



Avaliação do desempenho de métodos empíricos para a estimativa da evapotranspiração de referência em Rio Branco, Acre

Maria Lizete Aquino de Souza¹, Jorge Washington de Sousa^{2*}

¹Mestranda da Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

²Professor da Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Rio Branco, Acre, Brasil. *jws@ufac.br

Recebido em: 30/04/2020 Aceito em: 04/05/2020 Publicado em: 07/05/2020

RESUMO

A evapotranspiração de referência é um parâmetro utilizado na estimativa da demanda hídrica das culturas, tornando-se necessária para o adequado manejo dos sistemas de irrigação, razão pela qual, a escolha do método para a sua estimativa, deve ser extremamente criteriosa. Objetivou-se neste trabalho, avaliar o desempenho dos métodos empíricos de Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, Thornthwaite modificado e Turc, correlacionando-os com o método de Penman-Monteith, na estimativa da evapotranspiração de referência em Rio de Branco, Acre. Foram utilizadas variáveis climáticas referentes ao período de 01 de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2006, oriundas da estação meteorológica convencional do INMET. Para a análise dos resultados, utilizou-se o índice de concordância Willmott (d) e o índice de confiança de Camargo e Sentelhas (c). Os resultados evidenciam, que apenas o modelo de Turc estimou satisfatoriamente a evapotranspiração de referência para a região de Rio Branco, AC, com desempenho muito bom. Os demais modelos apresentaram desempenho mau ou péssimo, com restrições de uso, para as condições climáticas locais.

Palavras-chave: Temperatura do ar. Penman-Monteith. Camargo-Sentelhas.

Performance evaluation of empirical methods to estimate reference evapotranspiration in Rio Branco, Acre

ABSTRACT

Reference evapotranspiration is a parameter used to estimate the water demand of crops, making it necessary for the proper management of irrigation systems, which is why the choice of the method for its estimation must be extremely careful. The objective of this work was to evaluate the performance of the empirical methods of Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani, Kharrufa, Linacre, Thornthwaite, modified Thornthwaite and Turc, correlating them with the Penman-Monteith method, in the evapotranspiration estimation of reference in Rio de Branco, Acre. Climatic variables referring to the period from January 1, 1980 to December 31, 2006, from the conventional meteorological station of INMET, were used. For the analysis of the results, the Willmott concordance index (d) and the Camargo e Sentelhas confidence index (c) were used. The results show that only the Turc model satisfactorily estimated the reference evapotranspiration for the region of Rio Branco, AC, with very good performance. The other models presented poor or very poor performance, with restrictions on use, for local climatic conditions.

Keywords: Air temperature. Penman – Monteith. Camargo – Sentelhas.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração consiste em um componente do balanço de energia, representada pelo calor latente de evaporação (evaporação da água do solo e transpiração de água das plantas), resultante da transformação do saldo de radiação solar, em calor sensível e latente do ar e aquecimento do solo (COELHO et al., 2000).

A estimativa das perdas por evaporação e transpiração ou evapotranspiração, é de grande importância nas atividades de elaboração e manejo dos projetos de irrigação, gerenciamento de reservatórios e planejamento de uso e outorga de recursos hídricos (HENRIQUE; DANTAS, 2006).

Segundo Xu e Singh (2001), as várias formas de estimativa de evapotranspiração de referência, podem ser divididas em cinco categorias: (a) balanço hídrico, (b) transferência de massa, (c) métodos combinados, (d) radiação e (e) baseados em temperatura. De acordo Vallory et al., (2016), a medição direta da evapotranspiração é difícil e dispendiosa, requerendo equipamentos e pessoal especializados, portanto a sua determinação por meio de estimativas é a forma mais comum.

Dentre os diversos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação-FAO, recomenda como padrão o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Entretanto, este método necessita do conhecimento de vários elementos meteorológicos, que nem sempre se encontram disponíveis (MARTÍ et al., 2015). Por essa razão, os métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência, que empregam um número menor de variáveis, além de serem mais simples, ainda são importantes para objetivos práticos (CONCEIÇÃO, 2003). No entanto, há a necessidade de estudos para que se determine o melhor método empírico em cada localidade (TAGLIAFERRE et al., 2010; ALENCAR et al., 2015; DE BRUIN et al., 2016; CHIA et al., 2020).

