

COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS EVAPOTRANSPIROMÉTRICAS E METODOLOGIA DA FAO, NA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Marco Antônio Lunardi

Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP - Campus de Botucatu - Botucatu, SP CEP 18603-110

Dalva Martinelli Cury Lunardi

Departamento de Ciências Ambientais - Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP Campus de Botucatu - Botucatu, SP - CEP 18603-110

Nariaqui Cavaguti

Departamento de Engenharia e Tecnologia Civil - Faculdade de Engenharia Civil UNESP - Campus de Bauru - Bauru, SP - CEP 17033-360

1 RESUMO

Este estudo foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Botucatu - S.P. (latitude 22º 51' S, longitude 48º 26' W, altitude 786 m), no período de 01 de outubro de 1994 a 30 de setembro de 1995.

As estimativas diárias da evapotranspiração potencial (ET_o), através dos métodos de Penman-Monteith, Penman-FAO, Radiação Solar FAO e Tanque Classe A, foram comparadas com os valores de ET_o medidos com 5 (cinco) evapotranspirômetros de lençol freático de nível constante, mantidos a 60 cm de profundidade, em intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias nas 04 estações do ano.

Os resultados indicaram que esses equipamentos são adequados para a medida da evapotranspiração de referência, não só pela facilidade operacional, mas também por sua precisão. O emprego dos métodos demonstrou ser dependente da estação do ano, da redução do erro padrão de estimativa e do aumento do coeficiente de determinação, como função do intervalo de tempo considerado.

Todos os métodos indicaram sensibilidade, sempre que a energia foi utilizada essencialmente na forma de calor sensível, superestimando a evapotranspiração nas condições experimentais.

O intervalo de 5 a 10 dias apresentou os menores valores de erro padrão e os maiores valores do coeficiente de determinação, sendo a diferença entre os métodos atribuída aos dados climáticos considerados por cada um.

Finalmente os resultados indicaram que os métodos de Penman-Monteith e Penman-FAO determinam com maior precisão a evapotranspiração.

UNITERMOS: evapotranspirômetro, evapotranspiração de referência, métodos de estimativa.

LUNARDI, M.A., LUNARDI, D.M.C., CAVAGUTI, N. COMPARISON BETWEEN EVAPOTRANSPIROMETRIC MEASUREMENT AND FAO METHODOLOGIES IN DETERMINATION OF THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION

2 ABSTRACT

In the present work daily potential evapotranspiration values was calculated for Botucatu - S.P. (22° 51' S, 48° 26' W, 786m) using Penman Monteith, FAO Penman, FAO Solar Radiation and Class A Pan methods between october, 1984 and september, 1995.

The estimating methods was compared with grass reference evapotranspiration obtained with five evapotranspirometers of constant ground water at 60 cm depth, using a moving average of 1 - 10 days on spring, summer, autumn and winter.

The study indicates that the equipments are appropriate for the evaluation of reference evapotranspiration not only by the operational facilities but also by the accuracy.

The results indicate that the methods applicability is a function of the season of the year, reduction of standard error and increasing of determination coefficient in the considered intervals.

Several estimating methods showed sensitive even when little energy was utilized in sensible heat flux and overestimated the evapotranspiration in the experimental condition.

The 5 -10 days moving average can reduce the standard error of estimate and increase the coefficient of determination significantly between estimated and measured reference evapotranspiration for several estimating methods.

Finally, the results indicated that FAO Penman and Penman - Monteith methods are the most realible indication of evapotranspiration.

KEYWORDS: Evapotranspirometer, reference evapotranpiration, estimative methods.

3 INTRODUÇÃO

Os estudos desenvolvidos a partir da publicação do manual nº 24 da FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977), permitiram mudanças conceituais e alterações de definições que vieram culminar com uma reunião de eminentes pesquisadores, resumida por Smith et al. (1991). Com o objetivo de eliminar variações conceituais e fornecer determinações mais precisas, nessa oportunidade, definiu-se evapotranspiração de referência como sendo a perda de água de uma cultura hipotética, com 12 cm de altura, crescimento uniforme, resistência do dossel de 69 s/m, albedo de 0,23 e em pleno desenvolvimento vegetativo, sendo o método de Penman-Monteith considerado como padrão de estimativa. Este método, juntamente com os preconizados por Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassan (1979), são objetos de análise no presente estudo já que em inúmeros trabalhos, como o de Allen et al. (1989), Klar (1991) e Cury (1985), existe uma estreita relação entre eles e a evapotranspiração medida. O melhor desempenho de um desses métodos está associado, em todos os trabalhos, às condições climáticas da região. Assim, Jensen & Haise (1963), já consideravam não existir um método universalmente apropriado.

