

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL DE REFERÊNCIA PARA O MUNICÍPIO DE BENJAMIN CONSTANT, AMAZONAS (*)

ARISTÓTELES DE JESUS TEIXEIRA FILHO¹ E AMÓS FELIPE DE FARIA BATISTA BRAGA²

(*) Trabalho retirado do Projeto “Evapotranspiração Potencial no Amazonas”, Iniciação Científica “PIB-A/0008/2022”, Universidade Federal do Amazonas, agosto de 2022/2023.

¹ Professor Associado do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Campus Itacoatiara, Av. Nossa Senhora do Rosário, 3863 - Bairro Tiradentes, Itacoatiara, Amazonas, Brasil, aristoteles@ufam.edu.br

² Estudante do Curso de Agronomia do Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Campus Itacoatiara, Av. Nossa Senhora do Rosário, 3863 - Bairro Tiradentes, Itacoatiara, Amazonas, Brasil, fariafelipe964@gmail.com

1 RESUMO

A disponibilidade de água para uma cultura pode ser melhor definida pelo intervalo em que o clima permitirá à planta manter uma razão de transpiração igual à razão de absorção de água pelas raízes. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho dos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração de referência de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO 24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert em comparação com o método padrão de Penman-Monteith. Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos na estação meteorológica convencional de Benjamin Constant do Instituto Nacional de Meteorologia, compreendendo dados mensais da normal provisória de 10 anos. Os indicadores estatísticos utilizados foram: coeficiente de correlação, coeficiente de determinação, índice de exatidão e o coeficiente de segurança ou desempenho. Os métodos ajustados ao método padrão de Penman-Monteith com desempenho “ótimo” foram Makkink, FAO 24 da Radiação, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle-Frevert e Blaney-Criddle, recomendados para o município de Benjamin Constant, AM. O modelo de Camargo apresentou desempenho “sofrível”, podendo ser recomendado após ajustes locais. Enquanto o modelo de Thornthwaite apresentou desempenho “mau”, não podendo ser recomendado em razão da baixa exatidão e precisão em relação ao método padrão.

Palavras-chave: Penman-Monteith, planejamento agrícola, tomada de decisão.

**TEIXEIRA FILHO, A. de J.; BRAGA, A. F. DE F. B.
PERFORMANCE EVALUATION OF REFERENCE POTENTIAL
EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION METHODS FOR THE CITY OF
BENJAMIN CONSTANT, AMAZONAS**

2 ABSTRACT

Water availability for a crop can be best defined by the range in which the climate allows the plant to maintain a transpiration rate equal to the rate of water absorption by the roots. Thus, the objective was to evaluate the performance of the indirect reference evapotranspiration estimation methods of Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO 24 of Radiation, and Blaney-Criddle-Frevert in comparison with the standard Penman-Monteith method. The meteorological data used were obtained from the Benjamin Constant conventional meteorological station of the National Institute of Meteorology, comprising monthly data from the 10-year provisional normal. The statistical indicators used were the correlation coefficient, determination coefficient, accuracy index, and safety or performance coefficient. The methods adjusted to the Penman-Monteith standard method with “optimal” performance were Makkink, FAO 54 of the Radiation, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle-Frevert and Blaney-Criddle, recommended for the municipality of Benjamin Constant, AM. The Camargo model presented “sufferable” performance and can be recommended after local adjustments. The Thornthwaite model presented “poor” performance and cannot be recommended because of its low accuracy and precision compared with those of the standard method.

Keywords: Penman-Monteith, agricultural planning, decision making.

3 INTRODUÇÃO

A taxa nas quais as transferências de moléculas se dão do líquido para vapor, e de vapor para líquido, dependem da concentração de vapor de água na atmosfera em contato com a superfície líquida. Uma atmosfera em equilíbrio com a superfície da água é considerada saturada de vapor de água. A pressão do vapor do ar em equilíbrio com a superfície de água depende da pressão e da temperatura do sistema. De maneira geral, pode-se dizer que em condições normais de pressão o ar pode reter tanto mais vapor quanto maior for sua temperatura (REICHARDT; TIMM, 2004). Assim, é possível utilização desses conceitos no planejamento e exploração de cultivos agrícolas, sobretudo em áreas de sequeiro, onde há maior demanda da atmosfera, também na previsão de secas e de cheias.

A quantidade de água perdida por evapotranspiração é a quantidade que deve ser repostas no solo pelo processo de irrigação, na falta de chuva. Daí a importância de sua determinação. Ela pode ser medida

diretamente no solo ou indiretamente na atmosfera. Dessa forma, medidas indiretas realizadas na atmosfera envolvem, geralmente fórmulas empíricas que relacionam a evapotranspiração com a radiação solar disponível, umidade relativa e temperatura do ar e vento (REICHARDT, 1978).

Modernamente, as interrelações solo-água-planta e atmosfera estão sendo abordadas do ponto de vista de um contínuo físico no qual o escoamento se dá do mais alto para o mais baixo potencial. Devido à variabilidade de potencial que se verifica, principalmente no solo, o regime de evapotranspiração apresenta, também, extrema variabilidade, daí a introdução da evapotranspiração potencial que se verifica quando o solo possui alto conteúdo de umidade e as plantas que neve vegetam apresentam ótimo desenvolvimento vegetativo (SILVA; DUARTE, 1980).

A disponibilidade de água para uma cultura pode ser melhor definida pelo intervalo no qual o clima permitirá à planta, manter uma razão de transpiração igual a

razão de absorção de água pelas raízes (VISSER, 1964). Neste caso, não haverá déficit hídrico, desde que a cultura explorada seja mantida na sua capacidade potencial, algo que na prática não ocorre nas condições normais da atmosfera. A relação solo-atmosfera requer fluxos evaporativos constantes para manter sua umidade. Ademais, Vaadia *et al.* (1961) e Kramer (1963) informam que enquanto a absorção de água pela planta for mantida na mesma razão da perda, não haverá déficit. Entretanto, havendo um atraso na absorção em relação as perdas, surgirão déficits que podem reduzir, irreversivelmente, a produção potencial das culturas.

