

EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA EM BOA VISTA (RR) COM BASE NA TEMPERATURA DO AR

**WELLINGTON FARIAS ARAÚJO¹; MARCO ANTONIO FONSECA CONCEIÇÃO²;
JEFFERSON BITTENCOURT VENANCIO³**

¹Prof. Dr. Associado da UFRR/CCA, Boa Vista, RR. E-mail: wellington@cca.ufr.br

² Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho/EVT, Jales, SP.

³ Discente, POSAGRO – UFRR/Embrapa Roraima, Boa Vista, RR.

1 RESUMO

O método padrão de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) emprega variáveis meteorológicas nem sempre disponíveis aos produtores rurais, que muitas vezes apresentam apenas registros de temperatura. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar, para as condições de Roraima, diferentes métodos para a estimativa diária de ET_o baseados na temperatura do ar, comparando-os com o método padrão. Os dados foram coletados na estação meteorológica automática da Universidade Federal de Roraima, em Boa Vista (RR), entre agosto e novembro de 2011. Foi considerado como padrão para a estimativa de ET_o o método de Penman-Monteith-FAO. Os métodos avaliados foram os de Camargo (ET_{oC}), Camargo Modificado (ET_{oCm}), Hargreaves-Samani (ET_{oH}) e o de Hargreaves-Samani modificado (ET_{oHm}). Em todos os métodos foi avaliado o uso de valores diários e mensais da radiação solar no topo da atmosfera (R_a) e da temperatura média do ar (T_{med}) calculada pela média dos registros horários e pela média entre a temperatura máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar. O método de Hargreaves-Samani modificado (ET_{oHm}) apresentou o melhor desempenho, não havendo diferença quando do uso de valores diários e mensais de R_a e quanto ao procedimento de cálculo de T_{med}. Com isso, facilita-se a estimativa de ET_o pelo emprego de valores mensais tabelados de R_a e pelo uso apenas de termômetros de máxima e mínima como instrumento de registro de dados meteorológicos.

Palavras-Chave: método de Camargo, método de Hargreaves-Samani, irrigação

ARAÚJO, W. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; VENÂNCIO, J.B. DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN BOA VISTA (RORAIMA - BRAZIL) BASED ON AIR TEMPERATURE

2 ABSTRACT

The standard method for estimating reference evapotranspiration (ET_o) employs meteorological variables those are not always available to farmers, who often have only temperature records. Thus, this study aimed to evaluate different methods for estimating daily ET_o for the state of Roraima, Brazil, based on air temperature, comparing them with the standard method. Data were collected from automatic weather station at the Federal University of Roraima, Boa Vista, between August and November 2011. It was regarded the Penman-Monteith-FAO (ET_{oPM}) method as the standard one to estimate ET_o. The evaluated methods were the Camargo (ET_{oC}), the Camargo Modified (ET_{oCm}), the Hargreaves-Samani (ET_{oH}) and the Hargreaves-Samani Modified (ET_{oHm}) methods. In all methods was

evaluated the use of daily and monthly values of solar radiation at the top of the atmosphere (R_a) and the average air temperature (T_{med}) calculated by the average hourly records and the average between the maximum (T_{max}) and minimum (T_{min}) air temperature. The Hargreaves-Samani Modified method (EToHm) presented the best performance, with no difference when using daily and monthly values of R_a and by using different procedures to T_{med} calculation. This makes it easier to estimate ETo by the use of monthly tabulated values of R_a and by using only maximum and minimum thermometers as a tool for recording weather data.

Keywords: Camargo method, Hargreaves method, irrigation

3 INTRODUÇÃO

A irrigação é considerada como essencial para produção agrícola em regiões áridas, semiáridas e em outras onde há uma distribuição irregular de chuva. Entretanto, para bons rendimentos, a prática da irrigação deve ser conduzida de modo a repor uma água de qualidade na quantidade adequada a necessidade hídrica da cultura. Essa quantidade a ser aplicada via irrigação tem como principal parâmetro o conhecimento da evapotranspiração.

A evapotranspiração (ET) é o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas, sendo influenciado principalmente, em termos de clima, pela radiação líquida, temperatura, umidade do ar e o vento (Pereira et al., 2002). Como sua medida é difícil e onerosa, o que ocorre, em geral, é a estimativa dos valores da demanda evaporativa com base em elementos meteorológicos medidos. Essa demanda pode ser expressa como evapotranspiração de referência (ETo) que, para uma determinada cultura prediz o efeito do clima sobre a demanda hídrica desde que se tenha os valores do coeficiente da cultura (K_c) que é um indicativo da necessidade de água em cada estágio de desenvolvimento da cultura. Assim, para uma dada cultura estima-se sua demanda hídrica pela multiplicação dos valores de K_c e ETo (Bernardo et al., 2006).

Existem diversos modelos para a determinação da ETo, que vão desde as mais complexas equações de energia, necessitando de muitas variáveis climatológicas, a equações mais simples, que necessitam apenas de um elemento meteorológico. Segundo Pereira et al. (1997), os métodos para estimativa da ETo podem ser divididos em cinco categorias, a saber: i) empíricos, ii) aerodinâmicos, iii) balanço de energia, iv) combinados e v) correlação de turbilhões.