No Brasil, as dificuldades econômicas têm exigido dos pesquisadores muita criatividade, quando da necessidade de se obter medidas de evapotranspiração, já que equipamentos como

os lisímetros de pesagem, embora mais precisos, tem custo muito elevado. Dessa forma, tornou-se comum o emprego de evapotranspirômetros, quer sejam de drenagem ou de lençol freático constante. Dentre os pesquisadores pode-se citar os trabalhos de Assis (1978), Encarnação (1980), Barbieri (1981), Pavani (1985), Montovani (1986) e Cury & Villa Nova (1989). Com este trabalho pretende-se avaliar o comportamento dos evapotranspirômetros de lençol freático constante, comparando seus valores com os valores de métodos consagrados como de Penman-Monteith, tido como padrão de referência, o de Penman modificado pela FAO, o da Radiação solar modificado pela FAO e o do Tanque Classe A.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho, foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP - Campus de Botucatu (22° 51' S, 48° 26' W), no período de 01/10/1994 à 31/09/1995.

Para a obtenção das medidas de evapotranspiração de referência (ET_o), utilizaram-se 5 lisímetros de lençol freático constante, instalados no centro de uma área de 740 m² cultivada com grama (*paspalum notatum* L.).

Para a estimativa de ET_o, foram utilizados os métodos de Penman-Monteith (PM), Penman modificado pela FAO (PF), Radiação solar modificado pela FAO (RF) e do Tanque Classe A (TA).

No método de Penman-Monteith (PM), a evapotranspiração de referência é obtida através da Equação 1:

$$PM = \frac{\Delta}{(\Delta + \gamma^*)} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(\Delta + \gamma^*)} \frac{900}{(T_m + 275)} V_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

onde:

PM = evapotranspiração de referência segundo Penman-Monteith (mm/dia)

Δ = inclinação da curva de pressão vapor versus temperatura do ar (kpa/°C):

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T_m + 237,3)^2}$$

e_s = pressão de saturação de vapor (kpa) dado por:

$$e_s = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_m}{T_m + 237,3}\right)$$

T_m = temperatura média do ar (°C)

γ^* = constante psicrométrica modificada (kpa/°C)

$$\gamma^* = \gamma(1 + 0,33V_2)$$

γ = constante psicrométrica (kpa/°C)

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda}$$

P = pressão atmosférica (kpa)

λ = calor latente de vaporização (MJ/kg)

$$\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3}) T_m$$

V₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m/s)

R_n = radiação líquida na superfície da cultura (MJ/m² dia)

$$Rn = Q_s - Q_L$$

Q_s = balanço de radiação de ondas curtas

$$Q_s = (1 - \alpha) R_g$$

α = albedo da cultura = 0,23

R_g = radiação solar global medida (MJ/m² dia)

Q_L = balanço de radiação de ondas longas (MJ/m² dia)

$$Q_L = \left(0,9 \frac{n}{N} + 0,1\right) \left(0,34 - 0,14\sqrt{ea}\right) \sigma (T_{Kx}^4 + T_{Kn}^4) \frac{1}{2}$$

n = número de horas de insolação

N = comprimento máximo do dia (horas)

ea = pressão atual de vapor (kPa)

$$ea = es(UR/100)$$

σ = constante de Stefan Boltzmann [4,90 10⁻⁹ MJ/(m² k⁴ dia)]

T_{Kx} = temperatura máxima do dia (k)

T_{Kn} = temperatura mínima do dia (k)

G = fluxo de calor no solo [MJ/(m² dia)]

$$G = 0,38(T_m - T_{m-1})$$

T_m = temperatura média do dia (°C)