A finalidade precípua da irrigação é impedir que as plantas cultivadas sofram déficits de água (SCALOPPI; VILLA NOVA; SALATI, 1978). A modelagem da evapotranspiração, de forma regionalizada, pode possibilitar o uso de equações mais robustas que possam atender à realidade dos produtores rurais, bem como minimizar os déficits hídricos das culturas agrícolas nas horas mais quentes do dia.

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) informam que há vários métodos para determinação da evapotranspiração, sendo que, em sua maioria, estimam a evapotranspiração potencial (ETp), ou seja, a que ocorre quando não há deficiência de água no solo que limite seu uso pelas plantas. Como a ETp varia de cultura para cultura, como é de se esperar, em razão de suas características intrínsecas. Isto levou a necessidade de defini-la para uma cultura de referência (ETo), como a evapotranspiração de uma cultura hipotética, como a grama batatais, que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional (ótimas condições de desenvolvimento), com altura média de 0,12m, albedo de 0,23 e resistência da superfície de 70 s m^{-1} .

Dessa forma, apesar da existência de diversos modelos para estimar a evapotranspiração potencial de referência,

eles são frequentemente utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos. Por isso, é de extrema importância avaliar o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los em novas condições (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

A estimativa precisa da ETo é essencial para o cálculo das necessidades de água de uma cultura, para a programação das necessidades de irrigação e para a gestão sustentável dos recursos hídricos (BARBOSA *et al.*, 2022). Nesse contexto, determinar a necessidade de água de uma cultura é crucial para o planejamento e manejo de áreas irrigadas e para a previsão da produção agrícola (FERREIRA *et al.*, 2020).

Uma maneira frequentemente utilizada para verificar a eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência é por meio da comparação com o método de Penman-Monteith, parametrizado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) (TURCO; PERECIN; PINTO JÚNIOR, 2008).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a FAO consideram o método de Penman-Monteith como o padrão para cálculo da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos (ALLEN; PEREIRA; RAES, 1998; SMITH, 1991). Todavia, sua utilização é bastante limitada pela exigência de muitos dados que não podem ser prontamente obtidos. Como alternativa, particularmente em países em desenvolvimento nos trópicos, utiliza-se equações com menor número de variáveis, como as de Blaney-Criddle, Hargreaves, Camargo e Jensen-Haise (AYOADE, 2013).

Segundo Munhoz *et al.* (2012), foi encontrado apenas um trabalho que trata da evapotranspiração de referência para a Região Norte do Brasil, sendo contabilizado juntamente com a Região Nordeste. Recentemente, tem-se observado um

número maior de artigos publicados no Estado do Amazonas (BARBOSA *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2020). Visando contribuir com a produção de dados de evapotranspiração para a Região Norte, e sabendo da importância do tema e de sua aplicação, esta investigação teve como objetivo avaliar o desempenho dos métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração de referência de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO 24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert em comparação com o método padrão de Penman-Monteith FAO.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida a partir de dados oriundos da estação meteorológica convencional de uma normal provisória de 2008 a 2017, obtidas do Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) para a localidade de Benjamin Constant, AM (Organização Meteorológica Mundial - OMM: 82410), latitude 4,378611° Sul e longitude 70,03° Oeste, a 78,41 metros de altitude.

De acordo com Köppen e Geiger, a classificação do clima de Benjamin Constant, AM, é do tipo tropical, "Af", com uma pluviosidade significativa ao longo do ano, média de 2.876 mm e temperatura média anual de 25,5 °C (CLIMATE-DATA.ORG, 2023).

As variáveis meteorológicas consideradas nesta investigação foram: temperaturas do ar (bulbo seco e bulbo úmido, máxima, mínima e média compensada); umidade relativa do ar (mínima e média compensada); pressão atmosférica; insolação (ALLEN; PEREIRA; RAES, 1998); fotoperíodo e velocidade do vento. Elas foram utilizadas no cálculo das estimativas da ETo diária pelo método

padrão FAO - 56 Penman-Monteith e pelos métodos a ele comparados, os quais foram: Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO-24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert. Os valores para essas variáveis foram tabulados utilizando-se planilhas do Microsoft Excel.

A estimativa da ET_o diária pelo método da FAO-56 (Penman-Monteith) foi computada conforme a Equação 1 (ALLEN; PEREIRA; RAES, 1998).

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

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); R_n é a 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_{mc} é a temperatura média compensada do ar (°C); 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 calculada conforme a Equação 2 de Tetens (1930), considerando a temperatura do ar (T_{ar}) igual à temperatura do termômetro de bulbo seco (T_s). De forma semelhante, utilizou-se a temperatura do termômetro de bulbo úmido (T_u) para a determinação da "e_{su}". A pressão de vapor atual (e_a) foi obtida aplicando-se a Equação 3.

$$e_s = 0,6108 * EXP\left(\frac{17,27 * T_{ar}}{237,3 + T_{ar}}\right) \quad (2)$$

$$e_a = e_{su} - A P (T_s - T_u) \quad (3)$$

Em que: A = 0,00080 °C⁻¹ para psicômetros não ventilados; A = 0,00067 °C⁻¹ para psicômetros com ventilação

forçada e P é a pressão atmosférica local (kPa).

A declividade de curva de pressão de vapor de saturação foi calculada conforme a Equação 4.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 * e^{\left(\frac{17,27 * T_{mc}}{237,3 + T_{mc}} \right)} \right]}{(T_{mc} + 237,3)^2} \quad (4)$$

Em que: T_{mc} = temperatura do ar média compensada a 2 m de altura, em °C.

A constante psicrométrica foi estimada a partir das Equações 5 e 6 e quando não foi possível seu cálculo, adotou-se o valor tabelado.

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\varepsilon * \lambda} = 0,665 * 10^{-3} * P \quad (5)$$

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 * Z}{293} \right)^{5,26} \quad (6)$$

Em que: C_p é o calor específico a pressão constante, $1,013 \times 10^{-3}$ (MJ kg⁻¹ °C⁻¹); 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, ele foi calculado aplicando-se a Equação 7.

$$G_{mês,i} = 0,14 (T_{mês,i} - T_{mês,i-1}) \quad (7)$$

Em que: $T_{mês,i}$ 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).

