

MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) PARA RIO BRANCO, ACRE

J. W. de SOUSA¹; P. de A. FERRAZ²; M. L. A. de SOUZA³

RESUMO: Com o objetivo de se comparar métodos de estimativa da ET_o para o município de Rio Branco-AC, foram avaliados os métodos de Makkink, Jensen & Haise, Penman simplificado e Radiação, tendo como padrão o método Penman-Monteith-FAO. Utilizou-se dados climáticos diários coletados em estação climatológica convencional. Pela análise comparativa entre os métodos de estimativa da ET_o com o padrão PM, o método que obteve melhor desempenho foi o método de Makkink.

PALAVRAS CHAVE: Penman-Monteith-FAO-56, evapotranspiração, métodos.

METHODS OF ESTIMATE OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION (ET_o) FOR RIO BRANCO, ACRE

SUMMARY: In order to compare methods for estimating the ET_o for the city of Rio Branco-AC, the methods were evaluated, Makkink, Jensen & Haise, Penman simplified and Radiation, with the standard method the Penman-Monteith-FAO. It was used daily weather data collected at station climatological conventional. By comparison between the methods of estimating the ET_o with the PM standard, the method that won best performance was the method of Makkink.

KEYWORDS: Penman-Monteith-FAO-56, evapotranspiration, methods.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET_o) é considerada um fator básico na determinação do total de água necessária durante o ciclo de uma cultura, quando se deseja um manejo racional da água na prática da irrigação (SANTOS et al., 1996). Diversos são os

¹ Eng. Agrônomo. Prof. Adjunto, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre. Cx. Postal: 9015, CEP: 69915-900, Rio Branco, AC. Fone: (068) 3901 2548. e-mail: jws@ufac.br.

² Biólogo. Pesquisador. Mestrando em Agronomia. PZ/UFAC. Rio Branco, AC. e-mail: paferraz@ufac.br.

³ Eng. Agrônoma. Mestranda em Agronomia. CCBN/UFAC. Rio Branco, AC, e-mail: mosele_aquino@yahoo.com.br.

métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência, no entanto, os mesmos são empregados em condições climáticas e agronômicas diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos, sendo assim relevante, avaliar o grau de exatidão desses métodos, antes de utilizá-los para essa nova condição (OLIVEIRA et al., 2001).

Em alguns casos o emprego do método de Penman-Monteith recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998) é restringido pela indisponibilidade de dados meteorológicos, o que exige o uso de métodos mais simples. O objetivo desse trabalho foi comparar estimativas da evapotranspiração de referência pelos métodos de Makkink, Jensen & Haise, Penman simplificado e Radiação, com o método padrão (Penman-Monteith-FAO) nas condições edafoclimáticas de Rio Branco, AC.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados, foram obtidos na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, localizada na área experimental do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza/Universidade Federal do Acre, em Rio Branco-AC, que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 9° 58' S, longitude 67° 48' W e altitude de 168 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima de Rio Branco é classificado como Am, clima quente, megatérmico e úmido. Os dados climáticos diários disponíveis para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foram: insolação; temperaturas do ar: máxima, mínima e média; temperatura do bulbo úmido; pressão atmosférica; evaporação do atmômetro de Piché e velocidade do vento medida a 10 m de altura, referentes ao período de 1981 a 2006. Ao correlacionar os valores estimados de evapotranspiração de referência pelos métodos avaliados com o método de Penman-Monteith, empregou-se um coeficiente de confiança ou desempenho “c”, que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação “r” pelo coeficiente de exatidão “d” proposto por WILLMONT et al. (1985) e descrito por CAMARGO & SENTELHAS (1997) da seguinte forma:

$$d = 1 - \{ \sum (P_i - O_i)^2 / \sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2 \} \quad (1)$$

em que, d - coeficiente de concordância; P_i - valores estimados pelos métodos avaliados; O_i - valores obtidos utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO e O - média dos valores estimados pelo modelo de Penman-Monteith-FAO. O desempenho dos métodos foi classificado como: ótimo para valores de “c” maiores que 0,85; muito bom para valores 0,76 a 0,85; bom para valores 0,66 a 0,75; regular para valores 0,51 a 0,65; ruim para valores 0,41 a

0,50 e péssimo para valores inferiores a 0,40. Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência foram:

Método de Penman-Monteith (EToPM):

$$EToPM = (\Delta/\Delta + \gamma^*) (Rn - G) / \lambda_{evap} + (\gamma/\Delta + \gamma^*) 900 / (T_{med} + 273) v_2 (e_s - e_a) \quad (2)$$

em que, EToPM - evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (mm dia⁻¹); Δ - inclinação da curva de pressão de saturação de vapor da temperatura do ar (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).

Método de Makkink (EToMAKK):

$$EToMAKK = 0,61 W R_s - 0,12 \quad (3)$$

em que, EToMAKK - evapotranspiração de referência pelo método Makkink (mm dia⁻¹); R_s - radiação solar global disponível ao nível da superfície (mm dia⁻¹); W - fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo úmido (T_u).