O método de Penman-Monteith-FAO (Allen et al., 1998), que é um método combinado, é considerado padrão para a estimativa de ETo. Ele emprega, entretanto, muitas variáveis meteorológicas que nem sempre estão disponíveis aos produtores rurais, especialmente em pequenas áreas que, normalmente, apresentam apenas registros de temperatura do ar. Por outro lado, os métodos empíricos, frutos da correlação da ETo medida em condições padronizadas com elementos meteorológicos medidos nesses mesmos locais, requerem uma quantidade menor de variáveis e podem apresentar-se com boa aplicabilidade. Entretanto, Pereira et al. (2009) recomendam que, antes de aplicar um método para determinado local, é preciso verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações, a fim de minimizar erros de estimativa. Por essa razão, vários trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de se avaliar o desempenho de métodos mais simples em relação ao método padrão nas várias regiões do Brasil, tal como no Sudeste (Araújo et al., 2011; Silva et al., 2011; Souza et al., 2011a), no Sul (Back, 2008; Syperreck et al., 2008), no Nordeste

(Borges Júnior et al., 2012; Gonçalves et al., 2009) e no Centro-Oeste (Oliveira et al., 2011b; Silva et al., 2011).

Para região Norte do país, entretanto, poucas informações sobre a estimativa de ETo estão disponíveis na literatura. Souza (2009) avaliou oito modelos para a estimativa de ETo em Rio Branco, AC, considerando-se dados diários, decendiais e mensais. Souza et al. (2011b) avaliaram quatro modelos para a estimativa de ETo mensais para Cruzeiro do Sul, AC, onde os modelos de Hargreaves & Samani e Camargo superestimaram ETo em relação ao método de Penman (1948), em todos os meses do ano. Em Boa Vista (RR), Araújo et al. (2007) avaliaram diferentes métodos para a estimativa mensal de ETo. Nesse Estado, contudo, há um interesse crescente pelo uso da irrigação (Araújo et al., 2010; Barberena et al., 2011; Oliveira et al., 2011a), fazendo-se necessária a obtenção de métodos simplificados que permitam a estimativa diária de ETo.

O presente trabalho teve, assim, por objetivo avaliar, para as condições de Boa Vista (RR), diferentes métodos para a estimativa diária de ETo com base na temperatura do ar, comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith-FAO.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As medidas necessárias à realização do experimento foram coletadas numa estação automática da marca Imetos SD da Pessl instrumentos, instalada em área de 500 ha pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Roraima em Boa Vista, RR, cujas coordenadas geográficas de referências são: 2° 49' 17" N, 60° 39' 45" W e 90 m. Foram utilizados dados meteorológicos diários coletados de agosto a novembro de 2011 (n = 89). O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO foi empregado como padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência (EToPM), conforme procedimento apresentado por Allen et al. (1998):

$$EToPM = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{(T_{med} + 273) s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:

EToPM = evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

s = declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura, kPa °C⁻¹;

R_n = radiação líquida total diária, MJ m⁻² dia⁻¹;

G = fluxo total diário de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹;

U₂ = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa;

e_a = pressão parcial de vapor, kPa, e

T_{med} = temperatura média do ar, °C.

O fluxo de calor no solo (G) foi considerado igual a zero, valor que pode ser assumido para períodos diários (Allen et al., 1998). A radiação líquida (R_n) foi estimada com base na radiação global incidente, empregando-se o seguinte procedimento apresentado por Allen et al. (1998):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2)$$

em que:

Rns = saldo de radiação de ondas curtas ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

Rnl = saldo de radiação de ondas longas ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

Os valores de Rns foram calculados pela expressão:

$$Rns = (1 - \alpha) R_s \quad (3)$$

Em que:

R_s = radiação solar incidente ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), medida na estação meteorológica;

α = coeficiente de reflexão da vegetação (albedo), sendo considerado igual a 0,23 para a cultura de referência (grama).

Os valores de Rns foram calculados pela expressão:

$$Rnl = \sigma \left[\frac{(T_{\max} + 273,16)^4 + (T_{\min} + 273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (4)$$

em que:

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$);

R_{so} = radiação solar incidente na ausência de nuvens ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);

e_a = pressão atual de vapor (kPa).

O valor de "Rso" pode ser calculado pela expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad (5)$$

em que:

z = altitude (m);

R_a = radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), calculada por:

$$R_a = \frac{118,08}{\pi} dr [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (6)$$

em que:

φ = latitude do local em radianos;

dr = distância inversa relativa entre a Terra e o Sol (rad);

δ = declinação solar (rad);

ω_s = ângulo horário ao nascer do sol (rad).

O valor de dr foi calculado por:

$$dr = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (7)$$

sendo "J" o dia do ano (de 1 a 365 ou 366, para bissexto). O valor de δ é dado por:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (8)$$

O ângulo horário ao nascer do sol (ω_s) foi calculado por:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[\frac{-\tan(\varphi) \tan(\delta)}{X^{0,5}} \right] \quad (9)$$

em que:

$$X = (1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2) . \quad (10)$$

Quando X for ≤ 0 , utiliza-se um valor igual a 0,00001.