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}). Seu cálculo envolveu o uso das Equações 8 a 16.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (8)$$

$$R_{ns} = (1 - 0,23) * Q_g \quad (9)$$

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{x,k^4} + T_{n,k^4}}{2} \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{Q_g}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (10)$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} * Z) Q_o \quad (11)$$

$$Q_o = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r (\omega_s \text{ sen } \varphi \text{ sen } \delta + \cos \varphi \cos \delta \text{ sen } \omega_s) \quad (12)$$

$$Q_g = Q_o \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right] \quad (13)$$

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

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

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

Em que: Q_g é a radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹); coeficientes $a = 0,25$ e $b = 0,50$ (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006); Q_o a é a radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); G_{sc} é a constante, 0,0820 (MJ 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 dia⁻¹); Z é a altitude do local (m); d_r 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) foi calculada conforme a Equação 17 (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

$$ET_o = (0,457 * T_{mc} + 8,13) * p * c \quad (17)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês⁻¹); T_{mc} é a temperatura média compensada do ar (°C); “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).

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

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_{mc} é a temperatura média compensada do ar (°C); Q_o é a radiação no topo da atmosfera (MJ m⁻² dia⁻¹); T_x é a temperatura máxima do ar (°C); e T_n é a temperatura mínima do ar (°C).

A estimativa da ET_o diária pelo método de Jensen e Haise (1963) foi obtida pela Equação 20 (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

$$ET_o = R_s(0,0252 * T_{mc} + 0,078) \quad (20)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência (mm mês⁻¹); Q_g é a radiação solar global (mm d⁻¹); e T_{mc} é a temperatura média do ar (°C).

A estimativa da ET_o diária pelo método de Camargo (1971) foi calculada conforme a Equação 18 (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007).

$$ET_o = Q_o * T_{mc} * k_f * ND \quad (18)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); Q_o é a radiação solar extraterrestre (mm d⁻¹ de evapotranspiração equivalente); T_{mc} é a temperatura média compensada do ar (°C); k_f é o fator de ajuste que varia com a média da temperatura anual local ($k_f = 0,01$ para $T < 23$ °C; $k_f = 0,0105$, para $T = 24$ °C; $k_f = 0,011$ para $T = 25$ °C; $k_f = 0,0115$ para $T = 26$ °C; e $k_f = 0,012$ para $T > 26$ °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.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Thornthwaite (1948) foi obtida conforme a 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 conforme Equação 23 (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997; TURCO; PERECIN; PINTO JR, 2008).

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

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência ($mm\ d^{-1}$); Q_g é a radiação solar global medida ou estimada, $mm\ d^{-1}$; e 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 FAO-24 da radiação, adaptado por Doorenbos e Pruitt (1977) e Doorenbos e Kassam (1994) no método de Makkink (1957), foi calculada conforme a Equação 24.

$$ET_o = c W Q_g \quad (24)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração potencial de referência ($mm\ d^{-1}$); c é o parâmetro que é função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento; W é definido no método de Makkink.

A estimativa da ET_o diária pelo método de Blaney e Criddle (1950), adaptado por Frevert, Hill e Braaten (1983), referente ao método de Blaney-Criddle-Frevert, foi calculada conforme a Equação 25 (FERNANDES *et al.*, 2010).

$$ET_o = a + b * p(0,457 * T_{mc} + 8,13) \quad (25)$$

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_{mc} é a temperatura média do ar (°C).

As estimativas de ET_o foram analisados por regressão linear (Equações 26 a 30), 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, e como variável independente (X) os valores de ET_o estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56.

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

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

$$\beta_0 = Y - \beta_1 X \quad (27)$$

$$\beta_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (28)$$

$$S_{xy} = \sum(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y}) \quad (29)$$

$$S_{xx} = \sum(X_i - \bar{X})^2 \quad (30)$$

Em que: S_{xx} é a soma de quadrado da variável independente (modelo padrão FAO - 56 Penman-Monteith); e S_{xy} é a soma dos produtos dos modelos envolvidos na análise; X_t é o valor da variável independente; \bar{X} é a média da variável independente; Y_t é o valor da variável dependente (modelos em comparação); e \bar{Y} é a média da variável do modelo comparado.

Por meio da Equação 31, calculou-se a correlação entre o método de Penman-Monteith-FAO 56 e os métodos empíricos, observando-se o coeficiente de correlação (r). Esse coeficiente está associado ao desvio entre os valores estimados e medidos, indicando o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média.

$$r = \frac{\sqrt{[\sum(X_i - X_m)(Y_i - Y_m)]^2}}{\sqrt{\sum(X_i - X_m)^2 \sum(Y_i - Y_m)^2}} \quad (31)$$

Em que: X_i é o valor estimado pelo método Penman-Monteith FAO 56; X_m é a média do método de Penman-Monteith FAO 56; Y_i é o valor estimado pelo método avaliado; e 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 32),

que varia 0 a 1 (WILLMOTT; CKLESON; DAVIS, 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(|Y_i - X_m| + |X_i - X_m|)^2} \right] \quad (32)$$

O coeficiente de segurança ou desempenho “c” (Tabela 1), foi calculado pelo produto de r e d ($c = r \cdot d$) (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 33. O erro padrão da estimativa ajustado (EPEA) da regressão foi calculado conforme a equação 34 e por meio da relação dos valores médios, expressa em porcentagem (Equação 35). 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, medem o quão distante a variável dependente Y está do seu valor predito (STOCK; WATSON, 2010).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(X_i - Y_i)^2}{n-1}} \quad (33)$$

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(Y_i - \hat{Y})^2}{n-2}} \quad (34)$$

$$\% = \left(\frac{Y_i}{X_i} \right) * 100 \quad (35)$$

Em que: X_i é a estimativa da ET_o pelo modelo padrão Penman-Monteith FAO 56;

Y_i é a estimativa da ET_o obtida por cada um dos modelos avaliados; e n é o número de observações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na região Norte, há poucos estudos sobre a evapotranspiração potencial de referência. Cientes de que há uma quantidade insuficiente de Informações das variáveis meteorológicas locais e da relevância dessas informações para os planejamentos agrônômicos e agrícolas na cidade de Benjamin Constant, AM, elaborou-se uma Normal Provisória com dados históricos recentes (2008-2017), que inclui temperatura do ar (mínima, máxima e média compensada), umidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 metros de altura da superfície local, radiação solar global e insolação (Tabela 2).