Muitas estações e postos agrometeorológicos, disponibilizam somente séries históricas com dados de pluviosidade e termometria, havendo a necessidade de se utilizarem, para cálculo de evapotranspiração de referência, Dentre esses métodos destacam-se os de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves-Samani (STONE; SILVEIRA, 1995; PEREIRA et al., 1997; SAMANI, 2000).

O manejo da irrigação requer além de métodos e tecnologia adequados, estudos específicos de consumo de água para cada cultura, em épocas e locais distintos (SOUZA et al., 2013). A evapotranspiração da cultura é calculada através do valor da

evapotranspiração potencial de referência, corrigida pelo coeficiente da cultura, sendo este, dependente do tipo de cultura e do seu estágio de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2005).

Esse trabalho objetivou avaliar oito métodos empíricos na estimativa da evapotranspiração de referência em Rio Branco, Acre, tendo como referência o método de Penman-Monteith, padronizado pela FAO.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa, série 1980-2006, foram coletados na estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, instalada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza-CCBN da Universidade Federal do Acre, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 09° 57' 32" S, longitude 67° 52' 06" W e altitude de 159 m, município de Rio Branco, AC.

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como do tipo Am_i, tropical chuvoso, com precipitação pluviométrica anual média em torno de 2.000 mm e temperatura média anual de 25,1°C, apresentando uma amplitude anual de temperatura menor que 5°C (SOUSA e OLIVEIRA, 2018). Penman-Monteith

Métodos utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência-ET_o

Método de Penman-Monteith (ET_{oPM})

O método de Penman-Monteith, foi parametrizado pela FAO para o cálculo da evapotranspiração, conforme a equação 1 (ALLEN et al., 1998):

$$ET_{oPM} = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Onde: Δ - declividade da curva pressão de vapor em relação à temperatura (kPa °C⁻¹); Rn - radiação solar líquida total (MJ m⁻² d⁻¹); G - fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹), tendo sido considerado igual a zero; γ - coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); U₂ - velocidade do vento a 2 m (m s⁻¹); e_s - pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa); e_a - pressão parcial do vapor de água atmosférico (kPa); T_{med} - temperatura média do ar (°C).

A pressão parcial de vapor do ar - e_a (kPa), proposta por Pereira et al., (1997), foi determinada pela equação 2:

$$e_a = \frac{e_s UR}{100} \quad (2)$$

Em que, e_s - pressão de saturação do vapor de água atmosférico (kPa); e_a - pressão parcial do vapor de água atmosférico (kPa) e UR - umidade relativa do ar (%). O cálculo dos parâmetros empregados na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith baseou-se na metodologia proposta por Allen et al., (1998). A velocidade do vento a 2 m de altura (U_2), foi obtida pela equação 3:

$$U_2 = U_z \left[\frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \right] \quad (3)$$

Em que, U_z - velocidade do vento medida na altura z ($m s^{-1}$); \ln - logaritmo neperiano; z - altura da medida sobre a superfície a (10 m).

Método de Benevides-Lopez (EToBL)

Na equação 4, verifica-se que o método que foi desenvolvido por Benevides e Lopez (1970), para a estimativa da evapotranspiração, baseia-se em dados de temperatura média e umidade relativa do ar (PEREIRA et al., 1997):

$$EToBL = 1,21(10)^{\frac{7,5T_{med}}{237,5+T_{med}}}(1 - 0,01UR) + 0,21T_{med} - 2,3 \quad (4)$$

Onde: T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}C$) e UR - umidade relativa do ar (%).

Método de Camargo (EToC)

Este modelo foi apresentado por Camargo (1971) que desenvolveu analiticamente a equação a seguir, baseando-se em resultados da evapotranspiração de referência para mais de uma centena de localidades:

$$EToC = FQoT_{med} \quad (5)$$

Onde: F - fator de ajuste que varia com “T” anual, utilizando-se um valor de “F” igual a 0,0105; Q_o - radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}) e T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Hargreaves e Samani (EToHS)

O método Hargreaves e Samani (1985), foi desenvolvido na Califórnia, Estados Unidos, em condições semiáridas, necessitando apenas das temperaturas máxima e mínima, e da radiação solar extraterrestre, por intermédio da Equação 6:

$$EToHS = 0,0135 K_t Q_o \sqrt{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} (T_{\text{med}} + 17,8) \quad (6)$$