Os valores de EToPM foram comparados com os métodos de Camargo (EToC) e Hargreaves-Samani (EToH), descritos com base em Pereira et al. (1997):

$$EToC = 0,408 F Ra Tmed \quad (11)$$

$$EToH = 0,408 0,0023 Ra (Tmax - Tmin)^{0,5} (Tmed + 17,8) \quad (12)$$

em que:

EToC = evapotranspiração de referência pelo método de Camargo (mm dia^{-1});

EToH = evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves-Samani (mm dia^{-1});

F = constante igual a 0,012 para valores de Tmed anual superiores a $26,0^\circ\text{C}$ (Pereira et al., 1997);

Ra = radiação solar incidente no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$);

Tmed, Tmax e Tmin = respectivamente, temperaturas média, máxima e mínima do ar ($^\circ\text{C}$).

Também foram avaliadas modificações de EToC (EToCm) e EToH (EToHm). Os valores de EToCm foram calculados segundo procedimento desenvolvido por Camargo et al. (1999), substituindo-se a temperatura média do ar (Tmed) pela temperatura efetiva do ar (Tef), de acordo com a equação:

$$Tef = 0,36 (3 Tmax - Tmin) \quad (13)$$

em que:

Tef = temperaturas efetiva do ar ($^\circ\text{C}$).

Já os valores de EToHm foram obtidos de acordo com a modificação apresentada por Conceição (2010), onde o termo referente à amplitude térmica (Tmax - Tmin) é substituído pela equação de Bristow-Campbell (Bristow & Campbell, 1984):

$$EToHm = 0,408 \cdot Ra [1 - \exp(-0,005 (Tmax - Tmin)^{2,4})] (Tmed + 17,8) \quad (14)$$

em que:

EToHm = equação modificada de Hargreaves-Samani (mm dia^{-1}).

Todas as equações foram avaliadas empregando-se valores diários e mensais de Ra e valores de Tmed calculados a partir da média dos valores horários do dia e da média entre Tmax e Tmin. As comparações entre os valores de EToPM e dos demais métodos foram avaliadas empregando-se regressões lineares e o índice "c", proposto por Camargo & Sentelhas (1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo índice de concordância (d) de Willmott et al. (1985):

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{\sum (|X_i - Y_m| + |Y_i - Y_m|)^2} \right\} \quad (15)$$

em que,

d = coeficiente de exatidão, adimensional;

X_i = valores de EToH e EToB, mm dia⁻¹;

Y_i = valores de EToPM, mm dia⁻¹; e

Y_m = média dos valores de EToPM, mm dia⁻¹.

O desempenho foi classificado como ótimo, para valores de “c” maiores que 0,85; como muito bom para valores entre 0,76 e 0,85; como bom para valores entre 0,66 e 0,75; como regular para valores entre 0,51 e 0,65; como ruim para valores entre 0,41 e 0,50; e como péssimo para valores inferiores a 0,40.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura média do ar (T_{med}), durante o período de avaliação, ficou entre 24,5°C e 30,1°C, com média de 27,7°C (Tabela 1). As temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) variaram entre 26,8°C e 36,0°C e entre 21,3°C e 24,9°C, respectivamente. Observa-se que a menor amplitude foi observada nos valores de T_{min}, que apresentaram diferença de apenas 3,6°C entre o maior e o menor valor registrado no período. A baixa amplitude das temperaturas mínimas são características de regiões de baixas latitude e altitude, como acontece com Boa Vista (RR). Em comparação com as normais climatológicas de Boa Vista (Ramos et al. , 2009), os valores médios de temperaturas médias, máximas e mínimas observados mostraram-se dentro dos intervalos das médias históricas das respectivas temperaturas, indicando que os valores coletados foram obtidos em um ano normal da região. Ramos et al. (2009) também relatam valores absolutos, obtidos em anos atípicos, de temperaturas máxima de 37,7°C (outubro de 1982) e de temperaturas mínimas de 10,2°C (outubro de 1971), valores extremos não observados no presente trabalho.

Tabela 1. Valores médios, máximos e mínimos e coeficientes de variação (CV) para a temperatura média (T_{med}), mínima (T_{min}) e máxima (T_{max}) do ar e para a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Camargo (EToC), Hargreaves-Samani (EToH), Camargo Modificado (EToCm) e Hargreaves-Samani Modificado (EToHm), em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO (EToPM). Boa Vista, RR, 2011.

Variável	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
T _{med} (°C)	27,7	24,5	30,1	3,5
T _{min} (°C)	23,4	21,3	24,9	3,2
T _{max} (°C)	33,8	26,8	36,0	4,8
EToPM (mm dia ⁻¹)	4,1	1,1	5,2	20,1
EToC (mm dia ⁻¹)	5,0	4,3	5,3	4,7
EToH (mm dia ⁻¹)	5,0	2,7	5,9	10,1
EToCm (mm dia ⁻¹)	5,0	3,6	5,6	6,6
EToHm (mm dia ⁻¹)	4,8	0,6	6,2	19,4

Os valores de EToPM, por sua vez, variaram entre 1,1 mm dia⁻¹ e 5,2 mm dia⁻¹, com média de 4,1 mm dia⁻¹ (Tabela 1). Essa oscilação foi devida à ocorrência de precipitações

pluviais esporádicas no período, fator que reduz a radiação solar e aumenta a umidade relativa do ar, implicando, conseqüentemente, em uma redução da evapotranspiração de referência (Allen et al., 1998).

