mesmo nos meses de menor precipitação pluviométrica.

Quanto à velocidade do vento (Tabela 2), não foram registrados valores superiores a 1,0 m s⁻¹ em nenhum mês, sendo o valor máximo observado em março (0,71 m s⁻¹, equivalente a 2,54 km h⁻¹) e o mínimo em maio (0,44 m s⁻¹, ou 1,58 km h⁻¹), mantendo-se praticamente constante ao longo do ano. Esses valores correspondem à escala 1 da escala de Beaufort, caracterizada como “quase calmo”, condição favorável para o planejamento agrícola e a tomada de decisões nas operações na agricultura. Essa mesma característica foi observada para o município de Maués, AM (Barbosa *et al.*, 2022).

Tabela 2. Média mensal da temperatura mínima (T_n), máxima (T_x) e média (T_m) do ar, umidade relativa média (UR_m), velocidade do vento diária a 2 metros de altura (U_2), radiação solar global diária (Q_g) e insolação diária (n), referente a estação automática de Presidente Figueiredo, AM.

Meses	T_n	T_x	T_m	UR_m	U_2	Q_g	n
		°C		%	$m s^{-1}$	$MJ m^{-2}$	h
Janeiro	25,73	26,72	26,23	82,38	0,56	12,38	1,95
Fevereiro	25,78	26,82	26,30	82,22	0,69	11,30	1,12
Março	26,10	27,15	26,63	81,92	0,71	12,10	1,77
Abril	25,80	26,79	26,29	84,07	0,53	10,93	1,44
Maio	25,65	26,63	26,14	85,16	0,44	11,34	2,20
Junho	25,61	26,76	26,19	83,01	0,49	13,17	3,66
Julho	25,45	26,65	26,05	81,80	0,49	14,05	3,88
Agosto	25,34	26,68	26,01	74,96	0,62	13,84	3,14
Setembro	26,50	27,80	27,15	78,11	0,54	15,54	3,92
Outubro	26,73	27,96	27,35	78,30	0,54	14,86	3,55
Novembro	26,55	27,69	27,12	80,09	0,53	13,92	3,15
Dezembro	26,05	27,09	26,57	81,90	0,56	13,18	2,67

Fonte: Autor.

Na Tabela 3, apresentam-se as médias diárias da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Presidente Figueiredo, AM, estimadas pelos métodos avaliados, tendo como padrão comparativo a equação FAO 56 Penman-Monteith. Os modelos de Hargreaves-Samani, Makkink e Blaney-Criddle-Frevert subestimaram a ET_o em todos os meses do ano, com diferenças entre os valores médios variando de 1,29 mm d⁻¹ em maio (Hargreaves-Samani) a 2,80 mm d⁻¹ em

setembro (Makkink). Em contraste, Carvalho e Delgado (2016), estudando a ET_o no município de Ariquemes, RO, observaram superestimação da ET_o em uma região com clima tipo Aw, segundo a classificação de Köppen. De maneira semelhante, Araújo, Costa e Santos (2007) verificaram que, para Boa Vista, RR, os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani superestimaram o método padrão, enquanto o método de Makkink subestimou a ET_o durante todo o ano.

Tabela 3. Médias da evapotranspiração de referência (ET_o) estimadas pelos métodos de Penman-Monteith [$ET_{o(P-M)}$], Blaney-Criddle [$ET_{o(B-C)}$], Camargo [$ET_{o(C)}$], Hargreaves-Samani [$ET_{o(H-S)}$], Jensen-Haise [$ET_{o(J-H)}$], Thornthwaite [$ET_{o(T)}$], Makkink [$ET_{o(M)}$], FAO 54 da Radiação [$ET_{o(R)}$] e Blaney-Criddle-Frevert [$ET_{o(B-C-F)}$] para Presidente Figueiredo, AM, 2009 a 2018.