Onde: K_t - coeficiente empírico. Foi empregado um valor de “ K_t ” para regiões continentais igual a 0,162 de acordo com Samani (2000). Q_o - radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}); T_{max} - temperatura máxima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$); T_{min} - temperatura mínima do ar diária ($^{\circ}\text{C}$) e T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Kharrufa (EToK)

O modelo simplificado proposto por Kharrufa (1985), é muito usado para quantificar a evapotranspiração em projetos de irrigação, sendo estimado pela equação 7:

$$EToK = 0,34 p (T_{\text{med}})^{1,3} \quad (7)$$

Onde: p - porcentagem de insolação máxima diária (N) em relação ao horário de insolação teórico do ano (4380 h); T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Linacre (EToL)

A evapotranspiração de referência pela metodologia proposta por Linacre (PENMAN, 1956), foi estimada pela equação 8:

$$EToL = \left\{ \left[500 \frac{(T_{\text{med}} + 0,006h)}{100 - L} \right] + 15 \frac{(T_{\text{med}} - T_o)}{80 - T_{\text{med}}} \right\} \quad (8)$$

Onde: L - latitude local em módulo (graus); h - altitude da localidade (m); T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}C$); T_o - temperatura média do ponto de orvalho ($^{\circ}C$). Para a obtenção do valor de $(T_{med} - T_o)$ utilizou-se a equação 9:

$$(T_{med} - T_o) = 0,0023h + 0,37T + 0,53(T_{max} - T_{min}) + 0,35R - 10,9 \quad (9)$$

Onde: R- diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios ($^{\circ}C$).

Método de Thornthwaite (EToTH)

O método foi estabelecido por Thornthwaite (1948), que obteve excelente correlação com dados de localidades dos Estados Unidos e República Dominicana. O modelo é expresso segundo a equação 10 a seguir:

$$EToTH = 16 \frac{D}{Nd} x \left(\frac{10T_{med}}{I^a} \right) \quad (10)$$

Onde: D - fator de ajuste conforme o mês do ano e a latitude (THORNTHWAITE, 1948; STONE; SILVEIRA, 1995); Nd - número de dias do mês; T_{med} - temperatura média do ar ($^{\circ}C$); I - índice de calor anual, que corresponde à soma dos 12 índices mensais “i”; sendo i obtido pela equação 11:

$$i = \left(\frac{T_{med}}{5} \right)^{1,514} \quad (11)$$

Onde “a” : é uma função cúbica de I, obtido de acordo com a equação 12:

$$a = 0,000000675(I)^3 - 0,771(10)^{-4}(I)^2 + 1,792(10)^{-2}I + 0,49239 \quad (12)$$

Método de Thornthwaite modificado (EToTH_m)

A evapotranspiração de referência mensal segundo o método de Thornthwaite, modificado (CAMARGO et al., 1999), foi estimada de acordo com a equação 13, e obtida, pela substituição de T_{med} na equação 11, pela temperatura efetiva “Tef”, esta, calculada pela equação 14:

$$EToTHm = 16 \frac{D}{Nd} x \frac{10T_{ef}}{I^a} \quad (13)$$

$$T_{ef} = 0,36(3T_{\max} - T_{\min}) \quad (14)$$

Em que: T_{\max} - temperatura máxima do ar diária (°C) e T_{\min} - temperatura mínima do ar diária (°C).

Método de Turc (EToTC)

Em 1961, Turc estimou a evapotranspiração de referência, que foi desenvolvida para o oeste europeu, onde a umidade do ar é maior que 50% (PEREIRA et al., 2001), conforme a equação 15:

$$EToTC = 0,013 \left[\frac{T_{\max}}{T_{\max} - 15} \right] (R_s + 50) \quad (15)$$

Onde: T_{\max} - temperatura máxima do ar (°C); R_s - radiação solar global disponível ao nível da superfície (mm dia⁻¹).