Os valores médios de todos os modelos superestimaram o de EToPM, sendo que as médias de EToC, EToCm, EToH foram iguais a $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$ e a de EToHm foi de $4,8 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 1). As estimativas que empregaram o modelo de Camargo (EToC e EToCm) apresentaram menores diferenças entre os valores mínimos e máximos no período. Da mesma maneira, observa-se que os maiores coeficientes de variação (CV) foram obtidos empregando-se EToPM e EToHm, demonstrando que esse último modelo foi mais sensíveis às oscilações da evapotranspiração de referência no período analisado.

Os coeficiente de determinação (R^2) dos modelos avaliados em relação a EToPM apresentaram valores entre 0,64 e 0,70 (Figuras 1 a 4). Embora a diferença na base de dados, esses valores foram semelhantes aos obtidos por Araújo et al. (2007) com o método de Hargreaves-Samani, usando dados mensais para a mesma localidade. Souza (2009), entretanto, observou valores inferiores de R^2 para as condições de Rio Branco (AC), tanto para EToC como para EToH. Souza et al. (2011b) também observaram que os valores de EToH superestimaram os resultados obtidos empregando-se o método de Penman (1948), em Cruzeiro do Sul, AC.

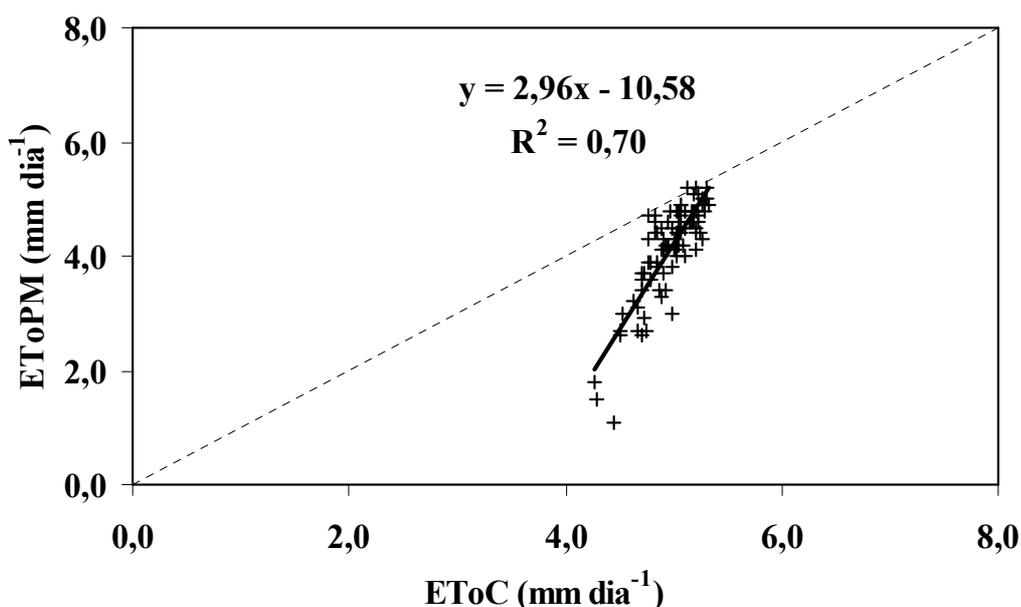


Figura 1. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Camargo (EToC), em relação ao método padrão (EToPM). Boa Vista (RR), 2011.

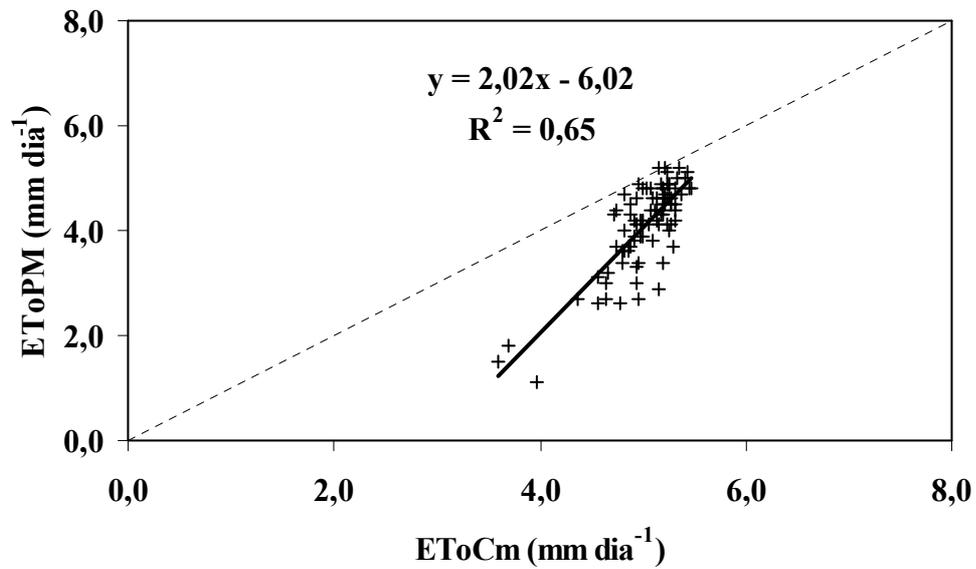


Figura 2. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Camargo modificado (EToCm), em relação ao método padrão (EToPM). Boa Vista (RR), 2011.