Meses	$ET_{o(P-M)}$	$ET_{o(B-C)}$	$ET_{o(C)}$	$ET_{o(H-S)}$	$ET_{o(J-H)}$	$ET_{o(T)}$	$ET_{o(M)}$	$ET_{o(R)}$	$ET_{o(B-C-F)}$
	mm d^{-1}								
Jan	2,72	2,79	4,81	1,47	3,73	4,50	2,18	3,07	2,07
Fev	2,60	2,91	4,91	1,53	3,42	4,50	1,98	2,80	1,94
Mar	2,73	2,76	4,87	1,52	3,70	4,58	2,14	3,01	2,10
Abr	2,45	2,75	4,54	1,38	3,30	4,46	1,91	2,71	1,89
Mai	2,43	2,80	4,24	1,29	3,41	4,40	1,98	2,80	1,98
Jun	2,73	3,19	4,18	1,37	3,97	4,41	2,32	3,26	2,32
Jul	2,91	3,13	4,34	1,46	4,21	4,37	2,48	3,47	2,39
Ago	3,02	2,99	4,62	1,64	4,14	4,38	2,44	3,42	2,46
Set	3,31	3,35	5,00	1,72	4,83	4,76	2,80	3,89	2,61
Out	3,24	3,19	5,01	1,67	4,65	4,84	2,68	3,74	2,60
Nov	3,05	3,20	4,87	1,57	4,33	4,79	2,49	3,49	2,43
Dez	2,90	2,97	4,76	1,47	4,02	4,62	2,34	3,28	2,24
Média	2,84	3,00	4,68	1,51	3,98	4,55	2,31	3,24	2,25
ME- PM*	-	0,16	1,84	-1,33	1,14	1,71	-0,53	0,40	-0,59

Fonte: Autor. (*) - Diferença entre as médias da evapotranspiração de referência dos métodos empíricos com a média do método padrão da FAO-56.

No boletim 56 da FAO, Allen *et al.* (2006) ressaltam que o modelo de Hargreaves-Samani tende a subestimar os valores de ET_o em condições de vento forte ($U_2 > 3 \text{ m s}^{-1}$) e superestimar em condições de alta umidade relativa do ar. Contudo, em Presidente Figueiredo, onde a velocidade do vento foi sempre inferior a 1 m s^{-1} e a umidade relativa do ar permaneceu acima de 74%, o modelo subestimou a ET_o calculada pelo Penman-Monteith (Figura 1).

Os demais modelos superestimaram a ET_o de Penman-Monteith durante todos os meses do ano, com diferenças entre os valores médios variando de $2,71 \text{ mm d}^{-1}$ em abril (método FAO-24 da Radiação) a $5,01 \text{ mm d}^{-1}$ em outubro (método de Camargo) (Tabela 3, Figura 1). Esses resultados corroboram com os encontrados por Back (2008), Ferraz (2008), Carvalho e Delgado (2016), Souza e Sousa (2020), Ferreira *et al.*

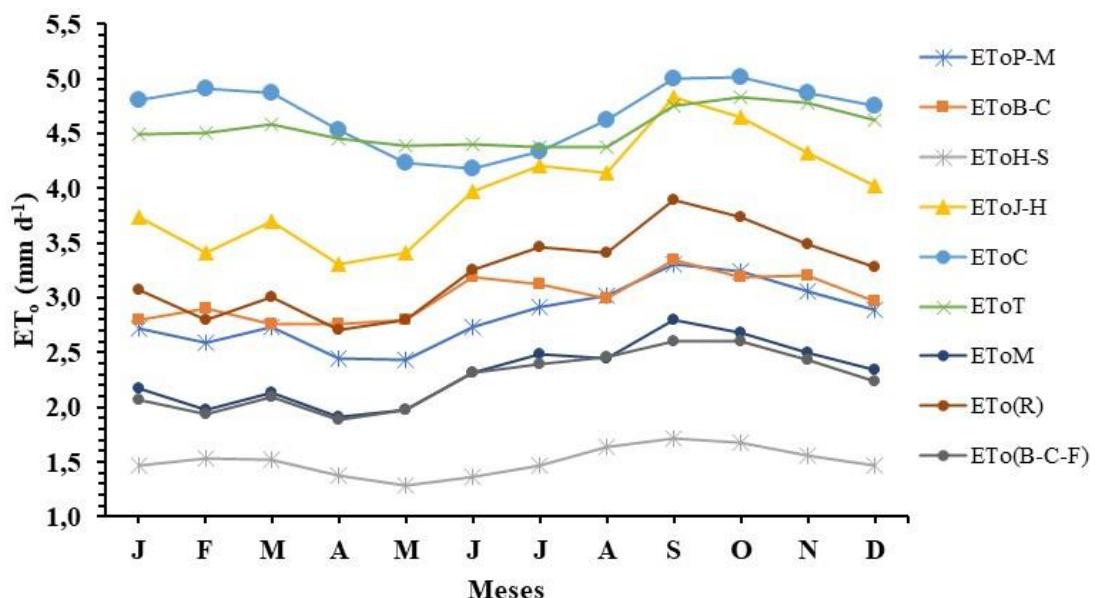
(2020) e Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2022), que também observaram tendência de superestimação da evapotranspiração potencial de referência pelos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Jensen-Haise, Thornthwaite, FAO 54 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert ao longo do ano.

