

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) BASEADA NA TEMPERATURA DO AR PARA RIO BRANCO, ACRE¹

M. L. A. de SOUZA²; J. W. de SOUSA³

RESUMO: Foi comparado o desempenho de quatro métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) com o padrão de Penman-Monteith-FAO-56, visando determinar quais deles apresentam as melhores estimativas da ET_o para a região de Rio Branco, AC. Os modelos de estimativa da ET_o com base nos valores do erro padrão de estimativa ponderado (SEEp), se classificaram na seguinte ordem decrescente de prioridade: ET_oBL, ET_oC, ET_oHS e ET_oK. Os modelos que mais se ajustaram ao padrão foram Benevides-Lopez e Camargo.

PALAVRAS CHAVE: Amazônia, Evapotranspiração, Penman-Monteith-FAO.

ESTIMATE OF REFERENCE OF THE EVAPOTRANSPIRATION (ET_o) BASED ON TEMPERATURE OF THE AIR FOR RIO BRANCO, ACRE

SUMMARY: It compared the performance of four methods for estimating the reference evapotranspiration (ET_o) with the standard Penman-Monteith-FAO-56, to determine which ones have the best estimates of ET_o for the region of Rio Branco, AC. The models of estimation of ET_o based on the values of the weighted standard error of estimate (SEEp), is classified in the following order of priority: ET_oBL, ET_oC, ET_oHS and ET_oK. The models that best fit the pattern were Benevides-Lopez and Camargo.

KEY WORDS: Amazon, Evapotranspiration reference, Penman-Monteith-FAO.

¹ Universidade Federal do Acre – UFAC. Pró-reitoria de Pós-Graduação. Parte de Dissertação de Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal.

² Eng. Agrônoma. Mestranda em Agronomia. Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre. CEP: 69.907-390, Rio Branco, AC. Fone: (68) 3227 4679 e-mail: mosele_aquino@yahoo.com.br.

³ Eng. Agrônomo. Prof. Dr. Adjunto, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre. e-mail: jwsc@brturbo.com.br

* Esta pesquisa contou com o Apoio da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre-FUNTAC.

INTRODUÇÃO

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência das deficiências hídricas, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE e DANTAS, 2006).

Para estimar a evapotranspiração de referência, utilizam-se várias equações e várias medidas, com vistas à obtenção dos parâmetros necessários para o uso das metodologias disponíveis. Existem vários modelos para se estimar a evapotranspiração de referência, os quais utilizam dados meteorológicos e agronômicos. Dentre eles se destaca o modelo de Penman-Monteith, por apresentar o melhor desempenho quando aplicado em diversos tipos de clima, sendo por isso recomendado pela FAO como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência e calibração de modelos empíricos (ALLEN et al., 1998).

O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) através dos métodos propostos por Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani e Kharrufa, para a região de Rio Branco, AC, em 26 anos (1981-2006) de observações meteorológicas e correlacionar os resultados com os obtidos pelo método Penman-Monteith recomendado como padrão pela FAO.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa são oriundos do acervo da Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza (CCBN) da Universidade Federal do Acre - UFAC, em Rio Branco, Acre, apresentando as coordenadas geográficas: latitude 09° 57' 32" S, longitude 67° 52' 06" W e altitude de 159 m. Segundo os critérios adotados por Thornthwaite, o clima para o município de Rio Branco, classifica-se como: úmido, com pequena deficiência de água, megatérmico e com vegetação durante todo o ano, sendo representado pela fórmula climática B₁rA'a'. A climatologia local para o período de estudo apresenta: temperaturas médias mensais variando de 23,9 °C em julho a 26,3°C em outubro, com média anual de 25,3 °C. A precipitação média mensal oscila de 30,4 mm (junho) a 298,1 mm (fevereiro), apresentando média anual de 1.975 mm. A umidade relativa média mensal varia de 79% em agosto a 88% de janeiro a abril, com média anual de 85%. A velocidade média mensal do vento oscila de 1,81 m s⁻¹ em abril a 2,20 m s⁻¹ em outubro, e média anual de 2,01 m s⁻¹.