Tabela 2. Normal provisória de 2008 a 2017 do município de Benjamin Constant, AM

Meses	T_n	T_x	T_{mc}	UR_{mc}	U_2	Q_g	n
	°C			%	$m\ s^{-1}$	$MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$	h
Jan.	22,75	31,16	26,11	89,78	0,45	15,04	3,52
Fev.	22,75	31,30	26,22	89,59	0,48	14,82	3,29
Mar.	22,68	31,74	26,35	89,52	0,45	15,03	3,70
Abr.	22,75	31,89	26,46	89,53	0,46	14,89	4,28
Mai.	22,72	31,65	26,32	89,87	0,47	13,79	4,21
Jun.	22,14	31,43	25,89	89,81	0,51	12,87	3,69
Jul.	21,53	31,69	25,70	88,56	0,50	15,91	5,39
Ago.	21,77	32,80	26,25	87,20	0,47	18,40	6,27
Set.	22,16	33,16	26,63	85,73	0,53	18,97	6,10
Out.	22,69	32,75	26,73	86,58	0,50	16,94	4,77
Nov.	22,97	32,56	26,88	87,20	0,55	16,95	4,95
Dez.	22,93	31,86	26,44	88,58	0,45	14,38	3,28

Fonte: Autores (2024). Média mensal da temperatura mínima (T_n), máxima (T_x) e média compensada (T_{mc}), umidade relativa média compensada (UR_{mc}), velocidade do vento (U_2), radiação solar global (Q_g) e insolação (n).

Na normal provisória (Tabela 2), verifica-se que a temperatura do ar variou, com mínima oscilando entre 21,53°C (julho) e 22,97 °C (novembro); a máxima entre 31,16 °C (janeiro) e 33,16 °C (setembro) e a média compensada entre 25,70 °C (julho) e 26,88 °C (novembro). A menor amplitude total foi observada na temperatura média compensada (1,18 °C). Diferente do encontrado no presente estudo para o município de Benjamin Constant, Am, tanto Barbosa *et al.* (2022) como Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2023), ao desenvolverem estudos em municípios amazonenses, constataram menor amplitude total na temperatura mínima, cujos valores foram iguais a 0,94 °C e 1,51 °C, respectivamente.

A umidade relativa do ar média, manteve-se acima de 85,73 % no mês de setembro (Tabela 2), mesmo no verão amazônico, o que demonstra que a atmosfera local tinha bastante umidade, e certamente, nesta condição a demanda por água era menor, o que culminaria com menor demanda de evapotranspiração potencial.

A perda de água para a atmosfera pode ser potencializada pela velocidade do vento, o que levaria ao aumento das taxas de evapotranspiração, contudo, a velocidade do

vento a dois metros de altura não atingiu 1,0 $m\ s^{-1}$, sendo sua velocidade máxima, registrada em março, igual a 0,55 $m\ s^{-1}$ (1,98 $km\ h^{-1}$). Já a mínima, igual a 0,45 $m\ s^{-1}$ (1,62 $km\ h^{-1}$), se repetiu nos meses de janeiro, março e dezembro. Nota-se que esse parâmetro teve pouca oscilação ao longo do ano (Tabela 2). Os valores mínimo e máximo se enquadram na escala de Beaufort como ventos de força 0 e 1, respectivamente, designados, nessa ordem, calmaria e bafagem. De acordo com Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2023), essas categorias de vento podem favorecer as atividades de planejamento agrícola na região, bem como a tomada de decisão nas operações a serem realizadas na agricultura.

A quantidade de água evapotranspirada depende principalmente da planta, do solo e do clima, sendo este último fator predominante sobre os demais, de modo que a quantidade de água requerida por uma cultura varia com a extensão da área coberta pelo vegetal e com as estações do ano (Bernardo; Soares e Mantovani, 2006). Neste sentido, na Tabela 3 constam as médias diárias da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Benjamin Constant, AM, de cada método

avaliado em comparação com o método da FAO 56 Penman-Monteith.

Tabela 3. Variação da evapotranspiração potencial de referência média diária (ET_o , mm d⁻¹) para o município de Benjamin Constant, AM