O método de Blaney-Criddle foi desenvolvido na região oeste dos Estados Unidos, uma área semiárida que abrange os estados do Novo México e Texas. Por essa razão, Doorenbos e Pruitt (1984) inseriram um fator de correção que possibilita a aplicação do método em diversas condições climáticas. Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) destacam que os métodos de Blaney-Criddle e Jensen-Haise foram elaborados em regiões semiáridas americanas, o que explica a maior elevação da ET_o observada nesses modelos durante os meses com menor precipitação pluviométrica, em comparação

aos meses mais chuvosos. Esse comportamento também foi verificado nas regiões de Presidente Figueiredo, AM,

Maués, AM (Teixeira Filho; Barbosa; Ferreira, 2022) e Manicoré, AM (Teixeira Filho; Barbosa; Ferreira, 2023).

Figura 1. Valores médios diários para cada mês de ET_o estimado pelos diversos modelos para o município de Presidente Figueiredo – AM

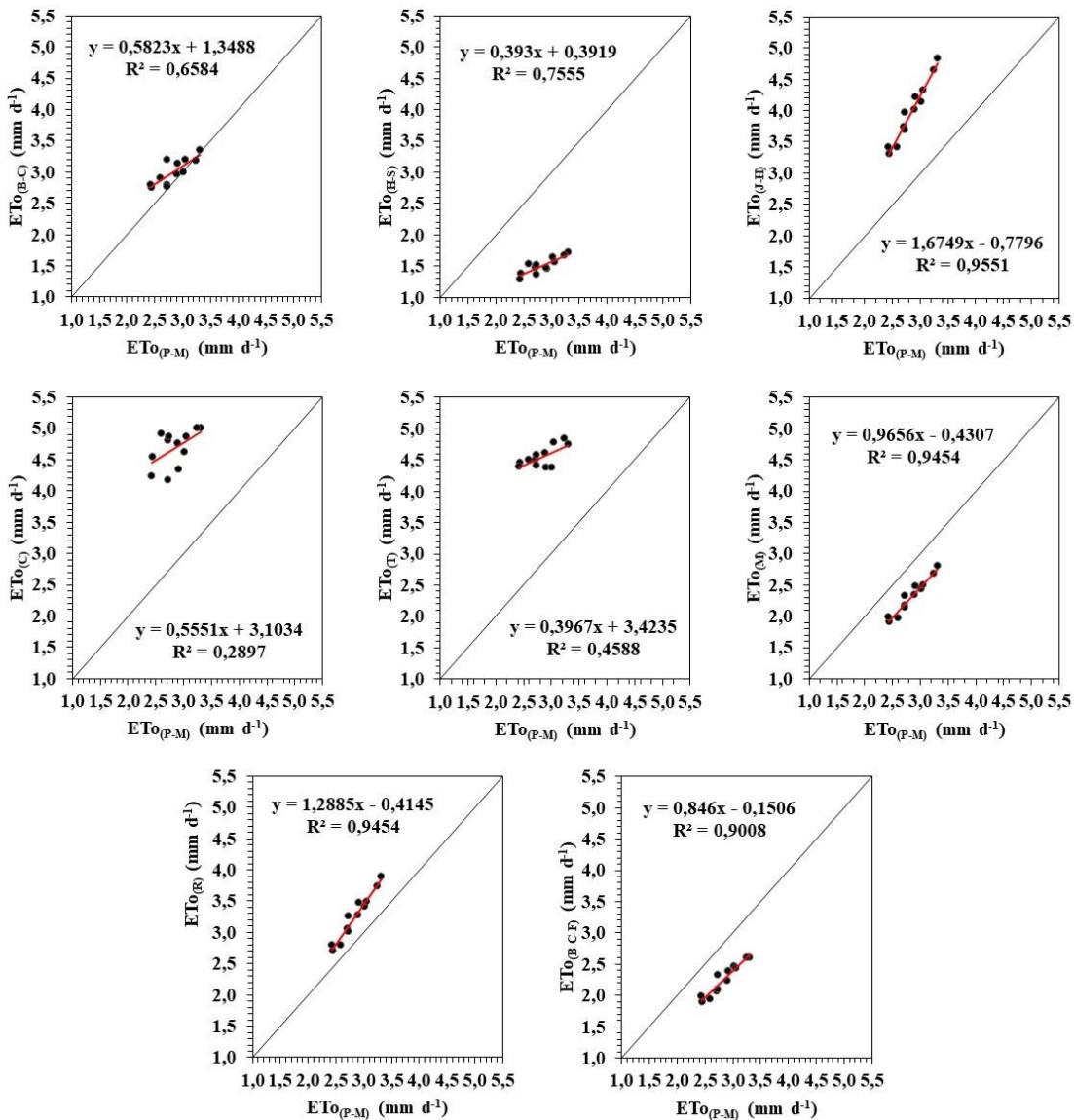


Fonte: Autor.

Na Figura 2, apresentam-se as correlações dos valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), em $mm\ d^{-1}$, estimados pelo método de Penman-Monteith e pelos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO 54 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert. Essa análise permite avaliar os métodos estudados em relação ao método padrão