

ISSN 0104-1347

Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática¹

Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration using data of conventional and automatic weather stations

Alexsandra Duarte de Oliveira² e Clovis Alberto Volpe³

Resumo - O trabalho objetivou comparar diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizando dados de estações meteorológicas convencional (EMC) e automática (EMA). Os dados foram coletados diariamente e processados em médias diárias e de cinco dias, e foram comparados três métodos de estimativa da ET_o: Penman, Penman-Monteith e Tanque Classe A. Os resultados foram avaliados por meio de regressão linear e, na comparação entre os métodos, através da análise de variância. Os valores de ET_o obtidos pelos métodos de Penman e Penman-Monteith foram semelhantes, quando comparados ao tanque Classe A, suas estimativas foram sempre inferiores. As estimativas da ET_o com dados da EMC excederam em média 7% e 10%, para os períodos seco e úmido, respectivamente, os valores estimados pela EMA, para qualquer um dos dois métodos (Penman e Penman-Monteith).

Palavras-chave: Penman, Penman-Monteith, tanque Classe A, evapotranspiração

Abstract - This work was conducted using data from a meteorological station of FCAV/UNESP Jaboticabal, São Paulo, Brazil, with the objective of comparing estimated reference evapotranspiration (ET_o) obtained in conventional and automatic weather stations. Data were collected daily and daily means and five days means were calculated. The ET_o values were compared using three different methods: Penman, Penman-Monteith and Class A pan. Results were statistically evaluated by means of linear regression and analysis of variance. The ET_o values obtained by Penman and Penman-Monteith methods were similar, but when compared to the Class A pan values, they are always smaller. The ET_o values by conventional weather stations were 7% and 10% on the average higher, for the periods dry and wet, in relation to the results obtained by automatic weather stations for two of the methods (Penman e Penman-Monteith).

Key words: Penman, Penman-Monteith, Class A pan, evapotranspiration

Introdução

A evapotranspiração é um componente do ciclo hidrológico de grande importância, e sua medida permite definir a quantidade de água a ser aplicada nos cultivos. Visando padronizar a definição de evapotranspiração dada por diversos autores, entre eles THORNTHWAITE (1948) e PENMAN (1948), surgiu a necessidade de se definir a evapotranspiração potencial para uma cultura de referência (ET_o). Esta,

segundo ALLEN et al. (1998) é definida como a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície da cultura ao transporte de vapor d'água igual a 70 s m⁻¹, correspondendo à evapotranspiração de uma superfície gramada, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente à superfície do solo, e sem restrição hídrica.

BURMAN et al. (1983) revisaram vários métodos de determinação da evapotranspiração,

¹Parte da Tese de Doutorado do 1º autor, financiada pela UNESP e pela CAPES

²Aluna de Doutorado na Produção Vegetal/UNESP-Jaboticabal/SP, aduarte@fcav.unesp.br

³Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas/UNESP-Jaboticabal/SP, cavolpe@fcav.unesp.br

adotados em diversas partes do mundo. Estes autores classificaram os métodos em dois grandes grupos: o primeiro inclui os métodos em que a evapotranspiração potencial pode ser determinada a partir de medidas diretas, como os lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo. No segundo grupo estão os métodos que utilizam dados meteorológicos, também chamados de métodos indiretos, nos quais a evaporação ou a evapotranspiração de referência são avaliadas por fórmulas empíricas e racionais e, posteriormente, são correlacionadas com a evapotranspiração da cultura por meio do coeficiente de cultura (K_c). Segundo ALLEN et al. (1989) existe uma relação entre a E_{To} medida em lisímetros e a estimada pelos diferentes métodos existentes, especialmente, aquelas provenientes de métodos combinados como o de Penman.

Segundo TANNER (1967), a escolha pelo método de estimativa da evapotranspiração varia, conforme sua aplicação, atendendo às necessidades de precisão e duração dos períodos de cálculo. Uma pesquisa de recursos hídricos exige estimativas anuais ou, no máximo, mensais. Mas, em projetos de irrigação são requeridos períodos mais curtos (diários a 10 dias), sendo necessária a adoção de um método preciso para aquela condição. Muitos trabalhos, como os de CAMARGO & SENTELHAS (1997) e MACHADO & MATOS (2000), entre outros, avaliaram o desempenho de diferentes métodos de estimativa de E_{To} em diferentes regiões, variando segundo a condição climática do local e a forma de obtenção dos dados, o que, segundo PEREIRA et al. (1996), dificulta a recomendação de apenas um determinado método.