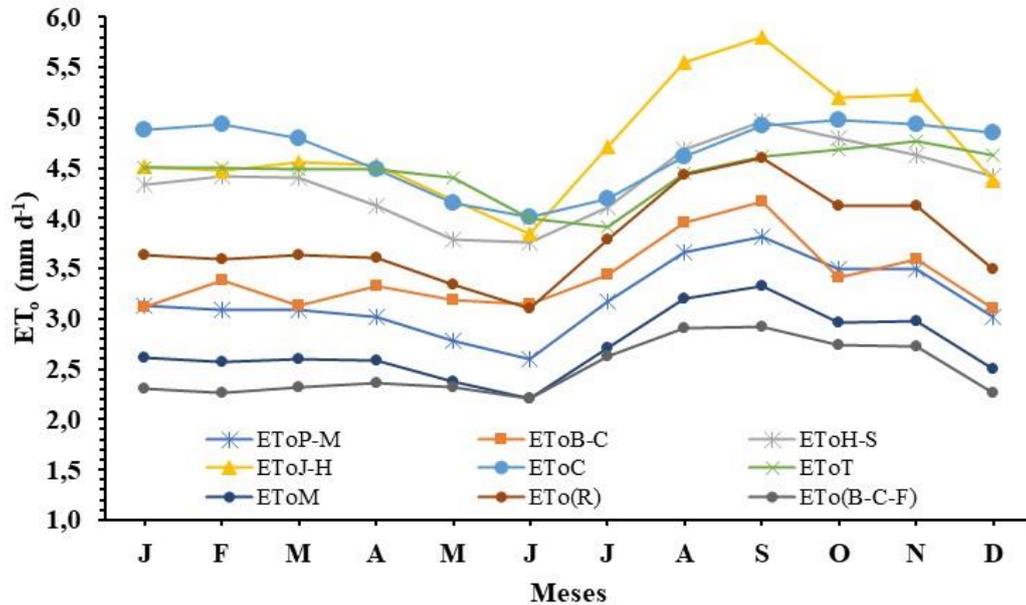
Meses	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F	J	F	Média	ME-PM*
$ET_{o(P-M)}$	3,13	3,08	3,09	3,02	2,78	2,60	3,17	3,66	3,82	3,50	3,49	3,02	3,20	-
$ET_{o(B-C)}$	3,12	3,39	3,12	3,33	3,18	3,15	3,43	3,96	4,17	3,41	3,58	3,10	3,41	0,21
$ET_{o(H-S)}$	4,34	4,41	4,40	4,13	3,78	3,76	4,11	4,69	4,96	4,79	4,63	4,42	4,37	1,17
$ET_{o(J-H)}$	4,52	4,47	4,55	4,53	4,17	3,84	4,71	5,56	5,80	5,20	5,23	4,37	4,74	1,55
$ET_{o(C)}$	4,88	4,93	4,79	4,48	4,15	4,01	4,19	4,61	4,92	4,97	4,94	4,85	4,64	1,45
$ET_{o(T)}$	4,49	4,49	4,49	4,48	4,41	4,00	3,92	4,44	4,61	4,68	4,76	4,63	4,45	1,25
$ET_{o(M)}$	2,61	2,57	2,60	2,59	2,38	2,20	2,71	3,20	3,33	2,97	2,97	2,49	2,72	-
$ET_{o(R)}$	3,64	3,58	3,64	3,61	3,34	3,10	3,78	4,43	4,60	4,12	4,12	3,49	3,79	0,59
ET_o (B-C-F)	2,31	2,26	2,26	2,36	2,32	2,21	2,62	2,91	2,92	2,74	2,73	2,27	2,49	-
														0,71

Fonte: Autores (2024). (*) - Diferença entre as médias da evapotranspiração de referência dos métodos empíricos com a média do método padrão da FAO-56. 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 [$ET_{o(T)}$], Thornthwaite-Camargo [$ET_{o(T-C)}$], Makkink [$ET_{o(M)}$], FAO 24 da Radiação [$ET_{o(R)}$] e Blaney-Criddle-Frevest [$ET_{o(B-C-F)}$].

Os modelos de Makkink e Blaney-Criddle-Frevest (Tabela 3, Figura 1) subestimaram a ET_o durante todos os meses do ano, com diferenças entre os valores médios de ET_o variando entre -0,40 e -0,49 mm d⁻¹ no método de Makkink e entre -0,40 e -0,90 no método Blaney-Criddle-Frevest.

Corroborando com esta investigação, Araújo, Costa e Santos (2007) verificaram para o Boa Vista, RR, uma subestimação, em todos os meses do ano, da evapotranspiração calculada pelo método padrão de Penman-Monteith.

Figura 1. Variação da evapotranspiração de potencial de referência média diária (ET_o , $mm\ d^{-1}$) para o município de Benjamin Constant, AM.



Fonte: 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 [$ET_{o(T)}$], Thornthwaite-Camargo [$ET_{o(T-C)}$], Makkink [$ET_{o(M)}$], FAO 24 da Radiação [$ET_{o(R)}$] e Blaney-Criddle-Frevest [$ET_{o(B-C-F)}$].

A superestimativa da ET_o foi verificada nos modelos de Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Camargo, Thornthwaite e FAO 24 da Radiação em relação ao modelo de Penman-Monteith em todos os meses do ano, cujas diferenças entre os valores médios (mínimo e máximo) variaram entre 1,16 e 1,14 $mm\ d^{-1}$; 1,23 e 1,98 $mm\ d^{-1}$; 1,41 e 1,15 $mm\ d^{-1}$; 1,31 e 0,94 $mm\ d^{-1}$; 0,50 e 0,78 $mm\ d^{-1}$, respectivamente. Para o método de Blaney-Criddle, observou-se a superestimativa da ET_o nos meses fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, setembro, novembro e dezembro, que variou entre 0,50 e 0,35 $mm\ d^{-1}$. E duas subestimativas foram observadas para os meses de janeiro, igual a -0,01 $mm\ d^{-1}$ e outubro, igual a -0,09 $mm\ d^{-1}$ (Tabela 3, Figura 1).