Os dados climatológicos diários utilizados para o cálculo da ETo (mm dia⁻¹) foram: insolação, temperaturas do ar: máxima, mínima e média, temperatura do bulbo úmido, pressão atmosférica, velocidade do vento medida a 10 m de altura, referentes ao período de 1981 a 2006. Os métodos utilizados na estimativa da ETo para Rio Branco-AC, foram:

Penman-Monteith (EToPM)

$$EToPM = (\Delta/\Delta + \gamma^*) (Rn-G) / \lambda_{evap} + (\gamma/\Delta + \gamma^*) 900/(T_{med} + 275) v_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

em que, EToPM- evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (mm dia⁻¹); Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); γ^* - constante psicrométrica modificada (kPa °C⁻¹); Rn- saldo de radiação da cultura (MJ m⁻² d⁻¹); G- fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); λ_{evap} - calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹); γ - constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T_{med}- temperatura média do ar (°C); v₂- velocidade do vento a altura de 2 m; e_s- pressão de saturação de vapor (kPa); e_a- pressão parcial de vapor (kPa).

Benevides-Lopez (EToBL)

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

em que, EToBL- evapotranspiração de referência pelo método de Benevides-Lopez (mm dia⁻¹); T_{med} - temperatura média do ar (°C); UR- umidade relativa do ar (%).

Camargo (EToC)

$$EToC = FQoT_{med} \quad (3)$$

em que, EToC- evapotranspiração de referência segundo Camargo (mm dia⁻¹); F- fator de ajuste que varia com “T” anual, foi empregado um valor de “F” igual a 0,0105; T_{med}- temperatura média do ar (°C); Qo- radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia⁻¹).

Hargreaves-Samani (EToHS)

$$EToHS = 0,0135 Kt Qo(T_{max} - T_{min})^{0,5}(T_{med} + 17,8) \quad (4)$$

em que, EToHS- evapotranspiração de referência mensal, segundo o método de Hargreaves-Samani (mm dia⁻¹); Kt- coeficiente empírico. Foi empregado um valor de “Kt” para regiões continentais igual a 0,162; Qo- radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia⁻¹); T_{max}- temperatura máxima do ar diária (°C); T_{min}- temperatura mínima do ar diária (°C); T_{med} - temperatura média do ar (°C).

Kharrufa (EToK)

$$EToK = 0,34pTa^{1,3} \quad (5)$$

em que, EToK- evapotranspiração de referência segundo o método de Kharrufa (mm dia⁻¹); p- porcentagem de insolação máxima diária (N) em relação ao horário de insolação teórico do ano (4380 h); Ta- temperatura média do ar (°C).

A comparação dos valores de ETo entre o modelo padrão (EToPM) e os demais, baseou-se no erro padrão da estimativa (SEE) e no coeficiente de determinação (r^2) das equações de regressão ajustadas, utilizando-se o erro padrão de estimativa ajustado (ASEE), descrito por (JENSEN et al., 1990). Com base nos valores de SEE, r^2 , ASEE, os modelos de estimativas de ETo foram avaliados, tomando-se como melhor ajuste os que apresentarem maiores valores de r^2 e menores valores de SEE e ASEE, conforme equação 6:

$$SEE = [(\sum (y_{pi} - y_{mi})^2 / (n-1))]^{1/2} \quad (6)$$

em que, Y_{pi} - estimativa da ETo pelo método padrão (EToPM); Y_{mi} - estimativa da ETo obtida por cada um dos métodos avaliados; n- número de observações.