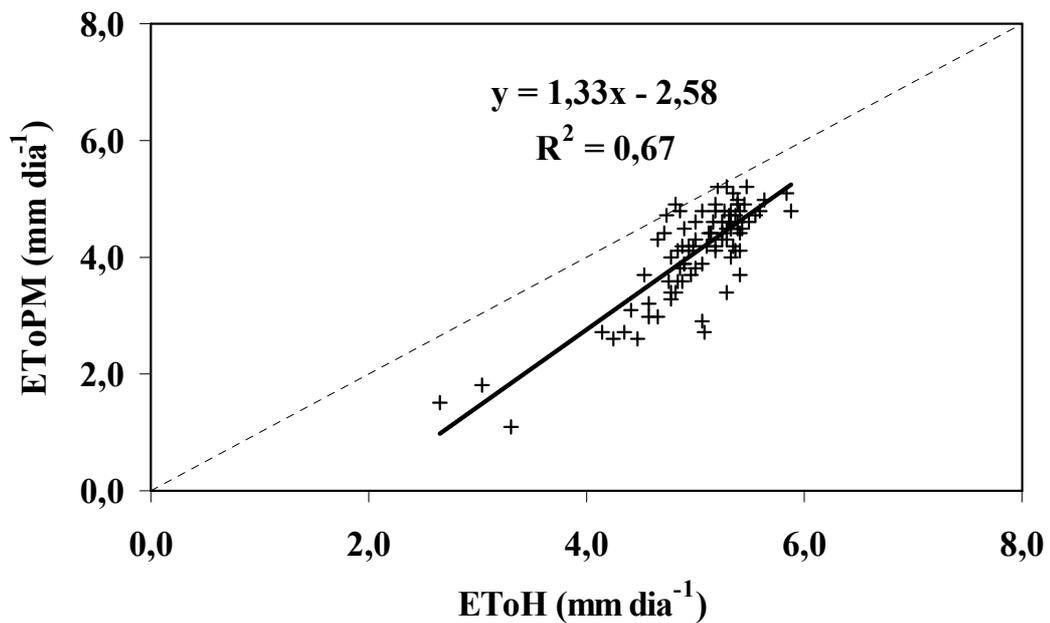


Figura 3. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Hargreaves-Samani (EToH), em relação ao método padrão (EToPM). Boa Vista (RR), 2011.

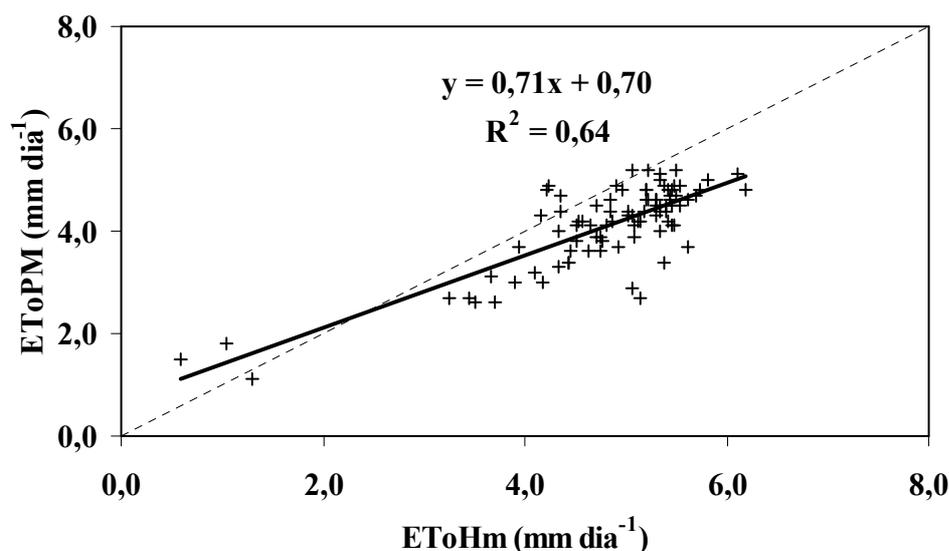


Figura 4. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Hargreaves modificado (EToHm), em relação ao método padrão (EToPM). Boa Vista (RR), 2011.