Penman-Monteith FAO 56. Se o método avaliado apresentar resultados semelhantes aos do Penman-Monteith, a linha de regressão deve coincidir com a reta $y = x$. Caso a linha de regressão se afaste dessa reta, significa que o método estudado apresenta diferenças em relação ao padrão.

Dentre os modelos, observa-se que o método de Jensen-Haise (Figura 2) apresentou a melhor correlação para o período estudado ($R^2 = 0,96$), enquanto o modelo de Camargo apresentou a pior correlação ($R^2 = 0,29$), evidenciada pela dispersão dos pontos em relação à linha de regressão. Segundo Sampaio (1998), a ocorrência de um coeficiente de determinação (R^2) baixo torna as estimativas pouco confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada, seja pelo inadequado ajuste do modelo aos dados observados. Isso foi confirmado pelo teste t , que apresentou valor de 1,78, inferior ao t tabelado de 2,23 para 95% de confiança.

Figura 2. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ET_o , mm d⁻¹) estimados pelos métodos de Blaney-Criddle [$ET_{o(B-C)}$], Camargo [$ET_{o(C)}$], Hargreaves-Samani [$ET_{o(H-S)}$], Jensen-Haise [$ET_{o(J-H)}$], Thornthwaite [$ET_{o(T)}$], Makkink [$ET_{o(M)}$], FAO 54 da Radiação [$ET_{o(R)}$] e Blaney-Criddle-Frevert [$ET_{o(B-C-F)}$], com o método padrão, Penman-Monteith [$ET_{o(P-M)}$], Presidente Figueiredo, AM.



Fonte: Autor.

