

Vinicius R. Barros¹Adilson P. de Souza¹Daniel C. Fonseca²Leonardo B. D. da Silva³

Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos

RESUMO

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para a região de Seropédica, Rio de Janeiro, correlacionando medidas obtidas em lisímetros de pesagem com os métodos de Penman-Monteith- FAO 56 (PMF), Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CA), Priestley-Taylor (PT), Makking (MA) e Tanque Classe A (TCA). Os valores de ET_o estimados por PMF, PT e MA se mostraram bem correlacionados àqueles determinados pelo lisímetro de pesagem, ao passo que os métodos de HS e CA não apresentaram ajuste satisfatório aos dados do lisímetro. A ordem de grandeza dos erros de estimativa apresentados pelos métodos ajustados para a região de Seropédica é aceitável quando se pretende usar as estimativas para fins de dimensionamento de sistemas e para manejo da água de irrigação. Outra alternativa interessante é a utilização do Tanque Classe A, pela sua facilidade de manejo e pelo baixo custo, pois pode ser instalado próximo da lavoura.

Palavras-chave: métodos de estimativa, Penman-Monteith- FAO, Hargreaves-Samani, manejo de irrigação

Reference evapotranspiration in the region of Seropédica-RJ using weighting lysimeter and mathematical models

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the estimate of reference evapotranspiration (ET_o) for the region of Seropédica, RJ, correlating measures obtained with weighing lysimeter and Penman-Monteith - FAO 56 (PMF), Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CA), Priestley-Taylor (PT), Makking (MA) and Pan Class A (PCA) methods. The values of ET_o estimated by PMF, PT and MA were well correlated to those determined by the weighing lysimeter, whereas the HS and CA methods showed unsatisfactory adjustment with the lysimeter data. The estimated mistakes from the adjusted methods for the region of Seropédica are acceptable for use in design and management irrigation systems. Another interesting alternative is the use of the Pan Class A method, due to the feasible handling and low cost, so that it can be installed near the field.

Key words: estimating methods, Penman-Monteith-FAO, Hargreaves-Samani, irrigation management

¹ Graduando em Engenharia Agrícola, Bolsista de IC PIBIC/CNPq/UFRRJ, IT/DE/UFRRJ, Seropédica - RJ, E-mail: vica-rios@bol.com.br; pachecoufrj@yahoo.com.br

² Professor Associado, IT/DE/UFRRJ, Seropédica - RJ. E-mail: carvalho@ufrj.br

³ Professor Adjunto, IT/DE /UFRRJ, Seropédica - RJ. E-mail: irriga@ufrj.br

INTRODUÇÃO

Como a água constitui um dos principais insumos destinados à produção de alimentos, o conhecimento da evapotranspiração é fundamental no planejamento agrícola, pois é largamente utilizada na estimativa da demanda de água pela planta (Kashyap & Panda, 2001).

A taxa de evapotranspiração é o total da perda de água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas pela combinação simultânea da evaporação com a transpiração (Sediyama, 1998). 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). De acordo com Smith (1991), a taxa de evapotranspiração de uma cultura é hipotética, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 70 s m⁻¹ e albedo de 0,23. Segundo Sediyama (1996), essa evapotranspiração de referência assemelha-se, bem de perto, à evapotranspiração de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição hídrica.

Diversos os métodos são utilizados na estimativa da evapotranspiração de referência e têm sido apresentados em diversas publicações, inclusive nos boletins 24 (Doorembos & Pruitt, 1977) e 56 (Allen et al., 1998), organizados e difundidos pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura). Burman et al. (1983), em revisão de vários métodos de determinação da evapotranspiração, adotados em diversas partes do mundo, classificaram esses métodos em dois grandes grupos: o primeiro grupo inclui os métodos em que a evapotranspiração potencial pode ser determinada a partir de medidas diretas, como os lisímetros, o balanço hídrico e o controle de umidade no solo; e o segundo grupo, os métodos determinados por meio de dados climáticos, também chamados métodos indiretos, nos quais a evaporação ou a evapotranspiração de referência são avaliadas por fórmulas empíricas e racionais e, posteriormente, correlacionadas à evapotranspiração da cultura por meio de coeficientes de proporcionalidade, como coeficiente do tanque classe "A" (k_p) e coeficiente de cultura (k_c).