Na escala diária, ELTINK et al. (1997) verificaram que a E_{To} estimada pelos métodos de Penman-Monteith e Priestley-Taylor foram os que apresentaram a melhor correlação com dados de lisímetros, em comparação aos métodos de Camargo e Tanque Classe A. No caso do método de Penman, apresentado pela FAO, resultados em várias partes do mundo têm apresentado, com muita frequência, superestimativa da E_{To} , tendo a grama como referência (SMITH, 1991). Essa tendência também foi constatada nas condições de São Paulo, com superestimativa da ordem de 20% na escala mensal (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Dentre os fatores responsáveis por essa tendência, são citados a função de velocidade do vento, o cálculo do déficit de saturação (PEREIRA et al., 1996) e a ausência de um parâmetro que é a resistência exercida pela cobertura vegetal à transferência de vapor para a atmosfera (SEDIYAMA, 1996).

O método de Penman-Monteith, estruturado em consistentes conceitos físicos e de fácil entendimento, e que utiliza informações meteorológicas padronizadas, tem seu uso prático limitado aos cultivos, em razão da dificuldade em se obter valores confiáveis para as resistências aerodinâmicas e do dossel. É um dos métodos que permite calcular a evapotranspiração real de uma cultura, bastando, para isso, medir a relação das resistências no dossel (BEM-ASHER et al., 1989).

O manejo da irrigação requer o conhecimento da transferência de água, na forma de vapor, da superfície vegetada para a atmosfera. Essa transferência pode ser determinada através da evapotranspiração de referência. Para isto, existem diversos métodos recomendados para a estimativa da evapotranspiração de referência, que proporcionam valores diferentes, sendo essa diferença dependente também do local e da estação do ano. Hoje, além de dados meteorológicos obtidos em EMC (Estação Meteorológica Convencional), em alguns locais também encontram-se disponíveis dados de Estação Meteorológica Automática (EMA).

Este trabalho teve por objetivos: 1. Comparar as estimativas da E_{To} pelos métodos de Penman e Penman-Monteith (FAO), em períodos seco e úmido, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática; 2. Comparar as estimativas da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman, Penman-Monteith (FAO) em períodos seco e úmido, utilizando dados de estação meteorológica convencional com as estimativas da E_{To} pelo método do Tanque Classe A.

Material e métodos

Foram utilizados dados obtidos durante um período de cinco anos (julho/1997 a junho/2002) na Estação Agroclimatológica do Departamento de Ciências Exatas, da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal, SP (latitude: 21°15'S, longitude: 48°18'W e altitude: 595 m).

Os dados meteorológicos utilizados foram obtidos em estações meteorológicas convencional (EMC) e automática (EMA): pressão atmosférica (EMA e EMC), temperaturas máxima, mínima e média do ar (EMA e EMC), velocidade média do vento a 2m de altura (EMA) e a 10 m (EMC), umidade relativa do ar (EMA e EMC), insolação (EMC), evaporação

(EMC) e radiação solar global (EMA). Os dados da estação automática foram coletados e armazenados por um "datalogger" (Campbell Scientific, modelo 21X) com registros de leitura a cada segundo e médias a cada 10 minutos. A estação meteorológica convencional está em operação há 30 anos e executa as observações e registros meteorológicos de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Foram utilizados dados diários de evapotranspiração de referência, para as duas estações (EMC e EMA) e médias de períodos de cinco dias, quando utilizou-se o método do Tanque Classe A. Para a estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith utilizou-se a expressão, apresentada por ALLEN et al. (1998):

$$ETo = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + g \frac{900}{T + 273} U_2 (es - ea)}{\Delta + g(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); Rn o saldo de radiação à superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); G o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); T a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_2 a velocidade do vento a 2m de altura (m s^{-1}); (es-ea) o déficit de pressão de vapor do ar (kPa); es a pressão de saturação de vapor do ar (kPa); ea a pressão parcial de vapor do ar (kPa); Δ a declividade da curva de pressão de saturação de vapor (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ o coeficiente psicrométrico (kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$) e 900 o fator de conversão ($\text{kJ}^{-1} \text{kg K}$).