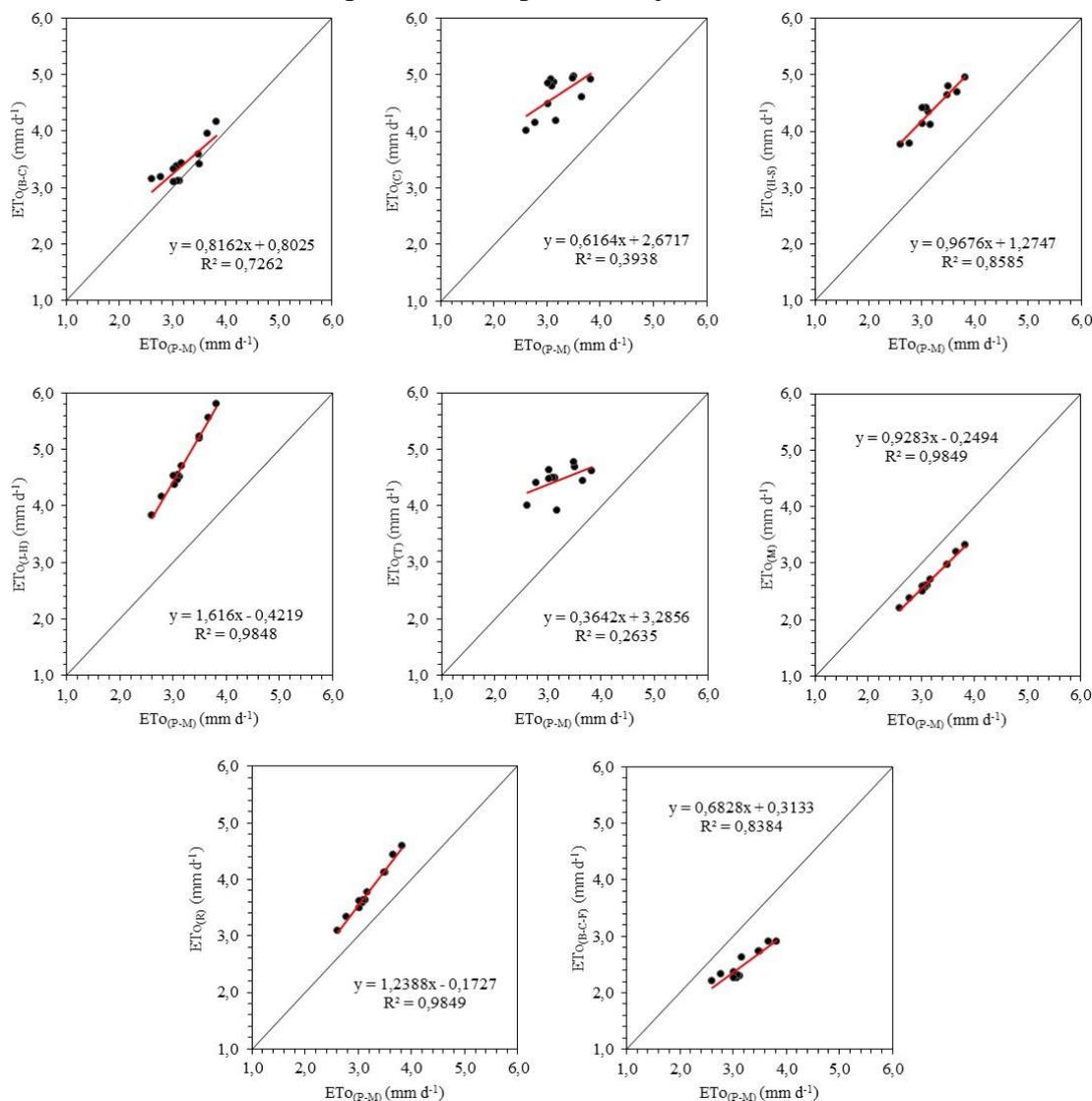
Nos estudos desenvolvidos por Barbosa *et al.* (2022), Carvalho e Delgado (2016), Ferraz (2008), Ferreira *et al.* (2020) e Souza e Sousa (2020) em municípios da Região Norte, também foi observada tendência de superestimação da

evapotranspiração potencial de referência pelos métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Jensen-Haise, Thornthwaite e FAO 24 da Radiação durante todos os meses do ano. Isto pressupõe uma tendência no comportamento destes modelos ajustados a Penman-Monteith em regiões cujo clima é classificado no grupo A segundo a classificação Climática de Köppen, o qual caracteriza áreas com clima megatérmico, tropical chuvoso, que apresentam precipitação média anual acima de 700 mm e temperatura média no mês mais frio superior a 18 °C (ALMEIDA, 2016).

A correlação mede o grau de relacionamento entre duas variáveis, tendo como resultado uma equação matemática que poderá ser adotada ou rejeitada, caso o ajuste não seja recomendado. Assim, a existência ou não, de uma relação funcional foi medida entre os valores médios mensais da ET_o estimados pelo método Penman-Monteith-FAO 56 e os métodos de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO

24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert (Figura 2).

Figura 2. Regressão linear entre os valores de evapotranspiração potencial de referência média diária (ET_o , $mm\ d^{-1}$) para o município de Benjamin Constant, AM



Fonte: Autores (2024). Modelos: Blaney-Criddle [$ET_o(B-C)$], Camargo [$ET_o(C)$], Hargreaves-Samani [$ET_o(H-S)$], Jensen-Haise [$ET_o(J-H)$], Thornthwaite [$ET_o(T)$], Thornthwaite-Camargo [$ET_o(T-C)$], Makkink [$ET_o(M)$], FAO 24 da Radiação [$ET_o(R)$] e Blaney-Criddle-Frevert [$ET_o(B-C-F)$] e o método padrão Penman-Monteith [$ET_o(P-M)$].

Na relação funcional, interessa a função que explique grande parte da variação de Blaney-Criddle, Camargo, Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Thornthwaite, Makkink, FAO 24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert em relação a método padrão de Penman-Monteith. Contudo, uma parcela da

variabilidade dos modelos não explicada pelo método padrão será atribuída ao acaso, ou seja, ao erro aleatório.

Dos modelos avaliados, Jensen-Haise, Makkink e FAO 24 da Radiação (Figura 2) apresentaram as melhores correlações para o período estudado ($R^2 = 0,98$) e a pior correlação ($R^2 = 0,26$) foi de

Thornthwaite, o qual apresentou pares de pontos dispersos da linha de regressão (Figura 2).

O modelo de Thornthwaite apresentou um valor observado do teste de “t” de 1,68, que foi menor que o valor crítico de “t” para 10 graus de liberdade, de 2,23, a 95% de confiança. Assim, a hipótese nula é mantida, ou seja, não há evidências que o modelo de Penman-Monteith FAO 56 afete o comportamento do modelo de Thornthwaite. De fato, o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,26$) foi baixo (Figura 2). A ocorrência de um coeficiente de determinação (R^2) reduzido faz com que as estimativas propostas não sejam confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada, seja pelo fato de o modelo testado não estar adequado à dispersão dos resultados observados (SAMPAIO, 1998). Além disso, apesar do uso desse método ser considerado para regiões úmidas, o fato de ele se basear apenas na temperatura pode levar a resultados errôneos, pois a temperatura não é um bom indicador da energia disponível para a evapotranspiração (PORTO, 1986).