Na Figura 2, o método de Makkink obteve o coeficiente angular mais próximo de 1 (+0,9656), seguido pelos métodos Blaney-Criddle-Frevert (+0,8460), Blaney-Criddle (+0,5823), Camargo (+0,5551), Thornthwaite (+0,3967), Hargreaves-Samani (+0,3930), FAO 54 da Radiação (+1,2885) e Jensen-Haise (+1,6749). Isso indica que a evapotranspiração potencial de referência estimada pelos métodos

empíricos cresce com o aumento da ET_o do método padrão Penman-Monteith FAO 56. Além disso, esses coeficientes mostram que, para cada 1 mm d⁻¹ de água evapotranspirada segundo a série histórica considerada, a ET_o estimada pelos métodos cresce entre 0,3967 mm d⁻¹ e 1,6749 mm d⁻¹, em média. O método Blaney-Criddle-Frevert apresentou o coeficiente linear mais próximo de zero (-0,1506), seguido pelos

métodos FAO 54 da Radiação (-0,4145), Makkink (-0,4307), Jensen-Haise (-0,7796), Hargreaves-Samani (+0,3919), Blaney-Criddle (+1,3488), Camargo (+3,1034) e Thornthwaite (+3,4235).

Os menores valores do erro padrão da estimativa (EPE) foram observados nos métodos de Blaney-Criddle, FAO 54 da Radiação, Makkink e Blaney-Criddle-Frevert, correspondendo a 0,24 mm d⁻¹, 0,44 mm d⁻¹, 0,56 mm d⁻¹ e 0,62 mm d⁻¹, respectivamente, o que confirma a precisão desses modelos em relação ao método padrão de Penman-Monteith. Ao analisar o

erro padrão da estimativa ajustado (EPEA), observa-se que os menores valores foram obtidos pelos modelos de Hargreaves-Samani, Makkink, FAO-24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert, com valores de 0,11 mm d⁻¹, 0,07 mm d⁻¹, 0,09 mm d⁻¹ e 0,08 mm d⁻¹, respectivamente (Tabela 4). Isso confirma que a linha de regressão ajustou-se muito bem aos dados dos modelos investigados, uma vez que os coeficientes de determinação apresentaram valores elevados. Além disso, o erro padrão indica que a variável dependente Y está próxima do seu valor predito.

Tabela 4. Percentagem em relação ao método-padrão (%), erro-padrão de estimativa (EPE), erro-padrão de estimativa ajustado (EPEA), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de desempenho (c) e classificação baseada no coeficiente de desempenho para a cidade de Presidente Figueiredo, AM.

Modelo	%	EPE mm d ⁻¹	EPEA mm d ⁻¹	d	r	R^2	c	Desempenho
Blaney-Criddle	105,72	0,24	0,13	1,00	0,81	0,66	0,81	Muito Bom
Camargo	164,80	1,94	0,26	0,93	0,54	0,29	0,50	Mau
Hargreaves-Samani	53,10	1,40	0,07	0,88	0,87	0,76	0,77	Muito Bom
Jensen-Haise	140,03	1,21	0,11	0,97	0,98	0,96	0,95	Ótimo
Thornthwaite	160,22	1,80	0,13	0,94	0,68	0,46	0,64	Mediano
Makkink	81,40	0,56	0,07	0,99	0,97	0,95	0,96	Ótimo
FAO-24 da Radiação	114,26	0,44	0,09	0,99	0,97	0,95	0,97	Ótimo
Blaney-Criddle-Frevert	79,30	0,62	0,08	0,98	0,95	0,90	0,93	Ótimo

Fonte: Autor.

Analizando os dados da Tabela 4, pode-se verificar que os métodos de Jensen-Haise (c = 0,95), Makkink (c = 0,96), FAO 54 da Radiação (c = 0,97) e Blaney-Criddle-Frevert (c = 0,93) apresentaram índice de desempenho “ótimo”. De forma semelhante, Ferreira *et al.* (2020), ao comparar vários métodos para o município de Parintins, AM, classificaram o modelo Jensen-Haise como “ótimo” (c = 0,85). Isso sugere que a disponibilidade de água para a cultura pode ser mais bem definida pelo intervalo no qual o clima permite à planta manter uma razão de transpiração igual à razão de absorção de água pelas raízes, segundo Penman-Monteith. Enquanto a absorção de água pela

planta for mantida na mesma razão da perda, não haverá déficit hídrico (Visser, 1964). Com o desempenho apresentado, esses modelos poderão ser utilizados na ausência de dados que permitam calcular a ET₀ pelo método de Penman-Monteith.