A declividade da curva de pressão de saturação de vapor (Δ) na temperatura média do ar, em kPa. $^{\circ}\text{C}^{-1}$, é dada por:

$$\Delta = 4098 \{0,6108 \exp[17,27T/(T+237,3)]\} / (T+237,3)^2 \quad (2)$$

O coeficiente psicrométrico (γ) em kPa $^{\circ}\text{C}^{-1}$ é dado por:

$$\gamma = A \times P \quad (3)$$

em que, A é a constante psicrométrica ($8 \times 10^{-4} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e P a pressão atmosférica (kPa).

A temperatura média do ar (T, $^{\circ}\text{C}$), foi determinada por:

$$T = (T_{\text{max.}} + T_{\text{min.}}) / 2 \quad (4)$$

em que, T_{max.} e T_{min.} são, respectivamente, as temperaturas máximas e mínimas do ar, em $^{\circ}\text{C}$.

Pressão de saturação de vapor do ar (es), foi determinada por:

$$es = (es^{o1} + es^{o2}) / 2 \quad (5)$$

sendo:

$$es^{o1} = 0,6108 \exp[17,27T_{\text{max}} / (T_{\text{max}} + 237,3)] \quad (6)$$

e

$$es^{o2} = 0,6108 \exp[17,27T_{\text{min}} / (T_{\text{min}} + 237,3)] \quad (7)$$

A pressão parcial de vapor do ar (ea), em kPa, foi determinada por:

$$ea = (es \cdot UR) / 100 \quad (8)$$

em que, UR é a umidade relativa do ar (%).

No cálculo dos parâmetros usados na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith foram utilizados os procedimentos apresentados por ALLEN et al. (1998). Neste caso, considerou-se a resistência da cultura (r_c) = 70 s.m^{-1} e assumiu-se como constante a altura da cultura (h_c) = 0,12m e padronizou-se a altura da velocidade do vento, a temperatura e a umidade do ar a 2m, podendo-se considerar ($z_m = z_h = 2\text{m}$).

A velocidade do vento a 2m de altura foi obtida por:

$$u_z = u_z [4,87 / \ln(67,8z - 5,42)] \quad (9)$$

em que, u_z é a velocidade do vento medida na altura z, em m s^{-1} e z é a altura da medida sobre a superfície (10 m).

Para a estimativa da ETo pelo método de Penman, utilizou-se a seguinte equação (PEREIRA et al., 1997):

$$ETo = W (Rn - G) / \lambda + (1 - W) 86400 \rho C_p (\Delta e / \gamma \cdot \lambda \cdot r_a) \quad (10)$$

em que, ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); W = $\Delta / (\Delta + \gamma)$ um fator de ponderação entre temperatura e coeficiente psicrométrico (VISWANADHAM et al., 1991):

$$W = 0,407 + 0,0145T \quad \text{para } 0^{\circ}\text{C} < T < 16^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

$$W = 0,483 + 0,01T \quad \text{para } 16,1^{\circ}\text{C} < T < 32^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

Rn o saldo de radiação à superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), obtido segundo metodologia descrita em ALLEN et al. (1998); G o fluxo de calor no solo, considerado igual a zero, ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$); λ o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$); ρ a massa específica do ar ($1,26 \text{ kg m}^{-3}$);

c_p o calor específico do ar ($0,001013 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); γ o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa }^\circ\text{C}^{-1}$); Δe o déficit de pressão de vapor ($e_s - e_a$), em (kPa) e r_a a resistência aerodinâmica, em (s m^{-1}), dada por:

$$r_a = 250 / (1 + 0,526 U_2) \quad (13)$$

O coeficiente psicrométrico é dado por:

$$\gamma = 0,0016286 (P/\lambda) \quad (14)$$

A medida da E_{To} através do Tanque Classe A foi obtida por:

$$E_{To} = K_p \cdot E_{CA} \quad (15)$$

sendo

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U_2 + 0,0045 UR \quad (16)$$

em que: K_p é o coeficiente de tanque, determinado segundo a equação de SNYDER (1992), F é a distância da bordadura (10m); U_2 é a velocidade do vento obtida na EMC (km d^{-1}); UR a umidade relativa média do ar diária na EMC, (%) e E_{CA} é a evaporação no Tanque Classe A sem correção (mm d^{-1}).