Método de Jensen & Haise (EToJH):

$$EToJH = R_g (0,078 + 0,0252 T_{med}) \quad (4)$$

em que, EToJH - evapotranspiração de referência pelo método de Jensen & Haise; R_g - radiação global (mm dia⁻¹); T_{med} - temperatura média do ar (°C);

Método de Penman simplificado (Outono-Inverno)

$$EToPS_{o-i} = Q_o / 59 (0,17 + 0,11 n/N) + 0,28 p_i \quad (5)$$

em que, EToPS_{o-i} - evapotranspiração de referência pelo método de Penman simplificado, para o período de abril a setembro; Q_o - radiação extraterrestre (cal cm⁻² dia⁻¹); n - brilho solar (h); N - duração astronômica do dia (h); P_i - evaporação do atmômetro de Piché (mm dia⁻¹).

Método de Penman Simplificado (Primavera-Verão)

$$EToPS_{p-v} = Q_o / 59 (0,19 + 0,23 n/N) + 0,28 p_i \quad (6)$$

em que, EToPS_{p-v} - evapotranspiração de referência pelo método de Penman simplificado no período de maio a agosto.

Método de Radiação

$$EToRA = 1,12 (R_n / 59) - 0,11 \quad (7)$$

em que, EToRA - evapotranspiração de referência pelo método da Radiação; R_n - saldo de radiação solar (mm dia⁻¹).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores mínimos, máximos e médios mensais da evapotranspiração de referência (ET_o) para o município de Rio Branco, estimados pelo método Penman-Monteith (ET_oPM), Makkink (ET_oMAKK), Jensen-Haise (ET_oJH), Penman simplificado (ET_oPS) e Radiação (ET_oRA), estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que no método Padrão (ET_oPM), os valores mínimo e máximo mensais da ET_o estimados, foram 0,89 mm dia⁻¹ no mês de junho e 6,42 mm dia⁻¹ no mês de outubro, com valor médio anual de 3,39 mm dia⁻¹. Em relação aos demais métodos, os valores mínimos mensais das ET_o estimadas variaram desde 1,07 mm dia⁻¹ para o método de ET_oRA no mês de junho a 2,97 mm dia⁻¹ para o método de ET_oJH no mês de janeiro. Os valores máximos mensais variaram desde 3,42 mm dia⁻¹ para o método de ET_oPS no mês de junho a 9,98 mm dia⁻¹ para o método de ET_oJH no mês de agosto. Constata-se ainda na Tabela 1, que ao longo do ano, os valores médios mensais da ET_o estimados pelos métodos (ET_oPS) 3,11 mm dia⁻¹ e (ET_oMAKK) 3,05 mm dia⁻¹, foram os que mais se aproximaram do método padrão (PM), e os que mais se distanciaram foram (ET_oJH) 5,03 mm dia⁻¹ e (ET_oRA) 2,76 mm dia⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por OLIVEIRA et al. (2005), com superestimativa da ET_o pelo método de Jensen-Haise em cerca de 25%, em relação ao método Penman-Monteith-FAO.

TABELA 1. Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹) média mensal, estimada pelos métodos de ET_oPM, ET_oMAKK, ET_oJH, ET_oPS e ET_oRA para o município de Rio Branco.

Métodos		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
ET_oPM	Mín	2,09	2,09	1,94	4,97	1,43	0,89	1,20	1,59	1,60	1,85	1,69	1,96	0,89
	Máx	5,78	5,88	5,59	4,67	4,30	4,29	4,81	7,35	6,00	6,42	6,22	6,15	7,35
	Méd	3,49	3,36	3,38	3,20	2,95	2,79	3,12	3,37	3,70	3,95	3,77	3,61	3,39
ET_oMAKK	Mín	1,87	1,77	1,75	1,49	1,30	1,11	1,12	1,34	1,51	1,71	1,62	1,85	1,11
	Máx	5,52	5,55	5,14	4,71	4,26	4,04	5,55	4,89	4,99	5,36	5,74	5,39	5,74
	Méd	3,03	2,91	2,94	2,87	2,75	2,73	3,14	3,08	3,21	3,46	3,32	3,15	3,05
ET_oJH	Mín	2,97	2,76	2,56	2,00	1,78	1,10	1,34	1,77	2,05	2,46	2,10	2,87	1,10
	Máx	9,50	9,33	8,85	7,90	7,15	6,72	8,72	9,98	8,99	9,40	9,60	9,13	9,98
	Méd	5,04	4,84	4,90	4,76	4,52	4,38	4,98	5,01	5,32	5,80	5,53	5,26	5,03
ET_oPS	Mín	2,25	2,27	2,18	1,60	1,52	1,37	1,29	1,67	1,82	2,20	2,24	2,27	1,29
	Máx	5,63	5,82	5,46	3,77	3,59	3,42	4,17	4,03	4,22	5,69	6,16	5,65	6,16
	Méd	3,47	3,37	3,38	2,59	2,50	2,45	2,70	2,74	2,89	3,87	3,77	3,59	3,11
ET_oRA	Mín	1,74	1,64	1,63	1,40	1,23	1,07	1,08	1,27	1,42	1,59	1,52	1,72	1,07
	Máx	4,92	4,94	4,58	4,21	3,82	3,62	4,94	4,37	4,45	4,78	5,11	4,60	5,11
	Méd	2,75	2,64	2,67	2,60	2,50	2,48	2,84	2,79	2,90	3,12	3,00	2,85	2,76