Através do programa Microsoft Excel® (2010), foram calculados os valores de ETo pelo modelo de Penman-Monteith-FAO (EToPM), e para os demais métodos de estimativas testados. Com o objetivo de estudar o desempenho dos modelos em relação ao modelo padrão (EToPM), foram calculados os coeficientes das equações de regressão, bem como, o coeficiente de determinação (r^2), o erro padrão da estimativa-SEE (Equação 16), o erro padrão da estimativa ajustado-ASEE (Equação 17)), o índice de concordância (d) de Willmott et al., (1985), Equação 18, e o índice de desempenho (c), (Equação 19). Os valores do índice “c” foram interpretados de acordo com a Tabela 2 (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). Foi aplicado o Teste “t” de probabilidade, ao nível de 5%, aos valores estimados da evapotranspiração de referência.

$$SEE = \left[\frac{(\sum Y_{pi} - Y_{mi})^2}{(n - 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (16)$$

Onde: y_{pi} - estimativa da ETo pelo modelo de Penman-Monteith; y_{mi} - estimativa da ETo obtida pelos demais modelos avaliados; n - número de observações.

$$A_{SEE} = \left[\frac{\sum (Y_{pi} - Y_{regri})^2}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Onde: y_{pi} - estimativa da ETo pelo modelo padrão de Penman-Monteith; y_{regri} - estimativa da ETo obtida pelo emprego da equação de regressão ajustada entre o método de Penman-Monteith e os demais métodos e n - número de observações.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (18)$$

Onde: P_i - valores de ETo estimados pelos demais métodos; O_i - valores de ETo obtidos pelo modelo de Penman-Monteith; O - média dos valores estimados de ETo pelo modelo de Penman-Monteith.

$$c = rd \quad (19)$$

Onde: c - coeficiente de confiança; r - coeficiente de correlação e d - coeficiente de exatidão.

A indicação dos métodos de estimativa da ETo para o município de Rio Branco, Acre, foi estabelecida para os métodos que apresentaram os maiores índices de confiança - c (CAMARGO; SENTELHAS, 1997), sendo estes, preferencialmente superiores a 0,65.

Tabela 1. - Avaliação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, pelo índice “ c ” (CAMARGO; 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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, encontram-se os valores da porcentagem relativa da ETo em relação ao modelo padrão (EToPM), coeficientes das equações de regressão ajustadas (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão de estimativa (SEE) e erro-padrão de estimativa ajustado (ASEE). Observa-se que os modelos avaliados superestimaram a ETo, com percentuais variando de 11% (EToTC) a 83% (EToK). Os resultados obtidos corroboram com os encontrados por Mendonça et al., (2003), Fietz et al., (2005) e Sypereck et al., (2008), que evidenciaram tendência de superestimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Linacre, Camargo e Thornthwaite, respectivamente, em relação ao método de Penman-Monteith. Do mesmo modo, Vasco et al., (2013), estudando a evapotranspiração para a região do município de Rio Real-BA, também observaram a tendência de superestimativa do método de Hargreaves e Samani, que chegou a 18,88%, em relação à Penman-Monteith. Noia et al., (2014), também verificaram essa tendência de superestimativa do modelo de Hargreaves e Samani, em comparação ao método padrão. A equação de Hargreaves e Samani, foi desenvolvida originalmente para estimar a evapotranspiração em regiões de clima áridos e semiáridos, logo espera-se, que este modelo, também, superestime a ETo em climas úmidos.

As estimativas de ETo obtidas pelos métodos avaliados, apresentaram entre si, diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste “t” (Tabela 2), tornando-se satisfatória a calibração local (ALLEN et al., 1998).

O menor valor do erro padrão da estimativa (SEE, foi obtido pelo método de Turc (EToTC), $0,52 \text{ mm dia}^{-1}$, confirmando a precisão desse modelo, em relação ao método padrão de Penman-Monteith-EToPM (Tabela 2). Todos os modelos avaliados, apresentaram decréscimo no valor dos erro padrão de estimativa (SEE), em relação ao erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), conforme a Tabela 2, indicando a possibilidade de melhoria na estimativa da ETo, mediante calibração regional (OLIVEIRA et al., 2005).

Com exceção do método de Turc-EToTC, $r^2 = 0,85$, (Tabela 2), os demais modelos exibiram baixos valores para o coeficiente de determinação (r^2), inferiores a 0,52, evidenciando que os ajustes das equações a partir do método padrão-EToPM, foram insatisfatórios. De forma semelhante, Silva et al., (2005) concluíram que os métodos propostos por Linacre e Thornthwaite, não apresentaram resultados

satisfatórios na estimativa da ETo para Petrolina, PE. Do mesmo modo, Araújo et al., (2007), também constataram, que os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani não estimaram de forma satisfatória a evapotranspiração de referência ao longo do ano, para a região de Boa Vista-RR. De acordo com Sampaio (1998), a ocorrência de coeficiente de determinação (r^2) reduzido, faz com que as estimativas propostas não sejam confiáveis, seja pela instabilidade da variável estudada ou pelo fato do modelo testado não está adequado à dispersão dos resultados observados. Para superar tais limitações, Carvalho et al., (2015), recomendam, a realização de calibrações locais dos coeficientes parametrizados das equações avaliadas.