A análise dos resultados foi realizada no pacote estatístico SAS (1990), para períodos diários e de quinquídios, utilizando-se análise de regressão e considerando o modelo linear $y = a + bx$, em que a variável dependente foi o método de Penman-Monteith (P-M), embora nas comparações com o método de Penman, o método de Penman-Monteith passou a ser a variável independente. Também foi realizada uma avaliação dos métodos de estimativa dentro de cada estação meteorológica, através da análise de variância e aplicação do teste de Tukey, para os períodos úmido e seco.

Resultados e discussão

Na Figura 1 encontram-se os resultados das análises de regressão entre os dados de E_{To} diária, estimada pelos métodos de Penman e Penman-Monteith, nos períodos úmido (outubro-março) e seco (abril-setembro). Verifica-se que houve concordância entre os métodos, com o coeficiente linear da reta (a) de $-0,0103$ e $0,2742$ e o coeficiente angular (b) de $1,1767$ e $1,1428$, para os períodos úmido e seco, respectivamente, para EMA, enquanto para a EMC, o parâmetro a foi de $0,0963$ e $0,2876$ e b foi de $1,1592$ e $1,1319$, para os períodos úmido e seco, respectivamente. O

coeficiente de determinação foi superior a $0,97$ em todas as condições apresentadas.

Na comparação entre as estimativas de E_{To} pelos métodos de Penman e Penman-Monteith, com dados de EMC, independentemente do período (seco ou úmido), não se observa elevada concordância entre os métodos, embora a estimativa de um a partir do outro tenha precisão. Os valores estimados pelo método de Penman excederam os valores estimados pelo método de Penman-Monteith. O mesmo ocorreu quando se utilizaram dados da EMA. Isto indica que se deve ter cautela quando se deseja substituir o método de Penman pelo método de Penman-Monteith na estimativa da E_{To} , independentemente da época do ano e da fonte de dados, EMC ou EMA.

Os valores obtidos pelo método de Penman, para todos os períodos, foram de $17,4$ a 21% superiores aos resultados do método de Penman-Monteith, valores estes próximos aos estimados e medidos por JENSEN et al. (1990), que obtiveram uma faixa de 15 a 20% , para regiões consideradas úmidas.

Na Tabela 1 encontram-se os valores do erro absoluto para os métodos de Penman-Monteith e Penman em diferentes períodos, utilizando dados da EMA e EMC, onde verificou-se que houve diferença significativa entre os métodos de estimativa da E_{To} apenas para o período úmido, a 1% de probabilidade.

Observou-se diferença significativa para os períodos (seco e úmido), entre os métodos de estimativa da E_{To} , quando se utilizam dados da EMC (Tabela 2). No período úmido, os valores de E_{To} estimados pelos métodos de Penman e do Tanque Classe A são superiores ao estimados por Penman-Monteith, e no período seco a E_{To} pelo Tanque Classe A é superior aos demais.

Na mesma região de Jaboticabal, utilizando dados da EMC, MINCHIO & VOLPE (1987) observaram também, no período seco, superioridade da estimativa de E_{To} pelo método do Tanque Classe A, quando comparado com o método de Penman. CUNHA et al. (1995), num período úmido, não observaram diferenças entre esses dois métodos no ano agrícola 1987/88, mas observaram diferença significativa a partir do método de Penman, no ano agrícola 1988/89.

A Figura 2 mostra as estimativas da E_{To} média para períodos de cinco dias, pelos métodos de Penman e Penman-Monteith quando plotadas em função do Tanque Classe A. Observa-se que há