Os métodos mais empregados são os indiretos e se baseiam em dados meteorológicos, muitas vezes não disponíveis na propriedade ou na região de interesse. Em contrapartida, apesar de exigir a implantação de uma estrutura física muitas vezes onerosa, a obtenção de dados de evapotranspiração por meio de lisímetros permite planejamento mais confiável da agricultura irrigada, possibilitando o uso mais racional desse recurso. Entretanto, os lisímetros são normalmente utilizados em pesquisas, pois exigem implantação de uma estrutura física muitas vezes onerosa (Fietz et al., 2005).

De acordo com Allen et al. (1998), existe relação entre a ET_o medida em lisímetros e a estimada por outros métodos, especialmente aqueles originados da combinação de outros métodos, como o de Penman-Montheit-FAO e o Tanque Classe "A". Em trabalhos como os de Machado & Mattos (2000), Santiago et al. (2002), Andrade Júnior et al. (2003), Fietz et al. (2005), Conceição & Mandelli (2005), desenvolvidos em dife-

rentes regiões do Brasil, foi avaliado o desempenho de diversos métodos de estimativa da ET_o. As conclusões variam muito entre os estudos, pois cada região apresenta características climáticas próprias, o que dificulta ao usuário decidir sobre a conveniência de qual método adotar.

A estimativa da ET_o por meio de equações matemáticas é o processo mais comum e mais usual de obtenção da perda de água em áreas vegetadas, assim, são necessários dados climático-fisiológicos para sua aplicação. No caso de estimativas, esses métodos apresentam problemas de precisão, principalmente pela falta de ajuste dos coeficientes dos modelos, além de erros de leitura, acurácia dos sensores e por serem desenvolvidos para condições climáticas e agronômicas específicas, que não têm validade para condições distintas. Por outro lado, os lisímetros de pesagem possibilitam a obtenção de dados com maior confiabilidade, uma vez que visam representar o balanço de água no ambiente, permitindo ajustes dos modelos matemáticos em determinada região (Sentelhas, 2001).

Em virtude da importância de se estimar corretamente a evapotranspiração de referência, desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de seis métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica, Rio de Janeiro, tendo como referência medidas de ET_o obtidas em lisímetro de pesagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base em dados meteorológicos coletados no período de agosto de 2006 a junho de 2007 e obtidos de uma estação agrometeorológica instalada no Sistema Integrado de Produção Agroecológica, denominado Fazendinha Agroecológica, na área experimental da Embrapa – Agrobiologia, localizada no município de Seropédica, Rio de Janeiro. As coordenadas do local são 22°48'00"S e 43°41'00"W, com altitude de 33 metros. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Aw, com chuvas concentradas de novembro a março, precipitação anual média de 1.213 mm e temperatura média anual de 24,5°C (Carvalho et al., 2006).

O lisímetro utilizado era composto de uma caixa metálica com dimensões de 1,0 m × 1,0 m de base e 0,70 m de altura, montada sobre barras transversais, a fim de concentrar a massa do conjunto sobre uma única célula de carga, localizada no centro do sistema (Cruz, 2005). Foi utilizada célula de carga da marca Alpha¹, modelo Z, com capacidade de medida de até 2.000 kg, com número total de incrementos de aproximadamente 6.000 divisões, ou seja, tendo sensibilidade de 0,3 kg. De acordo com o fabricante, a sensibilidade da célula é de 2 ± 0,1% mV. V⁻¹.