Tabela 2 - Estatísticas das análises de regressão ajustadas e percentagem relativa da evapotranspiração de referência, dos métodos avaliados, em relação ao modelo padrão Penman-Monteith-EToPM.

Métodos	ETo mm dia ⁻¹	%	a	B	r ²	SEE mm dia ⁻¹	ASEE mm dia ⁻¹
EToBL	4,00	18	-0,04*	0,86*	0,52*	0,83	0,57
EToC	3,92	15	0,47*	0,74*	0,26*	0,89	0,71
EToHS	4,51	33	0,10*	0,72*	0,45*	1,28	0,61
EToK	6,23	83	-1,35*	0,76*	0,37*	2,91	0,66
EToL	4,98	46	-2,68*	1,22*	0,30*	1,72	0,69
EToTH	3,98	17	1,05*	0,58*	0,41*	0,94	0,63
EToTH _m	4,79	41	1,91*	0,30*	0,31*	1,87	0,69
EToTC	3,78	11	0,32*	0,81*	0,85*	0,52	0,31

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Test t.

O método que apresentou o melhor desempenho foi Turc-(EToTC com $c=0,85$ e $d=0,92$, classificado com desempenho muito bom (Tabela 3), concordando com os resultados encontrados por Bragança (2007), para região de Venda Nova do Imigrante, ES, na escala diária, em que o método de Turc, também evidenciou muito bom desempenho, em relação ao método padrão FAO (EToPM). Tanaka et al., (2016), também relataram um desempenho muito bom, para o método de Turc no estado do Mato Grosso.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação (r), exatidão (d), desempenho (c), variação (cv) e classificação dos métodos de estimativa da ETo, segundo os critérios de Camargo e Sentelhas (1997), para o município de Rio Branco-AC.

Métodos	R	d	c	cv (%)	Classificação
EToBL	0,72	0,70	0,50	14,38	Mau
EToC	0,51	0,65	0,33	18,31	Péssimo
EToHS	0,67	0,61	0,41	13,68	Mau
EToK	0,61	0,35	0,21	10,62	Péssimo
EToL	0,55	0,45	0,25	13,94	Péssimo
EToTH	0,64	0,72	0,47	16,05	Mau
EToTH _m	0,55	0,52	0,29	14,47	Péssimo
EToTC	0,92	0,92	0,85	8,38	Muito bom

Os modelos de Camargo-EToC ($c = 0,33$), Linacre-EToL ($c = 0,25$), Kharrufa-EToK ($c=0,21$) e Thornthwaite-modificado-EToTH_m ($c=0,29$), apresentaram desempenho péssimo. Em seus estudos, Rocha et al., (2015), também obtiveram desempenho péssimo no cálculo da ETo por Linacre para a localidade de Garanhuns, PE. Os métodos Benevides-Lopez-EToBL ($c=0,50$), Hargreaves e Samani-EToHS ($c=0,41$), Thornthwaite-EToTH ($c=0,47$). Esses modelos, com desempenho péssimo ou mau, apresentam restrições de uso para as condições climáticas de Rio Branco, AC. Segundo Santana et al., (2018), esses desempenhos insatisfatórios, podem ser atribuídos à simplicidade de suas equações que conferem menor precisão ao método, pois a maioria apresenta um número reduzido de parâmetros de entrada na estimativa da evapotranspiração.

CONCLUSÃO

Face aos resultados obtidos, conclui-se que o método de Turc atendeu satisfatoriamente a estimativa da ETo para o município de Rio Branco-AC, com desempenho muito bom. Os demais modelos avaliados nessa pesquisa, apresentaram desempenho mau ou péssimo, com restrições de uso para as condições climáticas locais. Considerando-se os baixos valores do coeficiente de determinação exibido pelos demais modelos avaliados, recomenda-se para futuros trabalhos, o ajuste regional dos mesmos,

REFERÊNCIAS

ALENCAR, L.P. de; SEDIYAMA, G.C.; WANDERLEY, H.S.; ALMEIDA, T.S.; DELGADO, R.C. A valiação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, p. 437-449, 2015.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO (Irrigation and Drainage Paper, 5), 1998. 300 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235704197_Crop_evapotranspiration-Guidelines_for_computing_crop_water_requirements-FAO_Irrigation_and_drainage_paper_56. Acesso EM: 30 abr. 2020.