A Tabela 2 apresenta as equações de regressão ajustadas, alguns índices estatísticos, além da classificação dos métodos para Rio Branco-AC. Observa-se que os métodos (ET_oJH)

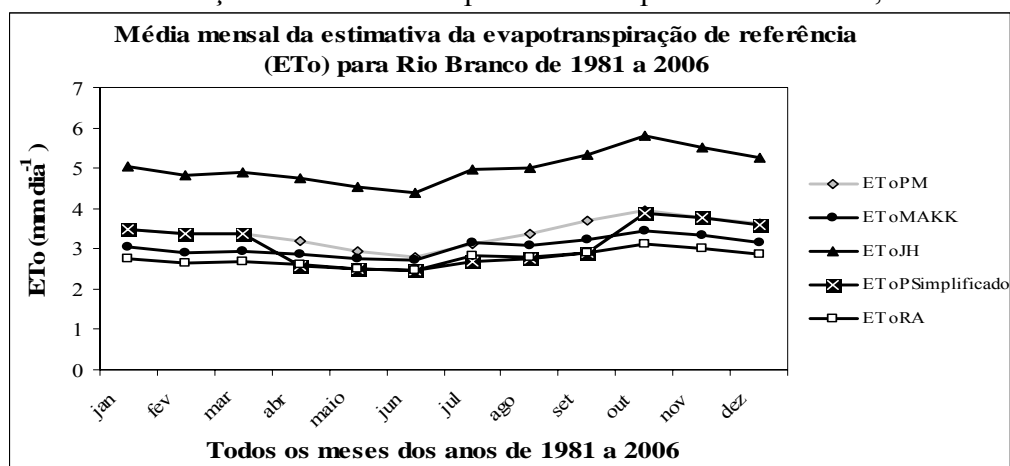
e (EToRA), apesar de terem sido classificados com desempenho Péssimo, os mesmos apresentaram elevados coeficientes de correlação “r”, 0,94 e 0,92, o que sugere, que este índice isolado, não é suficiente para a seleção ou indicação de modelos. Os métodos com melhor desempenho foram Makkink, classificado como muito bom, com coeficiente “c” 0,76 e o método de Penman simplificado classificado como regular, com “c” igual a 0,61. Resultados semelhantes foram obtidos por CAMARGO & SENTELHAS (1997), em condições de clima sub-tropical úmido do Estado de São Paulo, onde o método de Makkink, apresentou bom desempenho em correlação com dados de evapotranspirômetros.

TABELA 2. Valores dos coeficientes de correlação “r”, exatidão “d”, desempenho “c”, variação “cv” e classificação dos métodos para a (ETo) em mm dia⁻¹, para Rio Branco-AC.

Métodos	Equação de regressão $Y = a + bx$	Índices				Classificação
		“r”	“d”	“c”	“cv”	
EToMAKK	$Y = 0,7327 + 0,8714x$	0,92	0,83	0,76	0,29	Muito bom
EToJH	$Y = 0,7412 + 0,5269x$	0,94	0,26	0,24	0,30	Péssimo
EToPS	$Y = 0,6295 + 0,8885x$	0,80	0,76	0,61	0,24	Regular
EToRA	$Y = 0,6281 + 1,0001x$	0,92	0,41	0,38	0,28	Péssimo

Na Figura 1, observa-se que os valores médios mensais das estimativas da ETo para o município de Rio Branco, apresentaram comportamento sazonal semelhante, o que indica uma correlação razoável entre os métodos.

FIGURA 1. Variação da ETo mensal para o município de Rio Branco, Acre.



Constata-se ainda ao longo do ano (Figura 1), uma tendência de superestimativa da ETo pelo método EToJH, e subestimativa pelos métodos EToMAKK e EToRA, em relação ao padrão, confirmando os resultados obtidos por ARAÚJO et al. (2007) em Boa Vista, Roraima, onde o modelo de Makkink, subestimou o método padrão em todos os meses do ano.

CONCLUSÕES

Os métodos de Makkink e Penman simplificado, apresentaram os melhores desempenhos para a estimativa da ETo na região de Rio Branco, Acre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A.A.; RODRIGUES, T. G.; MACIEL, F.C.S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para Boa Vista, RR In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15., Aracaju. **CD...** Aracaju:SBA, 2007.

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, RS, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** Piracicaba: ESALQ, 2002 103p. (Tese Doutorado)

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, GO, v. 31, n. 2, p. 121-126, 2001.

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. **Biosci. J.**, Uberlândia, MG, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002, 478 p.

SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, O.; CUNHA, G. R. Necessidades hídricas da alfafa: coeficientes de cultura (Kc) no período pós-corte. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, RS, v. 4, n. 1, p. 37-40, 1996.

WILLMOT, C. J.; DAVIS, R. E.; ACKLESON, S. G.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNEELL, J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.