T_{m-1} = temperatura média do dia anterior (°C)

$$900 = (\text{kg}^{-1} \text{ kg k}) \text{ s d}^{-1}$$

O método de Penamn-FAO (PF), é dado por:

$$PF = wRn + (1 - w)Ea$$

PF = evapotranspiração de referência segundo Penman-FAO (mm/dia)

w = fator relativo efeito da temperatura do ar e altitude determinada pela seguinte expressão:

$$w = \Delta / (\Delta + \gamma)$$

Δ = tangente a curva temperatura-pressão de saturação de vapor definida, segundo Herrera (1988), pela expressão:

$$\Delta = \frac{es}{TK} \left(\frac{6790,499}{TK} \right) - 5,028$$

es = tensão de saturação de vapor (mbar) calculado pela relação:

$$es = 6,11 \cdot 10^{7,5T_m/(237,5+T_m)}$$

T_m = temperatura média do ar (°C)

TK = temperatura média do ar (K)

γ = constante psicrométrica (mbar/°C)

$$\gamma = (P * cp) / (0,622L)$$

P = pressão atmosférica (mbar)

cp = calor específico a pressão constante (cal/g°C)

$$cp = 0,24 + [0,2016(0,622ea)] / [P - (0,378ea)]$$

ea = tensão atual de vapor (mbar)

$$ea = es(UR/100)$$

UR = umidade relativa do ar (%)

L = calor latente de vaporização (cal/g)

$$L = 595 - (0,51 T_m)$$

Rn = Radiação líquida do período (mm/dia) definida por:

$$R_n = Q_s - Q_L$$

Q_s = balanço de ondas curtas no período (mm/dia)

α = albedo da cultura tomado como 0,25

Q_L = balanço de ondas longas no período (mm/dia)

$Q_L = \sigma T_m^4 (0,34 - 0,044 \sqrt{ea}) (0,1 + 0,9 n/N)$; sendo:

σ = constante de Stefan Boltzman: $(1,98 \cdot 10^{-9} \text{ mm/dia K}^4)$

n = insolação média do período (horas)

N = duração máxima de insolação (horas)

E_a = poder evaporante do ar estimado pela Equação:

$$E_a = 0,27 (1 + V_2/100) (e_s - e_a)$$

V_2 = velocidade do vento a 2m de altura (km/dia)

Cabe ressaltar que neste método não foi utilizado o fator c da Equação de Penman FAO, uma vez que não se dispunha dos valores da velocidade do vento noturno, e que sua utilização já não é mais recomendada (Smith et al., 1991).

Segundo o método do Tanque Classe A (TA), a E_{To} pode ser dada por:

$$TA = k_p E_{CA}$$

TA = evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe A

ECA = evaporação do Tanque Classe A (mm/dia)

k_p = expressão derivada por Allen & Pruitt (1991)

$$k_p = 0,108 - 0,00031(V_2) + 0,0455 \ln(\text{bordadura}) + 0,1434 \ln(\overline{UR}) - 0,000631[\ln(\text{bordadura})]^2 \ln(\overline{UR})$$

V_2 = velocidade do vento a 2 metros de altura (Km/dia)

bordadura = área verde que circunda o tanque (m)

\overline{UR} = umidade relativa média diária

$$\overline{UR} = (UR_{\text{máxima}} + UR_{\text{mínima}}) / 2$$

De acordo com o método da Radiação Solar FAO (RF), determina-se a E_{To} da seguinte forma:

$$RF = c (w R_g)$$

RF = evapotranspiração de referência segundo o método da radiação solar (mm/dia)

c = coeficiente angular de ajuste de E_{To} em função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento.

w e R_g = já descritos.

Utilizou-se da análise de regressão para testar o ajuste entre os métodos de estimativa e as medidas pelos evapotranspirômetros. Foram obtidos valores médios dos intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias, com o objetivo de se avaliar a redução no desvio padrão (SE) da estimativa e aumento do coeficiente de determinação, nas estações primavera, verão, outono e inverno.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 são apresentados os totais, anuais e por estação do ano, dos valores medidos e estimados de ETo.

Quadro 1 - Total anual e por estação do ano, em milímetros, da evapotranspiração medida (ETo) e estimada pelos métodos Penman Monteith (PM), Tanque Classe A (TA), Penman FAO (PF) e Radiação Solar FAO (RF).