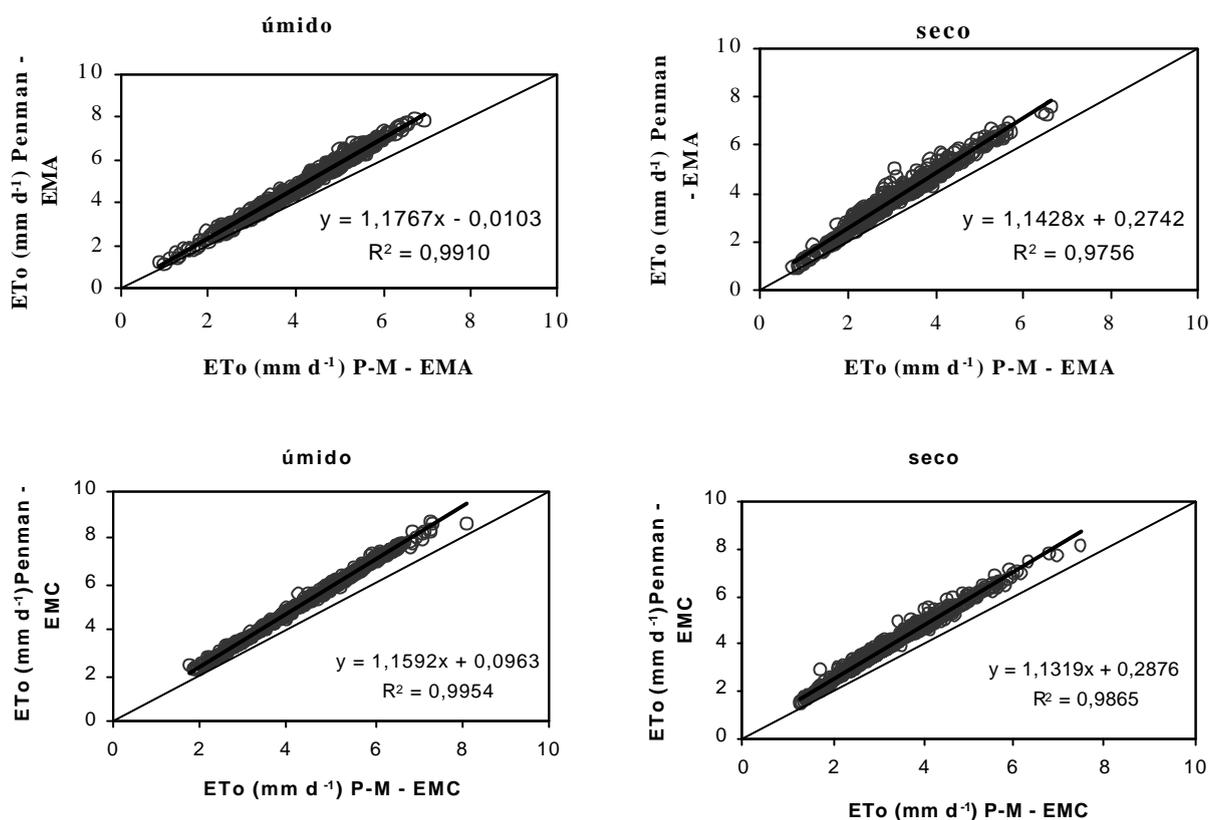


Figura 1. Relação entre as estimativas de ETo diária pelo método de Penman e Penman-Monteith (P-M), em mm d⁻¹, para os períodos úmido e seco, a partir de dados coletados da EMA e EMC, de julho de 1997 a junho de 2002, em Jaboticabal, SP.

razoável correlação entre as estimativas de ETo pelos métodos de Penman e Penman-Monteith e a estimativa pelo método do Tanque Classe A.

Tabela 1. Diferenças entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, nos períodos seco e úmido, por meio do erro absoluto, utilizando dados da EMA e EMC, no período de julho de 1997 a junho de 2002, em Jaboticabal, SP.

Métodos	Erro Absoluto	
	Período seco	Período úmido
Penman-Monteith	0,3756 a	0,4353 a
Penman	0,3674 a	0,5207 b
Teste F	0,40 ^{ns}	16,98 **
dms (5%)	0,03	0,04

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si

** significativo a 1% de probabilidade

^{ns} não significativo

Quando se comparam as estimativas de ETo pelos métodos de Penman e Tanque Classe A, com dados da EMC, independentemente da época do ano, observa-se razoável concordância e precisão entre os métodos. Quando esta comparação é feita com a

Tabela 2 Diferenças entre métodos de estimativa da Eto (mm), nos períodos seco e úmido, utilizando dados da estação meteorológica convencional (EMC), de julho de 1997 a junho de 2002, em Jaboticabal, SP.