Os modelos de Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani (Tabela 4) apresentaram desempenho “muito bom”, diferente de Araújo *et al.* (2007), que obtiveram desempenho “ótimo” (c = 0,92) para o modelo de Blaney-Criddle na localidade de Boa Vista – RR. Para a região de Manicoré, AM, Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2023) observaram que o método de Blaney-Criddle (c = 0,51) apresentou desempenho

“sofrível”. Ferreira *et al.* (2020) classificaram o método de Hargreaves como “mau” no município de Parintins, AM, enquanto Barbosa *et al.* (2022) encontraram classificação “ótima” para o município de Maués, AM. Mendoza *et al.* (2016) classificaram as estimativas do método Hargreaves-Samani como “medianas” para a região de São Luís, MA, mas ressaltaram que, entre os métodos que utilizam dados de temperatura, este obteve o melhor desempenho, com $c = 0,64$.

O modelo de Thornthwaite apresentou desempenho “mediano” e o de Camargo, desempenho “mau”. Souza e Sousa (2020) avaliaram o método de Thornthwaite ($c = 0,64$) com desempenho “mediano” e o de Camargo ($c = 0,33$) como “péssimo” para a região de Rio Branco, AC. Segundo Santana *et al.* (2018), esse desempenho insatisfatório pode ser atribuído à simplicidade da equação, que confere menor precisão ao método, devido ao número reduzido de parâmetros de entrada na estimativa da evapotranspiração. Nesse contexto, havendo atraso na absorção de água em relação às perdas, surgirão déficits que podem reduzir, irreversivelmente, a produção potencial das culturas (Vaadia *et al.*, 1961; Kramer, 1963).

6 CONCLUSÕES

Os modelos de Jensen-Haise, Makkink, FAO 54 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert apresentaram melhor ajuste ao método padrão Penman-Monteith FAO 56, com desempenho classificado como “ótimo”, sendo recomendados para aplicação no município de Presidente Figueiredo, AM.

Os modelos de Blaney-Criddle e Hargreaves-Samani apresentaram desempenho “muito bom” e também são recomendados para o município de Presidente Figueiredo, AM.

O modelo de Thornthwaite apresentou desempenho “mediano” e deve ser utilizado apenas após ajustes locais específicos.

O modelo de Camargo apresentou desempenho “mau”, não sendo recomendado devido à baixa exatidão e precisão em relação ao método padrão.

7 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. R. de; ROMANI, L. A. S.; MERLO, T. P.; EVANGELISTA, S. R. M. Avaliação dos impactos do uso do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo). **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 5-19, 2016.
- ALLEN R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. (ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE, 56).
- ARAÚJO, W. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; VENNCIO, J. B. Evapotranspiração de referência diária em boa vista (RR) com base na temperatura do ar. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 155-169, 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v1n01p155. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/444>. Acesso em: 1 out. 2025.

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

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para trópicos. 17. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2013.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008. DOI: 10.15809/irriga.2008v13n4p449-466. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3383>. Acesso em: 1 out. 2025.

BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A.; TEIXEIRA FILHO, A. J.; FERREIRA, J. C. C. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de maués, amazonas. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 79-91, 2022.

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

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2006.

BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. **Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data.** Washington, DC.: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, 1950.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n. 12, p. 163-213, 1962.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1971. (Boletim Técnico, n. 116).

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

CARVALHO, L. G. D.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/12760>. Acesso em: 11 jun. 2021

CARVALHO, R. L. S.; DELGADO, A. R. S. Estimativas da evapotranspiração de referência do município de Ariquemes (RO) utilizando os métodos Penman-Monteith-FAO e Hargreaves-Samani. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 6, p. 1038-1048, 2016. DOI: 10.7127/RBAI.V10N600497. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/497>. Acesso em: 09 mar. 2023.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordestino. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011.

CLIMATE DATA. Clima de Presidente Figueiredo (Brasil). Oedheim: AM Online Projects, 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do>

sul/brasil/amazonas/presidente-figueiredo-43920/. Acesso em: 31 jul. 2023.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. da; AMORIM, A. de O. **Evapotranspiração: uma revisão sobre os métodos empíricos**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. (Documentos, n. 263).