Período	ETo(mm)	Pm(mm)	Ta(mm)	PF(mm)	Rf(mm)
Primavera	340,5	452,0	450,5	418,1	464,3
Verão	253,7	363,8	351,0	342,9	369,3
Outono	161,4	266,5	272,3	222,7	312,8
Inverno	170,3	316,1	347,4	270,5	371,5
<i>Anual</i>	<i>925,9</i>	<i>1.398,4</i>	<i>1.421,2</i>	<i>1.254,2</i>	<i>1.517,9</i>

Observa-se que todos os métodos superestimaram a evapotranspiração potencial, sendo em ordem decrescente: método da Radiação Solar FAO, do Tanque Classe A, Penman-Monteith e Penman-FAO.

Através das Figuras 1, 2, 3 e 4, observa-se que houve uma certa variação entre os valores estimados, ao longo do período, devido ao fundamento de cada método e ao fato dos mesmos não serem adequados às condições locais.

Nos Quadros 2, 3, 4 e 5 são apresentados os coeficientes de determinação (r^2) e os desvios padrão (SE), da comparação entre os valores medidos e estimados de ETo, pelos diversos métodos.

Embora os coeficientes de determinação tenham sido altos com valores de erro padrão menores em função do aumento no intervalo considerado, o método da Radiação Solar FAO foi o que apresentou pior ajuste, com maior superestimativa. Este comportamento ficou mais evidente no outono e inverno, período de menor disponibilidade energética, quando a umidade do ar e a velocidade do vento tem maior peso na evapotranspiração. O mesmo também foi observado por Bastos (1994) e Fontes (1996).

O método do Tanque Classe A apresentou, exceto na primavera, aumento do coeficiente de determinação e diminuição da dispersão dos dados estimados com relação aos medidos, utilizando-se intervalo de 10 dias conforme recomendação de Doorenbos & Pruitt (1977). Conforme observado por Ometto (1981), o método superestima a evapotranspiração provavelmente devido a sua geometria, constituição e disposição, apresentando desempenho inferior aos métodos de Penman-Monteith e de Penman-FAO.

O método de Penman-Monteith demonstrou melhor precisão com o aumento do intervalo, principalmente no outono e na primavera.

No geral, quando se aplica métodos combinados como o de Penman-Monteith e Penman-FAO, tem sido observado superestimativas, principalmente em climas úmidos (Allen et al. , 1989) e nos meses onde a evapotranspiração é menor. Pode-se observar para os dois métodos maior superestimativas no inverno.

A diminuição da precisão do método de Penman-FAO na primavera, pode ser justificada pelo fato de nessa estação a velocidade média do vento ter sido maior, exercendo maior influência no termo aerodinâmico.

Este método foi o que apresentou maior precisão, sendo possível optar pelo intervalo, a se considerar, em função dos altos valores nos coeficientes de determinação, embora o método de Penman-Monteith, com mesma característica, tenha apresentado menores valores do erro padrão (SE).

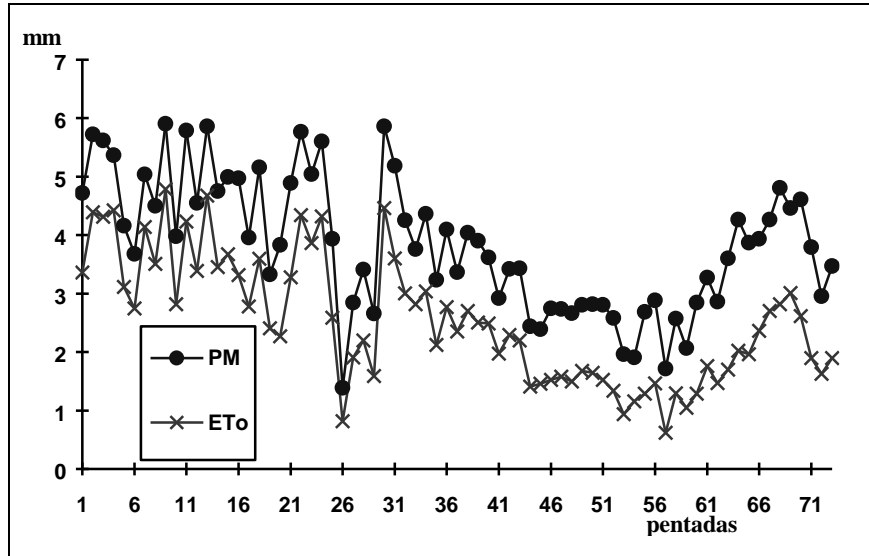


Figura 1 - Comportamento da evapotranspiração medida (ETo) e estimada pelo método de Penman-Monteith (PM).