O uso do método de Camargo, tanto o original (EToC) como o modificado (EToCm), resultou em valores de “c” próximos entre si (entre 0,43 e 0,45, respectivamente) e desempenhos classificados como ruins, de acordo com o critério adotado (Tabela 2). Para as condições de Rio Branco (AC), o desempenho de EToC foi classificado como péssimo, com valor de “c” igual a 0,33 (Souza, 2009). Deve-se ressaltar, entretanto, que o valor observado no presente trabalho reflete as condições meteorológicas do período do ano em que há uma redução na ocorrência de precipitação pluvial (Araújo et al., 2001) e, conseqüentemente, uma maior demanda para o uso da irrigação. É possível, no entanto, que durante o período mais chuvoso do ano os valores de “c” para EToC apresentem valores mais altos, uma vez que desempenho desse modelo tende a ser melhor em condições de maior nebulosidade (Borges Júnior et al., 2012; Souza et al., 2011a).

Tabela 2. Valores e classificação do coeficiente de desempenho (c) para a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Camargo (EToC), Hargreaves-Samani (EToH), Camargo Modificado (EToCm) e Hargreaves-Samani Modificado (EToHm), em relação ao método padrão de Penman-Monteith-FAO (EToPM). Boa Vista, RR, 2011.

Método	Condição 1 ^a		Condição 2 ^b	
	c	Classificação	c	Classificação
EToC	0,44	Ruim	0,43	Ruim
EToH	0,52	Regular	0,52	Regular
EToCm	0,45	Ruim	0,44	Ruim
EToHm	0,62	Regular	0,62	Regular

^aCondição 1 – Ra diária e Tmed igual à média dos valores horários.

^bCondição 2 – Ra mensal e Tmed igual à média aritmética de Tmax e Tmin.

O método de Hargreaves-Samani apresentou desempenho superior ao de EToC e de EToCm, com valores de “c” iguais a 0,52, para o modelo original (EToH), e 0,62 para o

modificado (EToHm), ambos classificados como de desempenho regular (Tabela 2). Souza (2009) obteve, para as condições de Rio Branco (AC), um valor de “c” para EToH igual a 0,41, inferior, portanto, ao observado no presente trabalho.

O método de Hargreaves-Samani, ao contrário do método de Camargo, tende a apresentar melhor desempenho em condições de menor nebulosidade (Souza et al., 2011), sendo, portanto, mais indicado em regiões ou períodos de maior demanda pelo uso da irrigação. Nesse método está implícita a estimativa da radiação solar global (R_s) em função da amplitude térmica do ar. Quando essa estimativa foi substituída pela equação de Bristow-Campbell (EToHm) os valores de “c” aumentaram, uma vez que essa equação tende a apresentar uma melhor estimativa de R_s (Conceição, 2010). O desempenho de EToHm foi, inclusive, superior ao obtido por Araújo et al. (2007), em Boa Vista, usando valores mensais de EToH.

Observa-se que o procedimento de cálculo de R_a e de T_{med} não interferiu no desempenho dos modelos (Tabela 2). De fato, as correlações entre os valores de EToCm, EToH e EToHm sob a condição 1 (R_a diária e T_{med} igual à média dos valores horários), em relação aos respectivos valores sob a condição 2 (R_a mensal e T_{med} igual à média aritmética de T_{max} e T_{min}), apresentaram coeficientes de determinação (R^2) e coeficientes angulares próximos a 1,0, sendo as retas forçadas a passarem pela origem (Figuras 6 a 8). Já a correlação entre os valores de EToC, sob as duas condições (Figura 5), apresentou coeficiente de determinação menor ($R^2 = 0,75$). Esse menor coeficiente ocorreu porque, ao contrário dos outros métodos que empregam também valores de T_{max} e T_{min} (eq. 12, 13 e 14), o cálculo de EToC emprega apenas valores de T_{med} (eq. 11). Por outro lado, os valores diários de R_a em condições de baixa latitude tendem a apresentar pequena amplitude durante o ano, fazendo com que eles apresentem pequenas dispersões em relação às médias mensais. Esses resultados permitem, assim, a adoção de valores tabelados de R_a e do uso de termômetros de máxima e mínima para a obtenção dos valores de T_{med} utilizados nas equações. Esse procedimento facilita a estimativa diária de ETo, uma vez que o termômetro de máxima e mínima é de fácil manuseio, tem baixo custo e que os produtores rurais, especialmente os pequenos, muitas vezes só dispõem desse aparelho em suas propriedades.

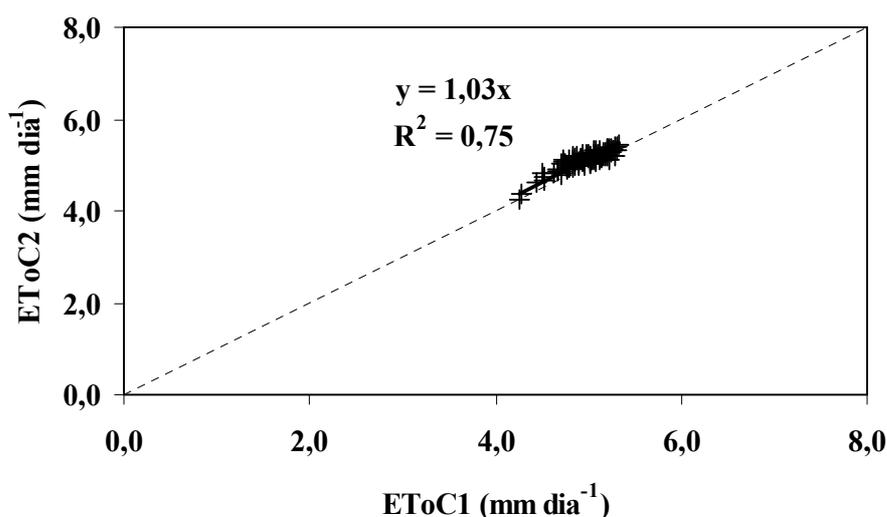


Figura 5. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Camargo (EToC), considerando-se a Condição 1 (R_a