Na determinação do ASEE, utilizou-se a mesma equação 6, porém o valor da ETo estimada pelo modelo avaliado (Y_{mi}), foi substituído pelo valor da ETo obtido pelo emprego da equação de regressão ajustada pelo modelo padrão (EToPM) e os demais modelos. Para classificação dos modelos de estimativa de ETo, utilizou o $SEE_{ponderado}$ obtido pelo ponderação dos valores de SEE e ASEE (JENSEN et al., 1990), conforme a equação a seguir:

$$SEE_{ponderado} = 0,67 SEE + 0,33 ASEE \quad (7)$$

em que, $SEE_{ponderado}$ - erro padrão da estimativa ponderado; SEE- erro padrão da estimativa; ASEE- erro padrão de estimativa ajustado.

A classificação dos modelos foi feita por ordem crescente dos valores de $SEE_{ponderado}$.

RESULTADOS

Os valores estimados da evapotranspiração de referência (ETo) média mensal para região de Rio Branco pelos modelos de Penman-Montheith-FAO, Benevides-Lopez, Camargo, Hargreaves-Samani e Kharrufa estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que a menor média mensal foi de 2,83 mm dia⁻¹ para o modelo Penman-Montheith-FAO no mês de junho e a maior foi de 6,72 mm dia⁻¹ no mês de dezembro para o modelo de Kharrufa.

A menor média anual da ETo foi estimada pelo modelo Penman-Montheith-FAO, 3,40 mm dia⁻¹, enquanto a maior média foi de 6,23 mm dia⁻¹ pelo modelo Kharrufa. Ao longo do ano, os valores médios estimados pelo modelo de Camargo, foram os que mais se aproximaram do padrão EToPM. Resultados semelhantes aos obtidos por FIETZ et al. (2005) que constatarem boas estimativas da ETo pelo método de Camargo em relação ao método padrão recomendado pela FAO (EToPM).

TABELA 1. Média mensal da evapotranspiração de referência (ETo) mm dia⁻¹ para o município de Rio Branco-AC, estimada pelos métodos de EToPM, EToBL, EToC, EToHS e EToK no período de 1981 a 2006.

Métodos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
EToPM	3,40	3,38	3,38	3,20	2,97	2,83	3,15	3,37	3,70	3,96	3,78	3,60	3,40
EToBL	3,89	3,85	3,93	3,88	3,79	3,65	3,85	4,23	4,43	4,41	4,11	3,99	4,00
EToC	4,41	4,37	4,21	3,82	3,36	3,05	3,09	3,52	4,00	4,37	4,42	4,43	3,92
EToHS	4,60	4,59	4,39	4,17	3,88	3,87	4,18	4,77	5,09	5,12	4,86	4,64	4,51
EToK	6,59	6,48	6,40	6,17	5,88	5,55	5,52	5,88	6,29	6,63	6,69	6,72	6,23

A Figura 1 mostra as médias mensais das estimativas da ETo para o município de Rio Branco, Acre, obtidas pelos modelos EToPM, EToBL, EToC, EToHS e EToK, onde constata-se a superestimativa da ETo durante todos os meses do ano pelos modelos avaliados, em relação ao modelo padrão (EToPM). Esses resultados corroboram com os obtidos por outros autores (BORGES e MENDIONDO, 2007; BACK, 2008) em que o método de Camargo superestimou a ETo em relação ao método de Penman-Monteith ao longo do ano.