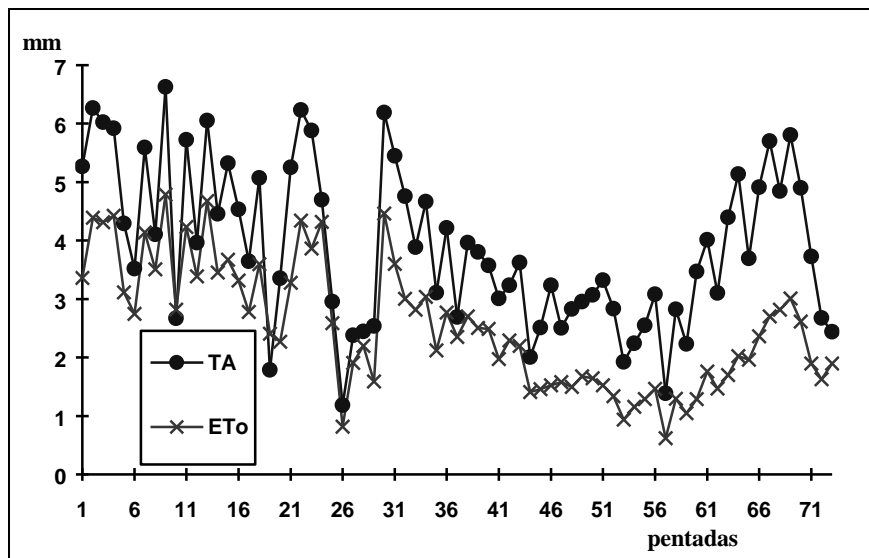


Figura 2 - Comportamento da evapotranspiração medida (ETo) e estimada pelo método do Tanque Classe A (TA).

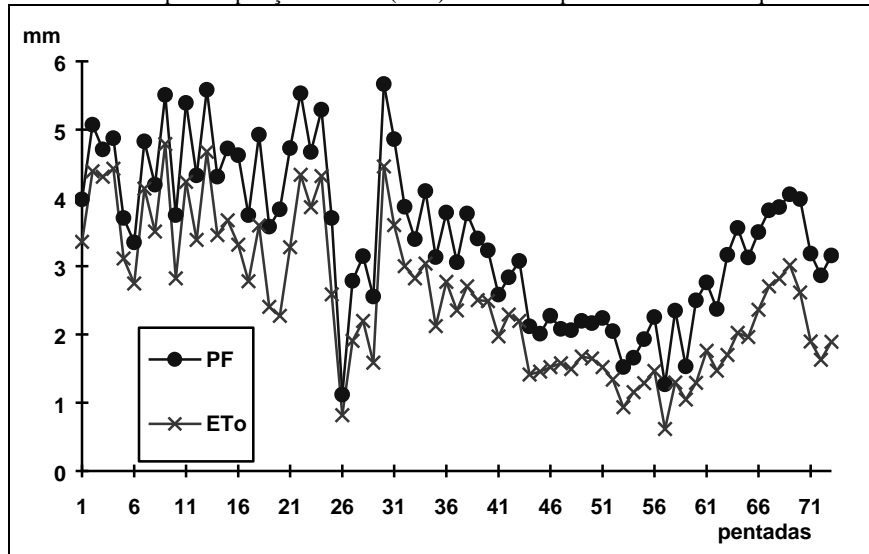


Figura 3 - Comportamento da evapotranspiração medida (ETo) e estimada pelo método de Penman-FAO (PF).