diária e Tmed igual à média dos valores horários) e a Condição 2 (Ra mensal e Tmed igual à média aritmética de Tmax e Tmin). Boa Vista (RR), 2011.

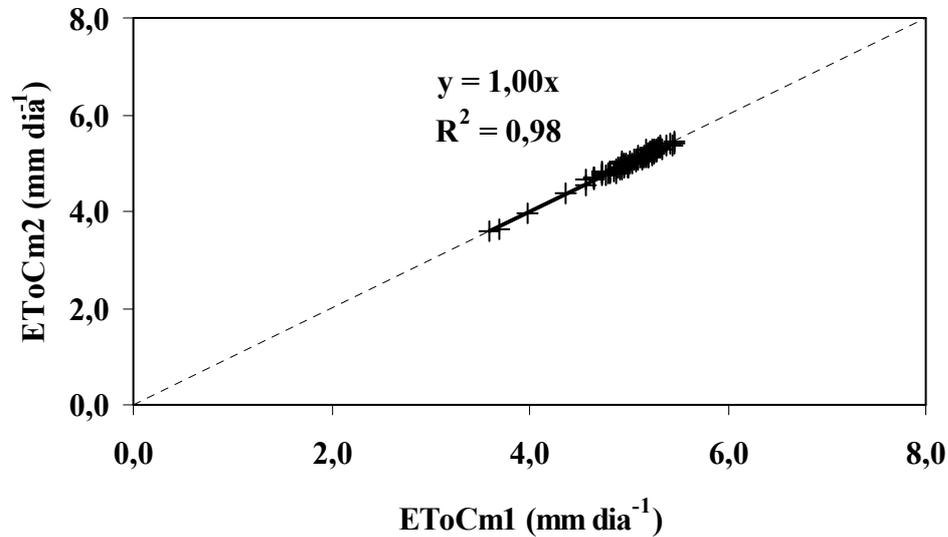


Figura 6. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Camargo modificado (EToCm), considerando-se a Condição 1 (Ra diária e Tmed igual à média dos valores horários) e a Condição 2 (Ra mensal e Tmed igual à média aritmética de Tmax e Tmin). Boa Vista (RR), 2011.

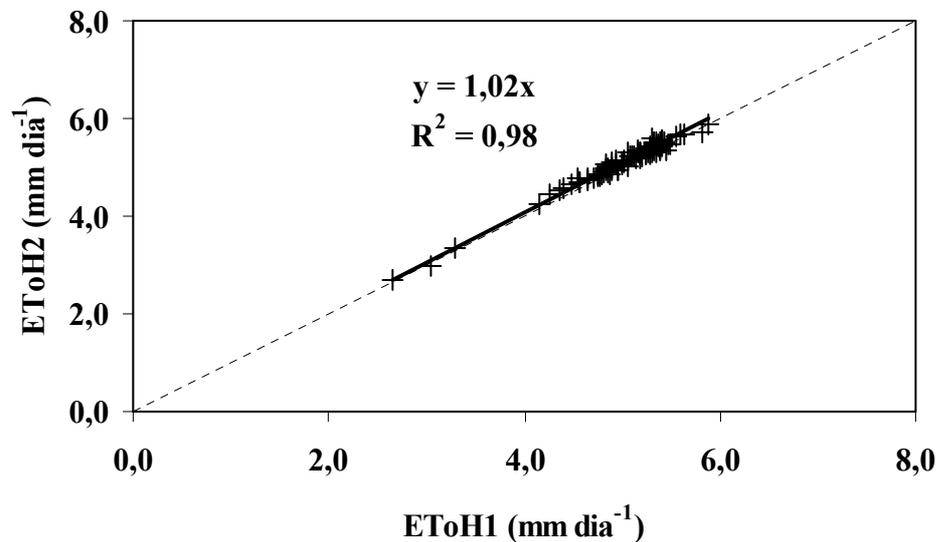


Figura 7. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ETo) estimadas pelo método de Hargreaves-Samani (EToH), considerando-se a Condição 1 (Ra diária e Tmed igual à média dos valores horários) e a Condição 2 (Ra mensal e Tmed igual à média aritmética de Tmax e Tmin). Boa Vista (RR), 2011.