O método de Hargreaves-Samani (Figura 2) apresentou coeficiente angular da equação de regressão (+0,9676) mais

próximo de 1, sendo seguido pelos métodos de Makkink (+0,9283), Blaney-Criddle (+0,8162), FAO 24 da Radiação (+1,2388), Blaney-Criddle-Frevert (+0,6826), Camargo (+0,6164), Jensen-Haise (+1,6160) e Thornthwaite (+0,3642) (Figura 2). Esses coeficientes mostram que para cada 1 mm d⁻¹ de água evapotranspirada, no intervalo da série histórica considerada, a ET_o cresce em média 0,3642 mm d⁻¹ e 1,6160 mm d⁻¹.

O coeficiente linear da reta é o ponto em que a reta intercepta o eixo y, então quando x=0, y = n. Dos coeficientes obtidos, o mais próximo de zero foi observado no modelo da FAO 24 da Radiação (-0,1727), seguido pelos modelos Makkink (-0,2494), Blaney-Criddle-Frevert (-0,3133), Jensen-Haise (-0,4219), Blaney-Criddle (+0,8025), Hargreaves-Samani (+1,2747), Camargo (+2,6710) e Thornthwaite (+3,2856) (Figura 2).

Na Tabela 4, observa-se que o erro padrão da estimativa variou entre 0,29 e 1,63 mm d⁻¹, com os modelos Blaney-Criddle, Makkink, FAO 24 da Radiação e Blaney-Criddle-Frevert apresentando os menores valores, o que demonstra a precisão desses em relação aos valores de ET_o obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith.

Tabela 4. Coeficientes estatísticos analisados para o município de Benjamin Constant, AM

Modelos	%	EPE mm d ⁻¹	EPEA	d	r	R ²	c	Desempenho
Blaney-Criddle	106,72	0,29	0,19	1,00	0,85	0,73	0,85	Ótimo
Camargo	145,22	1,54	0,29	0,96	0,63	0,39	0,60	Sofrível
Hargreaves-Samani	136,63	1,23	0,15	0,97	0,93	0,86	0,90	Ótimo
Jensen-Haise	148,41	1,63	0,08	0,96	0,99	0,98	0,95	Ótimo
Thornthwaite	139,20	1,35	0,23	0,97	0,51	0,26	0,50	Mau
Makkink	85,03	0,50	0,04	0,99	0,99	0,98	0,98	Ótimo
FAO-24 da Radiação	118,48	0,63	0,06	0,99	0,99	0,98	0,98	Ótimo
Blaney-Criddle-Frevert	78,09	0,75	0,11	0,98	0,92	0,84	0,90	Ótimo

Fonte: Autores (2024). Percentagem em relação ao método padrão de Penman-Monteith (%), erro-padrão de estimativa (EPE, mm d⁻¹), erro-padrão de estimativa ajustado (EPEA, mm d⁻¹), coeficiente de correlação (r), coeficiente de determinação (R²), índice de concordância (d), coeficiente de desempenho (c) e classificação baseada no coeficiente de desempenho.

O erro-padrão da estimativa ajustado (EPEA) variou de 0,04 a 0,29 mm d⁻¹, sendo os menores valores observados nos modelos de Makkink, FAO-24 da Radiação, Jensen-Haise, Blaney-Criddle-Frevert, Hargreaves-Samani e Blaney-Criddle (Tabela 4). Isso confirma que a linha de regressão se ajustou muito bem aos dados dos modelos investigados, visto que os valores dos coeficientes de determinação são altos. Outrossim, o erro-padrão demonstra que a variável dependente (modelos testados) está próxima do seu valor predito.

Verifica-se que os métodos de Makkink (c = 0,98), FAO 24 da Radiação (0,98), Jensen-Haise (0,95), Hargreaves-Samani (0,90) e Blaney-Criddle-Frevert (0,90) e Blaney-Criddle (0,85) apresentaram “ótimo” coeficiente de desempenho (Tabela 4). Teixeira Filho, Barbosa e Ferreira (2023), avaliando o desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Manicoré, AM, também observaram que os modelos de Hargreaves-Samani, Jensen-Haise e FAO-24 da Radiação apresentaram “ótimo” coeficiente de desempenho. Já Ferreira *et al.* (2020), ao comparar vários métodos para o município de Parintins, AM, também classificou o modelo de Jensen-Haise com desempenho “ótimo” (c = 0,85). Enquanto Araújo, Costa e Santo (2007) utilizando o modelo de Blaney-Criddle para a localidade de Boa Vista, RR, também obtiveram desempenho “ótimo” (c = 0,92).

Diferindo do presente estudo, Mendoza, Menezes e Dias (2016) classificaram as estimativas do método Hargreaves-Samani como “medianas” para a região de São Luís, MA. Todavia, os autores ressaltaram que, entre os métodos que utilizam dados de temperatura, esse obteve o melhor desempenho (c = 0,64).

Visser (1964) afirma que, enquanto a absorção de água pela planta for mantida na proporção que a perda, não haverá déficit. Como os modelos de Makkink, FAO 24 da

Radiação, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle-Frevert e Blaney-Criddle apresentaram ótimo desempenho (Tabela 4), eles podem ser utilizados na ausência de dados que permitam calcular a ET_o por Penman-Monteith.

O modelo de Camargo apresentou desempenho “sofrível” e o de Thornthwaite, desempenho “mau” (Tabela 4). Souza e Sousa (2020) avaliaram o método de Thornthwaite (c = 0,64) como desempenho “mediano” e o de Camargo (c = 0,33) como desempenho “péssimo” para a região de Rio Branco, AC. O desempenho insatisfatório, desse método pode ser atribuído à simplicidade de sua equação, que confere menor precisão ao método, posto que ela apresenta um número reduzido de parâmetros de entrada para a estimativa da evapotranspiração (SANTANA *et al.*, 2018). Assim, havendo um 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).

É importante ressaltar que, havendo um 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). Portanto, deve-se ter atenção na escolha do método de estimativa da ET_o, que pode variar conforme a localização.