Métodos	Período Seco	Período Umido
	Penman-Monteith	3,3289 a
Penman	4,0556 b	5,4663 b
Tanque Cla	4,2494 c	5,4502 b
Teste F	133,32 **	61,80 **
Dms (5%)	0,14	0,20

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem entre si

** significativo a 1% de probabilidade

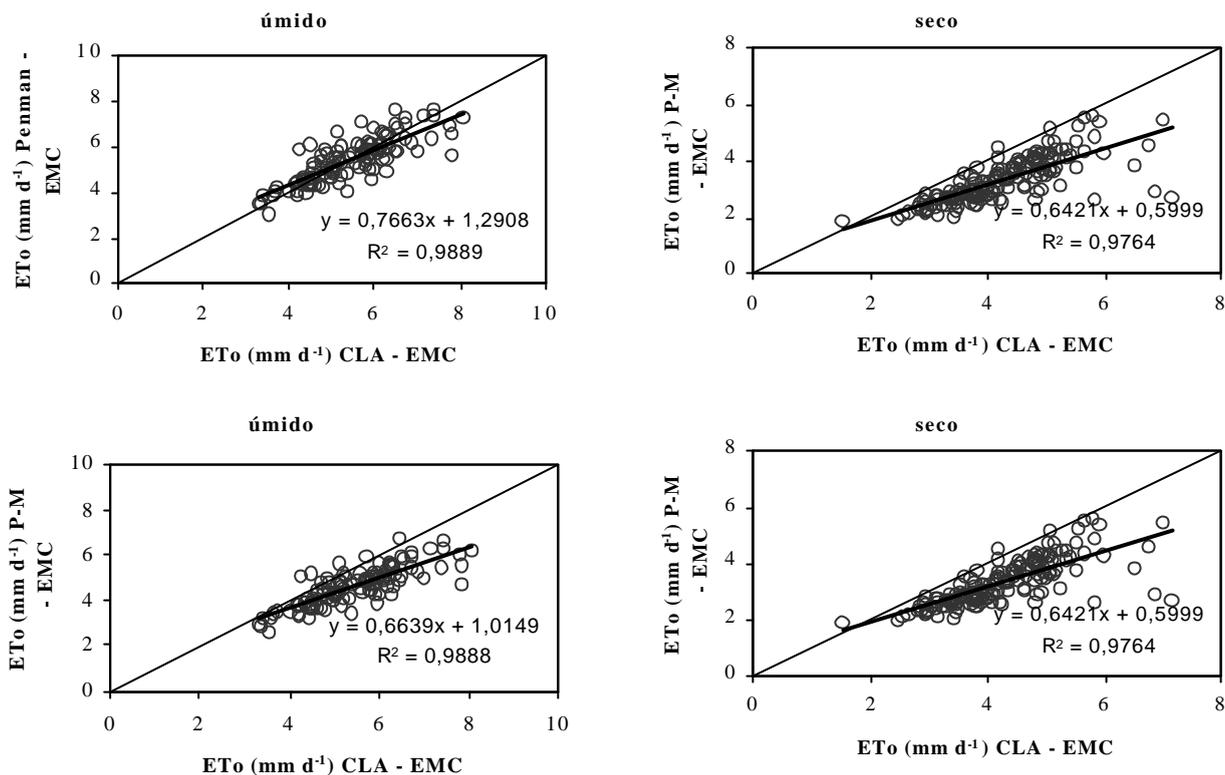


Figura 2. Relação entre as estimativas de ETo diária pelos métodos de Penman, Penman-Monteith (P-M) e tanque Classe A (CLA), em mm d⁻¹, para os períodos úmido e seco, a partir de dados coletados da estação meteorológica convencional (EMC), de julho de 1997 a junho de 2002, em Jaboticabal, SP.

utilização do método de Penman-Monteith, o comportamento praticamente não se altera. Isso mostra que é preciso cautela quando se deseja substituir o método de Penman ou de Penman-Monteith pelo método do Tanque Classe A.

Os valores de ETo estimados pelos métodos de Penman e Penman-Monteith foram inferiores as estimativas pelo método do Tanque Classe A. No período seco o método de Penman apresentou maior discrepância dos dados (19%), para valores baixos de ETo, enquanto que para valores altos de ETo, essa variação caiu para cerca de 3%. No período úmido esse valor ficou em torno de 8,9%.

Esta resposta das estimativas de ETo pelo Tanque é previsível, pois, segundo STANHILL (2002) o Tanque Classe A apresenta sempre uma tendência de exceder os valores estimados, limitando assim a obtenção de dados padrão, que são requeridos pelos métodos de estimativa.