Próximo ao local de funcionamento do lisímetro, foi instalada uma estação meteorológica contendo sensores de radiação solar global incidente (piranômetro Kipp & Zonen, modelo SP-LITE-L), velocidade e direção do vento (anemômetro, 03001-L RM Young) e temperatura e umidade relativa do ar (Vaisala, modelo HMP45C-L), além de um pluviômetro (Globalwater, GL 400-1-1) (Tabela 1). Dentro de uma caixa de aço galvanizado, foi instalado um sistema de aquisição e armaze-

Tabela 1. Dados médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e precipitação pluviométrica mensal em Seropédica, Rio de Janeiro, no período de agosto de 2006 a junho de 2007

Table 1. Monthly medium data of air temperature, relative humidity, speed wind haste and monthly rainfall in Seropédica – Rio de Janeiro, Brazil, from August of 2006 to June of 2007

Ano	Mês	Temperatura do ar (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Precipitação pluviométrica (mm)
2006	Agosto	22,32	70,04	1,23	47,4
	Setembro	21,92	72,19	1,43	65,3
	Outubro	22,95	78,87	1,10	141,0
	Novembro	24,04	78,92	1,17	134,3
	Dezembro	25,79	76,97	1,13	144,5
2007	Janeiro	25,43	80,69	0,98	185,7
	Fevereiro	26,99	72,12	1,12	217,3
	Março	27,41	69,49	1,10	15,8
	Abril	25,55	75,28	0,98	80,9
	Mai	21,50	77,32	1,03	63,1
	Junho	21,50	74,70	1,27	44,1

namento de dados (microdatalogger Campbell Scientific, mod. CR23X), programado para coletar dados a cada três segundos e as médias e/ou totais a cada 30 minutos.

O lisímetro de pesagem foi instalado em uma área com bordadura de 10,0 m e coberto com grama-batatais (*Paspalum notatum* L.). A fim de manter as condições ótimas de umidade para o seu desenvolvimento, foi instalado um sistema de irrigação por aspersão, composto de quatro miniaspersores setoriais com bocal de 3,0 mm. Para se proceder à drenagem do lisímetro, em virtude da ocorrência de precipitação elevada no período chuvoso (outubro a fevereiro) (Tabela 1), foi utilizada uma bomba de pistão montada sobre uma estrutura de madeira e acoplada a um tubo flexível de 0,020 m de diâmetro (3/4").

A análise dos dados foi desenvolvida pela comparação de seis métodos de estimativa de ETo (Penman-Monteith-FAO 56 - PMF, Hargreaves-Samani - HS, Camargo - CA, Priestley-Taylor - PT, Makkink - MA e Tanque Classe A - TCA) com o método de medida direta utilizando-se o lisímetro. Segundo as parametrizações propostas pelo boletim FAO-56, a equação original de Penman-Monteith assume a seguinte forma para a evapotranspiração de referência (ETo) diária (mm d⁻¹):

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot S \cdot (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{S + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que R_n é saldo de radiação total diário (MJ m⁻² d⁻¹); G, densidade de fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); T_{med}, temperatura média diária do ar a 2 m de altura (°C); U₂, velocidade do vento média diária a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s, pressão de saturação do vapor média diária (kPa); e_a, pressão parcial de vapor média diária (kPa); S, declividade da curva de pressão de saturação de vapor no ponto de T_{med} (kPa °C⁻¹); e γ, coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

Os valores de "S" e "γ" foram calculados pela metodologia apresentada por Allen et al. (1998). A radiação líquida (R_n) foi estimada pela soma do saldo de radiação de ondas curtas

(R_{na}) com o saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}), que também foram calculados de acordo com Allen et al. (1998).

Os métodos utilizados para estimar a ETo com base na temperatura do ar foram os de Hargreaves & Samani (equação 2), descrito por Samani (2000), e Camargo (1971)(equação 3), descrito por Pereira et al. (1997).

$$ET_0 = 0,0023 \cdot Ra \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}} (T + 17,8) \quad (2)$$

em que Ra é radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (MJ m⁻² d⁻¹); T, temperatura média (°C); T_{max}, temperatura média das máximas (°C); e T_{min}, temperatura média das mínimas (°C).

$$ET_0 = F \cdot Ra \cdot T \quad (3)$$

em que F é fator de ajuste, que varia com "T" anual (foi empregado um valor de F igual a 0,01, correspondente a um valor de "T" de até 23°C).