6 CONCLUSÃO

Os métodos que melhor se ajustaram ao método padrão de Penman-Monteith foram os de Makkink, FAO 24 da Radiação, Jensen-Haise, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle-Frevert e Blaney-Criddle, apresentando “ótimo” desempenho para o município de Benjamin Constant, AM.

O modelo de Camargo apresentou desempenho “sofrível”, podendo ser recomendado após ajustes locais.

O modelo de Thornthwaite apresentou desempenho “mau”, não podendo ser recomendado em razão da baixa exatidão e precisão em relação ao método padrão.

7 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, H. A. **Climatologia aplicada à geografia**. Campina Grande: EDUEPB, 2016. 317p. Disponível em: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/13346>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) 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.
- 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, jan./mar. 2022.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051962000100012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/nvq3yszWN C78k9nmRytBTcJ/?lang=pt>. Acesso em: 14 ago. 2024.
- CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3a.ed., Campinas, IAC. 24 p. 1971. (Bol.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, R. L. S.; DELGADO, A. R. S. Estimativas da evapotranspiração de referência do município de Ariquemes (RO) utilizando os métodos Penman-MonteithFAO e Hargreaves-Samani. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 6, p. 1038-1048, 2016. DOI: [10.7127/RBAL.V10N600497](https://doi.org/10.7127/RBAL.V10N600497). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314090643_ESTIMATIVAS_DA_EVAPOTRANSPIRACAO_DE_REFERENCIA_DO_MUNICIPIO_DE_ARIQUEMES_RO_UTILIZANDO_OS_METODOS_PENMAN-MONTEITH-FAO_E_HARGREAVES-SAMANI. Acesso em: 14 ago. 2024.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Benjamin Constant** (Brasil). Oedheim: AM Online Projects, 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do->

sul/brasil/amazonas/benjamin-constant-44141/. Acesso em: 20 set. 2023.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. (Irrigação e Drenagem, 33).

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

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

FERREIRA, J. C. C.; BARBOSA, J. V. G.; ARRUDA, D. A.; TEIXEIRA FILHO, A. J. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Parintins, AM. *In*: SALES, F. O. **Ciências exatas e da terra: aprendizado, integração e necessidades do país**. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 65-75.

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

HARGREAVES, 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:

<http://dx.doi.org/10.13031/2013.26773>.

Disponível em:

[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1225457](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1225457). Acesso em: 10 out. 2023.

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

Destinatário: Aristóteles de Jesus Teixeira Filho. Itacoatiara, 1 ago. 2022. 1 mensagem eletrônica.

JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage**, Reston, p. 15-41, 1963.

KRAMER, P. J. Tension of moisture and plant growth. **Agronomy Journal**, South Dakota, v. 55, n. 1, p. 31-3, 1963.

MAKKINK, G. F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **Journal of the Institution of Water Engineers**, New York, 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.

MUNHOZ, J. S. B.; OLIVEIRA, S. F.; MARIN, F.; BATTISTI, R. Estimativa da evapotranspiração de referência no Brasil: uma análise crítica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17.; ENCONTRO DE METEOROLOGIA DOS PAÍSES DO MERCOSUL E ASSOCIADOS, 1.; ENCONTRO SUL AMERICANO DE APLICAÇÕES DO SISTEMA EUMETCAST PARA O MONITORAMENTO METEOROLÓGICO E AMBIENTAL, 4.;

ENCONTRO DE METEOROLOGIA OPERACIONAL, 2., 2012, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: UFRGS, 2012.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F.; ROMÃO, P. A.; CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 121-126, jul/dez, 2001.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia Agrícola**. ed. ver. e ampl. Piracicaba: ESALQ, 2007. Disponível em: <https://www.studocu.com/pt-br/document/universidade-federal-do-piaui/meteorologia-e-climatologia-agricola/apostila-meteorologia-agricola-esalq-2007/7792855>. Acesso em: 5 abr. 2023.

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

PORTO, R. L. L. Bases hidrológicas para projetos de irrigação. *In*: FIALHO, V. C.; OLIVEIRA FILHO, J. R. S.; SANTOS, J. R. M.; BRIGHETTI, G. (org.). **Programa Nacional de Irrigação**. Curso de elaboração de projetos de irrigação. Brasília, DF: PNI: Fundação CTH, 1986. v. 1, p. 88-111.

REICHARDT, K. **A água na produção agrícola**. São Paulo: McGraw Hill, 1978.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2004. Barueri: Manole, 2004.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998.

SANTANA, J. S.; LIMA, E. F.; SILVA, W. A.; FERNANDES, M. C.; RIBEIRO, M. I. D. Equações de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) para a região de Balsas-MA. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 15 n. 27, p. 1-14, 2018.

SCALOPPI, E. J.; VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E. Estimativa da evapotranspiração através de fórmulas relacionadas à temperatura média do ar atmosférico. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz**, Piracicaba, v. 35, p. 93-112, 1978. <https://doi.org/10.1590/S0071-12761978000100007>

SILVA, A. T.; DUARTE, E. F. **Irrigação: fundamentos e métodos**. Itaguaí: UFRRJ, 1980.

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: 9 mar. 2023.

STOCK, J. H.; WATSON, M. W. **Introduction to Econometrics**. 3. ed. New York: Addison-Wesley Series in Economics, 2010. v. 1.

TEIXEIRA FILHO, A. 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.

TETENS, O. Über einige meteorologische Begriffe. **Zeitschrift Geophysic**, Göttingen, v. 6, p. 297-309, 1930.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Philadelphia, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

TURCO, J. E. P.; PERECIN, D.; PINTO JÚNIOR, 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 Plant Biology**. Davis, v. 12, p. 265-292, 1961.

VISSER, W. E. Moisture requirement of crops and rate of moisture depletion of the soil. **Technical Bulletin Institute for Land and Water Management Research**, n. 32, Wageningen, 21 p. 1964.

VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V. P.; ANDRE, R. G. B. The Priestley-Taylor parameter for the Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3-4, p. 211-25, 1991.

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 the evaluation and comparison 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.