FERRAZ, P. de A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) para Região de Rio Branco - Acre**. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2008.

FERREIRA, J. C. C.; TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Parintins, AM. In: SALES, F. O. (org.). **Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país**. Ponta Grossa: Atena, 2020. c. 7, p. 66-76. DOI: 10.22533/at.ed.0272017127. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/comparacao-entre-metodos-de-estimativa-da-evapotranspiracao-de-referencia-no-municipio-de-parintins-am>. Acesso em: 1 out. 2025.

FREVERT, D. K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 109, n. 2, p. 265-270, 1983.

HARGRAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from

temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v. 1 n. 2, p. 96-99, 1985. DOI: 10.13031/2013.26773.

Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=3&AID=26773&CID=aeaj1985&v=1&i=2&T=1>. Acesso em: 1 out. 2025.

INMET. **Banco de dados meteorológico para ensino e pesquisa de estação convencional de Manicoré/AM**.

Destinatário: Aristóteles de Jesus Teixeira Filho. Itacoatiara, 13 mar. 2023. 1 mensagem eletrônica.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília, DF: Inmet, 2022.

Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais#>. Acesso em: 14 mar. 2023.

JABLOUN, M. de; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia.

Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377408000243?via%3Dihub>. Acesso em: 1 out. 2025.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division Proceedings American Society of Civil Engineers**. Reston, v. 89, p. 15-41, 1963.

KRAMER, P. J. Tension of moisture and plant growth. **Agronomy Journal**, Indiana, v. 55, n. 1, p. 31-35, 1963.

MAKKINK, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **Journal of Irriga**, Botucatu, v. 29, p. 289-305, janeiro-dezembro, 2024

the Institution of Water Engineers, London, v. 11, n. 3, p. 277-288, 1957.

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**, Fortaleza, v. 10, n. 3, p. 621-630, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. Edição Revista e Ampliada. Piracicaba: ESALQ, 2007. (LCE, 306). Disponível em:
http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf. Acesso em: 05 abr. 2023.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 1998.

SMITH, M. **Reporto n the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**: Rome: FAO, 1991.

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**, Rio Branco, v. 2, n. 1, p. 254-267, 2020. Disponível em:
<https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/issue/view/174>. Acesso em: 09 mar. 2023.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Introduction to Econometrics**. 3rd. New York: Addison-Wesley, 2010. (Addison-Wesley Series in Economics).

TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BARBOSA, J. V. G.; FERREIRA, J. C. C. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Maués, AM. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 1, p. 79-91, jan./mar. 2022.

TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BARBOSA, J. V. G.; FERREIRA, J. C. C. Avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Manicoré, AM. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 60-76, jan./mar. 2023.

TURCO, J. E. P.; PERECIN, D.; PINTO JUNIOR, D. L. Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 63-80, jan./mar. 2008.

VAADIA, Y.; RANEY, F. C.; HAGAN, R. M. Plant water deficits and physiological processes. **Annual Review of Plant Physiology**, Davis, v. 12, n. 1, p. 265-292, 1961.

VISSEER, W. E. **Moisture requiremente of crops and rate of moisture depletion of the soil**. Wageningen: Institute for Land and Water Management Research, 1964. (Technical Bulletin, n. 32).

VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V. P.; ANDRE, R. G. B. The Priestley-Taylor parameter for the Amazon forest. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 38, n. 1, p. 211-225, 1991.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparision of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.

WILSON, R. G.; ROUSE, W. R. Moisture and temperature limits of the equilibrium

evapotranspiration model. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 11, n. 11, p. 436-42, 1972.

XU, C.-Y.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany.

Hydrological Processes, Chichester, v. 19, n. 18, p. 3717- 3734, 2005.

YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for

estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 197-202, 2005. DOI: 10.13031/2013.18153. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228646204_Evaluation_of_methods_for_estimating_daily_reference_crop_evapotranspiration_at_a_site_in_the_humid_southeast_United_States. Acesso em: 1 out. 2025.