O método de Makkink (1957) correlaciona a evapotranspiração e radiação solar na superfície, conforme descrito por Pereira et al. (1997):

$$ET_0 = 0,61 \cdot W \cdot R_s - 0,12 \quad (4)$$

em que R_s é radiação global incidente no nível da superfície, expressa em equivalente de evaporação (mm.d⁻¹); e W, fator de ponderação, calculado pela equação $W = \Delta / (\Delta + \gamma)$, conforme Pereira et al. (2002).

O método de Priestley-Taylor (1972) pode ser considerado método de balanço de energia com base apenas no termo radiativo (diabático) corrigido por um fator de ajuste que torna o método semelhante à razão de Bowen (Pereira et al., 1997) e cujas variáveis foram apresentadas descritas acima.

$$ET_0 = 1,26 \cdot W \cdot (R_n - G) \quad (5)$$

O tanque evaporimétrico Classe A foi instalado sobre um estrado de madeira, a 0,15 m da superfície gramada; as leituras foram feitas diariamente e o nível da superfície líquida mantido entre 0,05 m e 0,08 m da borda do tanque, permitindo determinar a evaporação da água (ECA). No método do Tanque Classe A, a ETo-foi obtida pela multiplicação da evaporação (ECA) por um coeficiente (K_p). De acordo com Souza et al. (2007), a correção do coeficiente de tanque depende basicamente das características climáticas da região e do meio no qual está instalado. Para Seropédica, Rio de Janeiro, é recomendável a equação proposta por Allen et al. (1998).

$$K_p = 0,108 - (0,0286U) + (0,0422 \ln F) + (0,1434 \ln UR) - (0,000631 (\ln F)^2 \ln UR) \quad (6)$$

em que U é velocidade média do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); F, dimensão da bordadura em que o tanque está circundado (10 m); e UR, umidade relativa média do dia (%).

Com os valores encontrados foram ajustadas equações de regressão lineares considerando dados diários e agrupados em períodos de 3 e 5 dias. Os valores de ETo estimados pelas fórmulas matemáticas e pelo Tanque Classe A foram correlacionados aos valores medidos no lisímetro, conforme meto-

dologia apresentada por Camargo & Sentelhas (1997), e avaliados segundo regressões lineares simples, erro-padrão da estimativa (SEE), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c), definido pelo produto entre o coeficiente de correlação (r) e o índice de concordância (d).

O erro-padrão da estimativa foi calculado segundo a equação 07:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y} - Y)^2}{n - 1}} \quad (7)$$

em que SEE é erro-padrão da estimativa (mm d⁻¹); Y, ETo medida (mm d⁻¹); \hat{Y} , ETo estimada pelo modelo (mm d⁻¹); e n, número de observações.

O índice de concordância, proposto por Willmott et al. (1985), é dado pela equação:

$$d = 1 - \frac{\sum (\hat{Y} - Y)^2}{\sum (|\hat{Y}| + |Y|)^2} \quad (8)$$

em que $\hat{Y}' = \hat{Y} - \bar{Y}$ e $Y' = Y - \bar{Y}$ (conforme identificação na equação anterior); d é adimensional, variando de 0 a 1; e \bar{Y} , média dos valores observados, (mm dia⁻¹).

O desempenho dos métodos utilizando o índice c, correspondente à multiplicação do índice de correlação "r" pelo coeficiente de exatidão "d", foi avaliado conforme a descrição proposta por Camargo & Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de regressão foi efetuada considerando o coeficiente linear igual a zero (Figura 1), uma vez que a tendência

natural é que a ETo estimada aproxime-se de zero quanto menor a contribuição da temperatura e maior da umidade relativa, não se tornando um valor nulo. Todavia, coeficientes lineares nulos garantem a inexistência de resíduos na estimativa quando a ETo medida é zero.