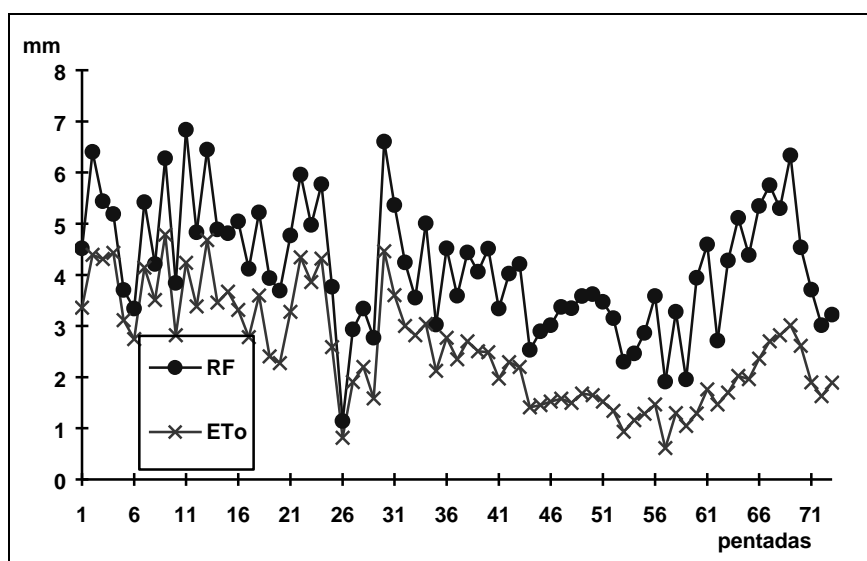


Figura 4 - Comportamento da evapotranspiração medida (ETo) e estimada pelo método da Radiação Solar FAO (RF).

Quadro 2 - Valores dos coeficientes a e b, erro padrão (SE) e coeficiente de determinação (r^2), da análise de regressão, entre valores de evapotranspiração estimada pelo método da Radiação e medida por evapotranspirômetros, para as 4 estações do ano, nos intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias.

INTERVALO		VERÃO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,04	0,68	0,40	0,89	
03	-0,11	0,71	0,30	0,92	
05	-0,41	0,79	0,18	0,97	
10	-0,35	0,77	0,16	0,97	
INTERVALO		OUTONO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,04	0,50	0,35	0,70	
03	-0,35	0,62	0,24	0,81	
05	-0,26	0,59	0,27	0,77	
10	-0,97	0,80	0,17	0,91	
INTERVALO		INVERNO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,14	0,42	0,36	0,76	
03	0,04	0,45	0,33	0,77	
05	-0,19	0,51	0,29	0,81	
10	-0,30	0,55	0,31	0,80	
INTERVALO		PRIMAVERA			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,96	0,54	0,48	0,75	
03	1,08	0,52	0,43	0,66	
05	0,90	0,55	0,35	0,72	
10	1,62	0,40	0,33	0,44	

Não houve diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

Quadro 3 - Valores dos coeficientes a e b, erro padrão (SE) e coeficiente de determinação (r^2), da análise de regressão, entre valores de evapotranspiração estimada pelo método do Tanque classe A e medida por evapotranspirômetros, para as 4 estações do ano, nos intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias.

INTERVALO		VERÃO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	1,18	0,42	0,75	0,60	
03	0,59	0,57	0,49	0,81	
05	0,60	0,57	0,40	0,85	
10	0,49	0,60	0,30	0,90	

INTERVALO		OUTONO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,42	0,45	0,42	0,58	
03	-0,23	0,67	0,30	0,72	
05	-0,22	0,67	0,29	0,73	
10	-0,71	0,84	0,23	0,83	

INTERVALO		INVERNO			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	0,33	0,40	0,40	0,72	
03	0,13	0,46	0,31	0,79	
05	-0,01	0,50	0,32	0,78	
10	-0,10	0,53	0,32	0,79	

INTERVALO		PRIMAVERA			
(DIAS)	a	b	SE	r^2	
01	1,73	0,40	0,60	0,61	
03	1,33	0,48	0,36	0,76	
05	1,44	0,47	0,33	0,76	
10	2,24	0,31	0,32	0,48	

Não houve diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

Quadro 4 - Valores dos coeficientes a e b, erro padrão (SE) e coeficiente de determinação (r^2) da análise de regressão entre valores de evapotranspiração estimada pelo método de Penman Monteith e medida por evapotranspirômetros, para as 4 estações do ano, nos intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias.