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

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

BRAGANÇA, R. **Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no Estado do Espírito Santo**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2007.

CAMARGO, A. P. **Balço hídrico no estado de São Paulo**. 3.ed., Campinas: IAC, 1971. 24p. Boletim 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**, v. 5, n. 1, p. 89- 97, 1997.

CAMARGO, A. P. de.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v. 1, n. 2, p.125-137, 2000.

CARVALHO, D.F. de; ROCHA, H.S. da; BONOMO, R.; SOUZA, A.P. de. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p.1-11, 2015.

CHIA, M.Y.; HUANG, Y. F.; KOO, C.H.; FUNG, K. F. Recent Advances in Evapotranspiration Estimation Using Artificial Intelligence Approaches with a Focus on Hybridization Techniques—A Review, **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 101-107 2020.

COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de.; AGUIAR NETTO, A de. O.; OLIVEIRA, A. S. de. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Circular Técnica n. 40).

CONCEIÇÃO, M. A. F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 229-236, 2003.

DE BRUIN, H.A.R.; TRIGO, I.F.; BOSVELD, F.C.; MEIRINK, J.F. A thermodynamically based model for actual evapotranspiration of an extensive grass field close to FAO reference suitable for remote sensing application. **Hydrometeor**, v. 17, p. 1373–1382, 2016.

FIETZ, C. R.; SILVA, F. C.; URCHEI, M. A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p.96-99, 1985.

HENRIQUE, F. de A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 594-599, 2006.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**, New York: ASCE, 1990, 332 p. Disponível em: <https://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockey=0067841>. Acesso: 30 abr. 2020.

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

MARTÍ, P.; ZARZO, M.; VANDERLINDEN, K.; GIRONA, J. Parametric expressions for the adjusted Hargreaves coefficient in Eastern Spain. **Journal of Hydrology**, v. 529, n. 1, p. 1713-1724, 2015.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração potencial de referência (ET_o) para a Região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q; ALMEIDA, R. V. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman–Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. **Revista Agrarian**, v. 7, n. 24, p. 300-308, 2014.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; BONOMO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Bioscience Journal**, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PENMAN, H. L. Evaporation: Introduction survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 1, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183 p.

ROCHA, I. P.; DA SILVA LIMA, N.; CHAGAS, R. M & DE ALMEIDA, G. L. P. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Garanhuns, PE. **Revista Geama**, v. 1, n. 2, p. 112-127, 2015.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 1998. 221 p.

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

SILVA, V. P. R.; FILHO, A. F. B.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 2005. p. 343-350.

SOUZA, A.P. de; MOTA, L.L. da; ZAMADEI, T.; MARTIM, C.C.; ALMEIDA, F.T. de; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, p. 34-43, 2013.

SOUSA, J. W.; DE OLIVEIRA, P. F. Risco climático para o café Conilon (*Coffea canephora*) nos municípios de Rio Branco, Tarauacá e Cruzeiro do Sul, AC. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 7, n. 2, p. 31-40, 2018.

- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 49 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55).
- SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 603-609, 2008.
- TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do Estado do Espírito Santo no período seco. **Idésia**, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.
- TANAKA, A. A.; SOUZA, A. P., KLAR, A. E.; SILVA, A.C.; GOMES, A.W. A. Evapotranspiração de referência estimada por modelos simplificados para o Estado do Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 91-104, 2016.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- WILLMONTT, C. J.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, E. M.; ACKLESON, S. G.; O'DONNEELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.
- VALLORY, N. D.; DOHLER, R. E.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p. 576 - 585, 2016.
- VASCO, A. N.; NETTO, A. D. O. A.; FACCIOLI, G. G.; CHAGAS, R. M.; DE SOUSA, I. F & DA SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da Evapotranspiração de referência (eto) no município de Rio Real-BA. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- XU, C. Y.; SINGH, V. P. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. **Hydrological Processes**, v. 15, n. 2, p. 305-319, 2001.
- .