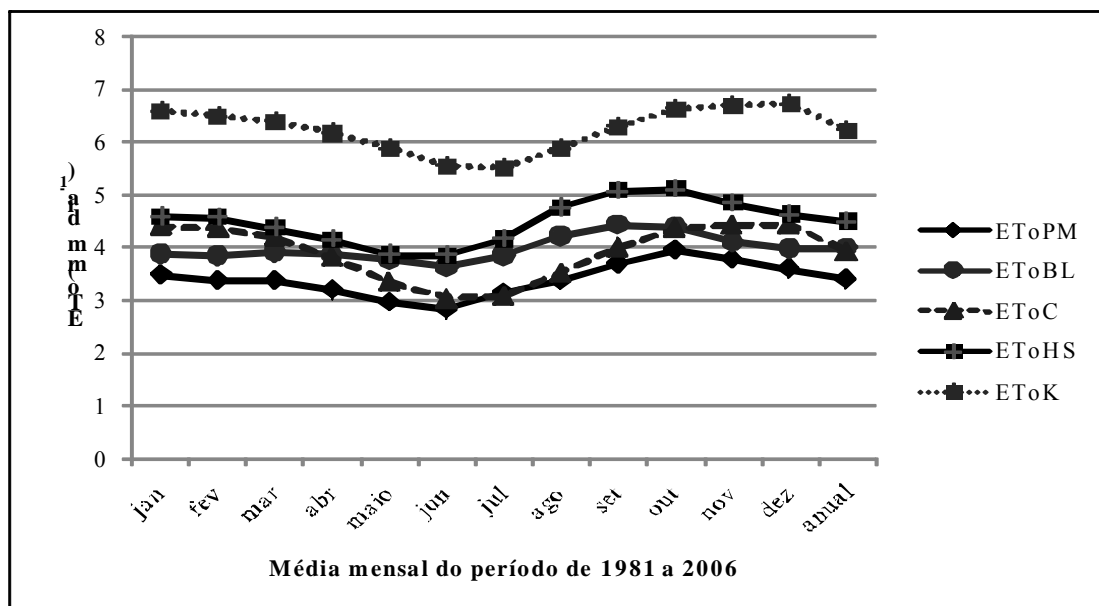


FIGURA 1. Variação da (ETo) média mensal pelos métodos EToPM, EToBL, EToC, EToHS e EToK para o município de Rio Branco, Acre, UFAC, 2009.

As análises estatísticas dos modelos avaliados na estimativa da ETo, estão apresentados na Tabela 2, onde observa-se que o modelo que mais se aproximou do padrão foi o de Camargo (115%) e o que mais se afastou foi o de Kharrufa (183%).

No que se refere ao erro-padrão da estimativa (SEE), constatou-se uma variação desde 0,8376 mm dia⁻¹ (EToBL) a 2,9139 mm dia⁻¹ (EToK). Todos os modelos avaliados apresentaram baixos coeficientes de determinação, destacando-se o de Camargo, com

($r^2=0,5255$). Na Tabela 2, observa-se que os modelos apresentam decréscimo nos valores dos erros padrões de estimativa (SEE) em relação ao erro-padrão de estimativa ajustado pela regressão (ASEE), o que indica a possibilidade de melhoria na estimativa da ETo, mediante calibração na localidade de utilização.

Os modelos de estimativa da ETo com base nos valores de (SEEp) para a região de Rio Branco-AC, se classificam na seguinte ordem decrescente de prioridade: EToBL, EToC, EToHS e EToK.

TABELA 2. Evapotranspiração média diária, % em relação ao modelo padrão (EToPM), erro-padrão (SEE), equação de regressão ajustada (a e b), coeficiente de determinação (r^2), erro-padrão ajustado (ASEE) e erro-padrão ponderado (SEEp), para de Rio Branco-AC, referente ao período 1981 a 2006.

Métodos	ETo	%	a	b	r^2	SEE	ASEE	SEEp
EToBL	4,00	118	-0,0462*	0,8615*	0,5255*	0,8376	0,5753	0,7510
EToC	3,92	115	0,4711*	0,7472*	0,2613*	0,8989	0,7177	0,8391
EToHS	4,51	133	0,1093*	0,7295*	0,4540*	1,2893	0,6170	1,0159
EToK	6,23	183	-1,3592*	0,7637*	0,3726*	2,9139	0,6616	2,1706

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

CONCLUSÕES

As melhores estimativas da evapotranspiração de referência para o município de Rio Branco foi obtida pelo modelo de Benevides-Lopez.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Dranaige Paper, 5), 1998. 300p.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa de evapotranspiração de referência em Urussunga, SC. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.

BORGES, A. C., MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio Jacupiranga, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

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

HENRIQUE, F. de A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Santa Maria, RS, 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. (Manuals and reports of engineering practice, 70).