INTERVALO		VERÃO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,52	0,83	0,30	0,94
03	-0,56	0,84	0,21	0,96
05	-0,61	0,84	0,17	0,97
10	-0,65	0,86	0,11	0,99
INTERVALO		OUTONO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,20	0,67	0,29	0,80
03	-0,62	0,82	0,15	0,93
05	-0,57	0,80	0,17	0,91
10	-0,96	0,93	0,09	0,97
INTERVALO		INVERNO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,34	0,64	0,31	0,83
03	-0,44	0,67	0,25	0,86
05	-0,60	0,72	0,19	0,92
10	-0,67	0,74	0,19	0,92
INTERVALO		PRIMAVERA		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,06	0,76	0,48	0,75
03	-0,08	0,77	0,35	0,77
05	-0,48	0,85	0,23	0,88
10	0,11	0,73	0,21	0,78

Não houve diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

Quadro 5 - Valores dos coeficientes a e b, erro padrão (SE) e coeficiente de determinação (r^2) da análise de regressão entre valores de evapotranspiração estimada pelo método de Penman FAO e medida por evapotranspirômetros, para as 4 estações do ano, nos intervalos de 1, 3, 5 e 10 dias.

INTERVALO		VERÃO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,34	0,83	0,33	0,92
03	-0,41	0,85	0,26	0,94
05	-0,54	0,88	0,20	0,96
10	-0,56	0,89	0,18	0,97
INTERVALO		OUTONO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	0,08	0,69	0,22	0,89
03	-0,17	0,80	0,13	0,95
05	-0,14	0,78	0,14	0,93
10	-0,25	0,83	0,10	0,97
INTERVALO		INVERNO		
(DIAS)	a	b	SE	r^2
01	-0,21	0,70	0,28	0,86
03	-0,35	0,75	0,23	0,89
05	-0,47	0,79	0,18	0,93
10	-0,50	0,80	0,16	0,95
INTERVALO		PRIMAVERA		
(DIAS)	A	b	SE	r^2
01	0,01	0,81	0,42	0,81
03	-0,04	0,82	0,37	0,74
05	-0,24	0,86	0,32	0,77
10	0,74	0,64	0,34	0,44

Não houve diferença significativa ao nível de 0,05 de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

Todos os métodos evidenciaram forte correlação entre a evapotranspiração medida e estimativa da evapotranspiração, embora com superestimativas.

Ocorreu melhor correlação entre a evapotranspiração medida e estimada pelos diversos métodos, para os períodos entre 5 e 10 dias.

Os maiores erros de estimativa da evapotranspiração, para todos os métodos, ocorreram na primavera, onde não houve proporcionalidade entre o aumento do intervalo considerado e melhora de precisão.

Os métodos de Penman-Monteith e Penman-FAO foram igualmente precisos.

A utilização do método da Radiação e do Tanque Classe A, por suas superestimativas, só deverá ocorrer desde que não se disponha de dados climáticos para a utilização dos métodos de Penman Monteith e Penman FAO.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R.G. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. J.*, v.81, p.650-62, 1989.
- ASSIS, F.N. *O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada*. Piracicaba, 1978. 65p. Dissertação (Mestrado / Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BARBIERI, W. *Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. Piracicaba, 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BASTOS, E.S. *Determinação dos coeficientes de cultura da alface (lactuca sativa l.)* Botucatu, 1994. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- CURY, D.M. *Demanda de água na cultura do repolho (Brassica oleracea var. capitata L.)*. Piracicaba, 1985. 79p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CURY, D.M., VILLA NOVA, N.A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do repolho (*Brassica oleracea var. capitata L.*). *Científica (São Paulo)*. v.17, n.1, p.109-19, 1989.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Roma: FAO, 1979. 212 p. (Riego y drenaje, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma: FAO, 1977. 194 p. (Riego y drenaje, 24).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. *Estudo da demanda de água do feijoeiro (Phaseolus vulgares L.) var. Goiano precoce*. Piracicaba, 1980. 62p. Dissertação (Mestrado / Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FONTES, E.W.S. *Evapotranspiração e coeficiente de cultura da couve-bróculo (Brassica oleracea var. itálica) em dois níveis de lençol freático*. Botucatu, 1996. 89p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- JENSEN, M.E., HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drain. Div.*, v.89, p.15-41,1963.