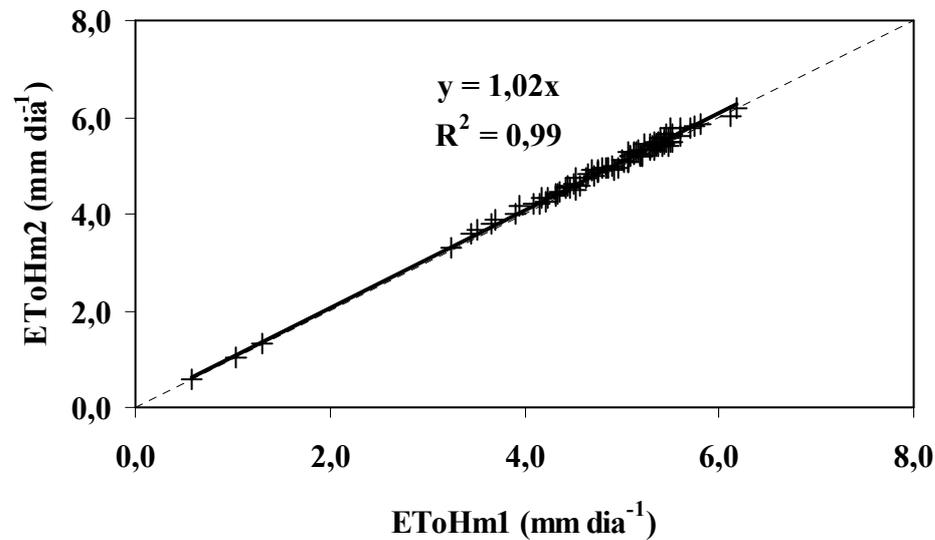


Figura 8. Regressão linear entre os valores da evapotranspiração de referência (ET₀) estimadas pelo método de Hargreaves modificado (ET₀Hm), considerando-se a Condição 1 (Ra diária e T_{med} igual à média dos valores horários) e a Condição 2 (Ra mensal e T_{med} igual à média aritmética de T_{max} e T_{min}). Boa Vista (RR), 2011.

6 CONCLUSÃO

O uso da equação modificada de Hargreaves-Samani modificada (ET₀Hm) apresentou o melhor desempenho na estimativa diária da evapotranspiração de referência nas condições de Boa Vista, RR.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, W.F.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. de; MEDEIROS, R.D. de; SAMPAYO, R.A. Precipitação pluviométrica mensal provável em Boa Vista, Estado de Roraima, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.563-567, 2001.

ARAÚJO WF; OLIVEIRA GA; CARVALHO FK; SILVA WM; CRUZ PLS; MACIEL FCS. Manejo da irrigação do meloeiro com base na evaporação do tanque classe A. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v.28, p.495-499, 2010.

ARAÚJO, G.L.; REIS, E.F. dos. MARTINS, C.A. da S.; BARBOSA, V.S.; RODRIGUES, R.R. Desempenho comparativo de métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.2, p.84–95, 2011.

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

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

BARBERENA, D. da S.; MEDEIROS, R.D. de; BARBOSA, G.F. Desenvolvimento e produtividade de arroz irrigado em resposta a diferentes doses de fósforo e potássio, em várzea de primeiro ano, no estado de Roraima. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.3, p.462-470, 2011.

BARBOSA, R.I. **Distribuição das chuvas em Roraima**. In: BARBOSA, R.I.; FERREIRA, E.J.; CASTÉLLON, E.G. Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Manaus, INPA, 1997, 612p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**, 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.4, p.380–390, 2012.

BRISTOW, K.L.; CAMPBELL, G.S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.31, p.159-166, 1984.

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**, Santa Maria, v.7, n.2, p.251-257, 1999.

CAMARGO, A.P. de ; 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.

CONCEIÇÃO, M.A.F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.619-626, 2010.

GONÇALVES, F.M.; FEITOSA, H. de O.; CARVALHO, C.M. de; GOMES FILHO, R.R.; VALNIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral – CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.71–77, 2009.

OLIVEIRA, G.A.; ARAÚJO, W.F.; CRUZ, P.L.S.; SILVA, W.L.M. da; FERREIRA, G.B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.4, p.872-882, 2011a.

OLIVEIRA, G.Q. de; LOPES, A. da S.; JUNG, L.H.; NAGEL, P.L.; BERTOLI, D.M. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência baseadas na temperatura do ar, em Aquidauana - MS. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.5, n.3, p.224-234, 2011b.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, v.193, p.120-146, 1948.

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

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

PEREIRA, D. R.; YANAGE, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, dez. 2009
RAMOS, A. M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília: INMET. 2009. 465p.

SILVA, V.J. da; CARVALHO, H. de P.; SILVA, C.R. da; CAMARGO, R. de; TEODORO, R.E.F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.27, n.1, p.95-101, 2011.

SOUZA, A.P. de; CARVALHO, D.F. de; SILVA, L.B.D. da; ALMEIDA, F.T. de; ROCHA, H.S. da. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.3, p.219-228, 2011a.

SOUZA, L.P. de; FARIAS, O.S.; MOREIRA, J.G.V.; GOMES, F.A.; JUNIOR, E.F.F. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Cruzeiro do Sul – Acre. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, vol.7, n.12;p. 1-8 , 2011b.

SOUZA, M.L.A. de. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Rio Branco, Acre**. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, 2009, 75p. (Dissertação de Mestrado).

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.

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.C5, p.8995-9005, 1985.