É importante destacar que, somente para o método do Tanque Classe A, foram usadas séries de dados meteorológicos independentes para a validação do método proposto, pois foram desconsiderados dias em que ocorreram precipitações pluviométricas e dias com altas velocidades de vento, que causaram incertezas e erros nos resultados de ETo do lisímetro.

Ao longo do período estudado, a ETo estimada pelo método PMF (Figura 1a) se ajustou melhor às medidas diárias obtidas no lisímetro em comparação às estimativas dos demais métodos. Quanto ao método HS, o resultado observado (Figura 1b) indica ajuste não-satisfatório, tendo em vista o período analisado, o qual se caracteriza, em grande parte, por baixo déficit de pressão de vapor. Com relação ao método CA e MA, os ajustes apresentaram os mais baixos coeficientes de determinação (Figura 1c e 1d), portanto, esses métodos não são recomendáveis para estimativas diárias de ETo na região de Seropédica, Rio de Janeiro. Segundo Camargo & Camargo (1983), a fórmula proposta por Camargo (1971) é indicada para estimativa da evapotranspiração para períodos agrupados de 10 ou 30 dias. Resultados semelhantes foram encontrados por Bonomo et al. (1998), que, para as condições de Minas Gerais, também observaram tendência da equação em subestimar a ETo diária.

A Tabela 2 apresenta os parâmetros estatísticos relativos às equações de regressão linear simples entre a ETo medida pelo lisímetro e àquelas estimadas pelos métodos, como também a classificação do desempenho destes modelos, segun-

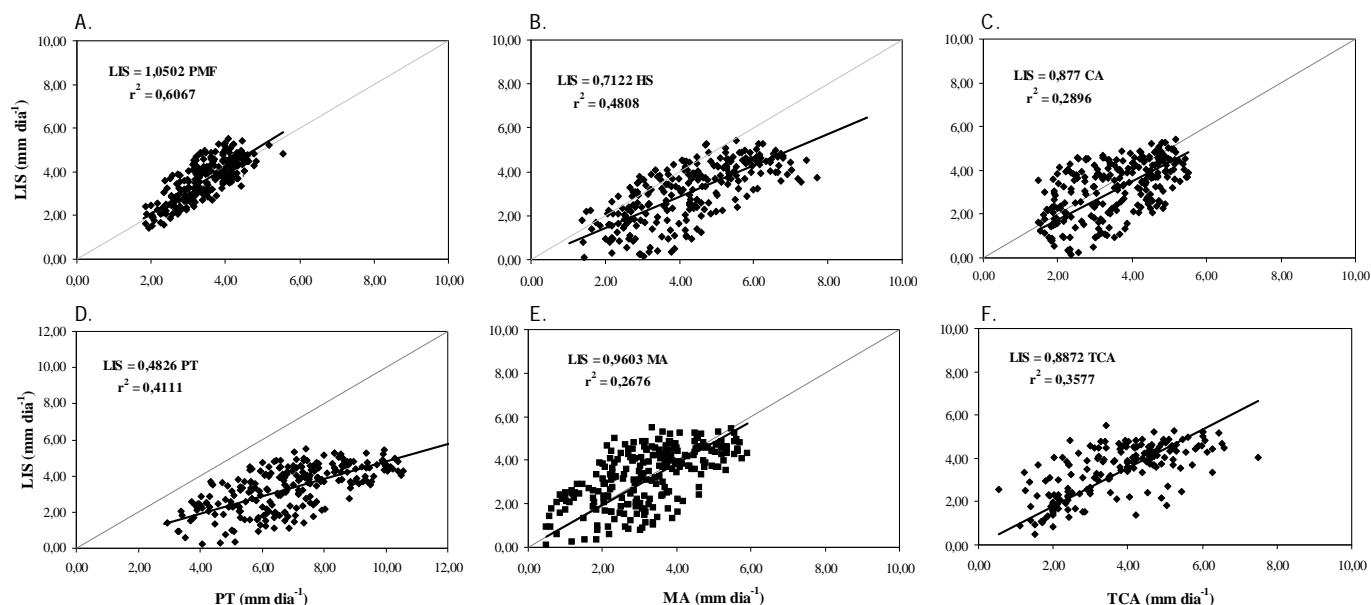


Figura 1. Correlação entre os valores diários de ETo medidos pelo lisímetro e estimados pelos métodos PMF (a), HS (b), CA (c), PT (d), MA (e) e TCA (f), para região de Seropédica, Rio de Janeiro