Os valores estimados pelo método de Penman-Monteith, recomendado pela FAO, no perí-

odo úmido foram cerca de 8% inferiores aos valores de ETo estimado pelo método do Tanque Classe A. Já para o período seco, essa diferença foi superior a 20%. SENTELHAS (1998) observou uma superestimativa da ETo da ordem de 3% para o período úmido, enquanto no seco a tendência foi de subestimativa da ordem de 27%, quando comparado a lisímetros. De acordo com ALLEN (1989), essa tendência de subestimativa, se deve à grande influência da advecção, que, em períodos secos torna-se significativa.

SEDIYAMA (1996) e CAMARGO & SENTELHAS (1997) observaram esse mesmo comportamento no período úmido, sendo justificado pela razão entre as resistências da cobertura e aerodinâmica à transferência de vapor (r_c/r_a), que é subestimada grosseiramente para valores de velocidade de vento a 2m acima de $1,1 \text{ m s}^{-1}$.

As estimativas da ETo diárias, por Penman e Penman-Monteith, utilizando-se dados diários de diferentes estações (EMA e EMC) são apresentadas na Figura 3. Observa-se que todas as estimativas apre-

sentaram concordância (a e b) e exatidão, com R^2 superior a 0,99.

É importante considerar que a radiação solar global só foi medida na EMA. Sabe-se que R_n é o elemento que mais pondera a estimativa da ETo por ambos os métodos, Penman e Penman-Monteith. Assim, algumas diferenças podem acontecer e serem também atribuídas as equações de estimativa da radiação solar global, e conseqüentemente, na estimativa do saldo de radiação.

Quando se comparam as estimativas da ETo pelo método de P-M utilizando-se dados da EMC e EMA, observa-se precisão e exatidão, tanto para o período seco como para o úmido. O mesmo se observa quando se comparam as estimativas da ETo pelo método de Penman. Isto sugere que, independentemente da época do ano, os métodos de Penman e de P-M (FAO) podem ser utilizados para estimativa da evapotranspiração de referência, a partir de dados da EMA ou EMC. De uma maneira geral,

os valores estimados com os dados da EMC excedem, em média, 7% e 10%, para os períodos seco e úmido, os valores estimados com os dados da EMA, por qualquer um dos métodos.

Conclusões

Existiram diferenças nas estimativas da ETo, para os métodos de Penman e Penman-Monteith, embora não tenha apresentado tendência de superioridade, independente do período analisado e da fonte de dados utilizados.

Os métodos de Penman e Penman-Monteith quando comparados ao Tanque Classe A, estimam valores inferiores de ETo, sugerindo cautela na substituição das estimativas da ETo, fornecidas por Penman ou Penman-Monteith, pelas estimativas do método do Tanque Classe A.

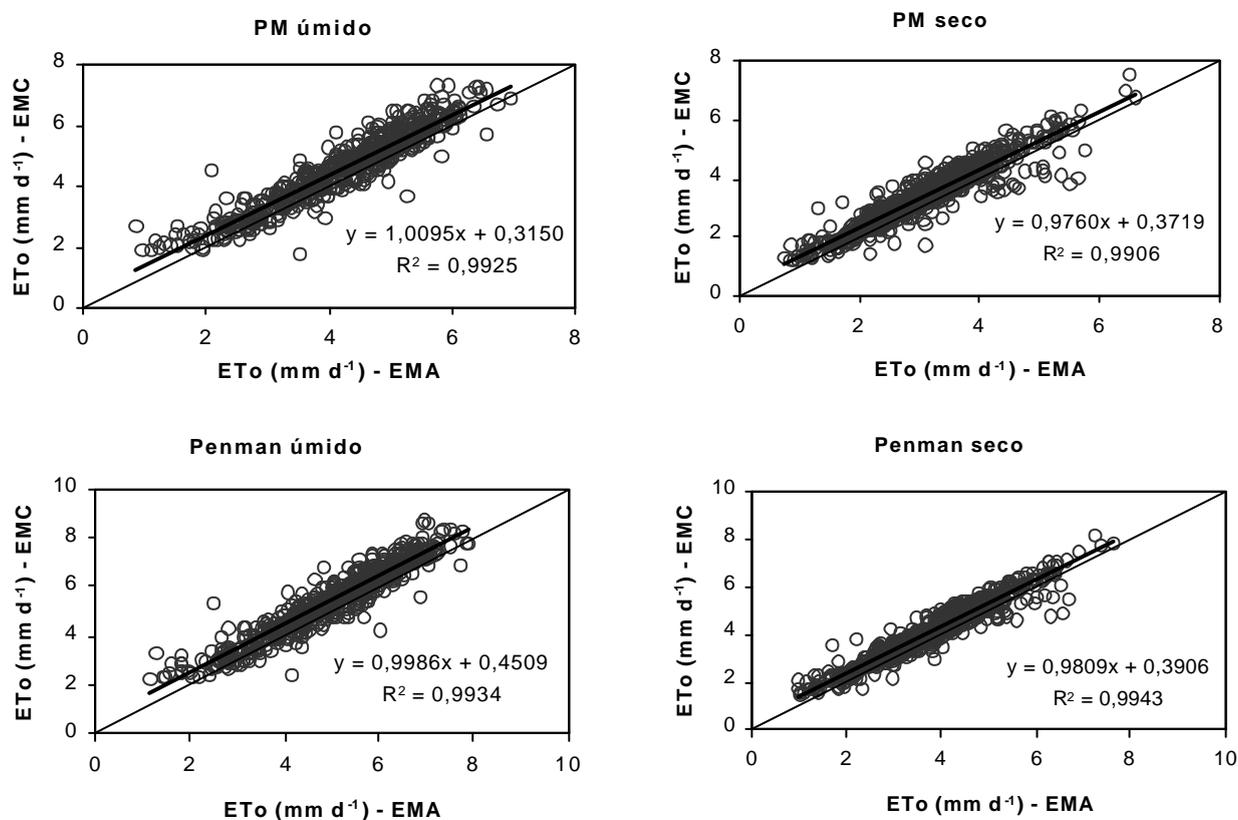


Figura 3. Relação entre as estimativas de ETo diária pelo método de Penman-Monteith (P-M) e Penman, em mm d⁻¹, para os períodos úmido e seco, a partir de dados coletados da EMA e EMC de julho de 1997 a junho de 2002, em Jaboticabal, SP.

Referências bibliográficas

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration**. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 299 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R.G. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.
- BEM-ASHER, J. et al. Computational approach to assess actual transpiration from aerodynamic and canopy resistance. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 4, p. 776-782. 1989.
- BURMAN, R.D. et al. Water Requirements. IN: JENSEN, M. E. ed. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. Cap.6, p. 189-232.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CUNHA, A.R.; VOLPE, C.A.; FORNASIERI FILHO, D. Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de uma cultura de arroz de sequeiro e a evapotranspiração potencial. **Científica**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 139-149, 1995.
- ELTINK, M.G.; PEREIRA, F.A.C.; FOLEGATTI, M.V. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 5. 1977. Piracicaba, **Resumos...**, São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997, p. 517.
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspirations and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.
- MACHADO, R.E.; MATTOS, A. Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 193-197, 2000.
- MINCHIO, C.A.; VOLPE, C.A. Evapotranspiração máxima e coeficientes de cultura da ervilha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987. Belém, Anais..., Belém: CPATU, 1987. p. 132-142.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society of London**, London, v. 193, p. 120-143, 1948.
- PEREIRA, A.R.; et al. Penman's wind function for a tropical humid climate. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 69-75, 1996.
- PEREIRA, A.R. et al. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. 5. ed. Cary, 1990. v. 1, 956 p.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i-xii, 1996.
- SENTELHAS, P.C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. Piracicaba: USP, 1998. 97 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1998.
- SMITH, M. **Report on expert consultation on procedures from revision of FAO methodologies for cropwater requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.
- STANHILL, G. Is the class A evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 112, p. 233-236, 2002.
- TANNER, C.B. Measurement of evapotranspiration. In: HAGAN, R. M.; HAISE, H. R.; EDMINSTER, T. W., eds, **Irrigation of agricultural lands**. Madison, 1967. p. 320-29.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRÉ, R.G.B. The Priestley-Taylor parameters for the Amazon Forest. **Forest Ecology Management**, v. 38, p. 211-225, 1991.