Figure 1. Correlation between daily values of ETo measured by lysimeter and estimated by the PMF (a), HS (b), CA (c), PT (d), MA (e) and TCA (f) methods for the region of Seropédica – Rio de Janeiro, Brazil

Tabela 2. Coeficiente de correlação (*r*), índice de concordância (*d*) e índice de desempenho (*c*) para as equações de regressão entre valores diários de ETo do lisímetro e estimados pelos métodos de PMF, HS, CA, PT, MA e TCA

Table 2. Coefficient of correlation (*r*), index of agreement (*d*) and index of performance (*c*) for the regression equations between daily values of ETo measured by lysimeter and estimated by the PMF, HS, CA, PT, MA and TCA methods

Método	Coeficiente Angular (Y = a X)	SEE (mm dia ⁻¹)	r	d	c	Desempenho
Período diário						
LIS - PMF	1,0502	0,62	0,779	0,855	0,666	Mediano
LIS - HS	0,7122	1,60	0,693	0,898	0,623	Mediano
LIS - CA	0,8770	1,16	0,538	0,742	0,399	Péssimo
LIS - PT	0,4826	3,80	0,641	0,087	0,053	Péssimo
LIS - MA	0,9603	1,11	0,517	0,784	0,405	Péssimo
LIS - TCA	0,8872	1,06	0,598	0,822	0,492	Sofrível
Período de 3 em 3 dias						
LIS - PMF	1,0494	1,18	0,945	0,964	0,911	Ótimo
LIS - HS	0,7173	3,81	0,879	0,964	0,847	Muito bom
LIS - CA	0,8824	2,56	0,735	0,850	0,625	Mediano
LIS - PT	0,4869	9,49	0,872	0,168	0,146	Péssimo
LIS - MA	0,9912	2,28	0,758	0,870	0,660	Mediano
LIS - TCA	0,9162	1,65	0,922	0,956	0,882	Ótimo
Período de 5 em 5 dias						
LIS - PMF	1,0556	1,86	0,956	0,970	0,926	Ótimo
LIS - HS	0,8116	5,87	0,837	0,935	0,782	Muito bom
LIS - CA	0,8787	3,66	0,827	0,885	0,732	Bom
LIS - PT	0,4894	15,26	0,892	0,879	0,784	Muito bom
LIS - MA	0,9943	3,01	0,802	0,898	0,720	Bom
LIS - TCA	0,9204	2,21	0,931	0,959	0,892	Ótimo

do critério apresentado por Camargo & Sentelhas (1997). A Tabela apresenta valores dos parâmetros para dados de ETo diários e também para valores agrupados de 3 e 5 dias.

Houve tendência dos métodos propostos superestimarem os valores de ETo em relação aos valores medidos no lisímetro; foi mais considerável a variação observada no método PT (Figura 1d), que apresentou ajuste com coeficiente angular 0,4826, com valores superiores em média a 48,5% em comparação às medidas lisimétricas e erros de no mínimo 3,8 mm dia⁻¹. Os coeficientes de determinação (*r*²) obtidos das análises de regressão lineares entre as estimativas de ETo foram bem distintos, com valores de 0,607 para PMF, 0,411 para PT, 0,268 para MA e 0,358 para TCA, indicando que considerável parte da variância total dos valores de ETo é explicada pelos métodos. Contudo, a adoção do *r*² como único critério de definição da qualidade de métodos não é adequada, uma vez que esse método não estabelece o tipo e a magnitude das diferenças entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa ou outros mecanismos de medida diferente do padrão.

O modelo PMF parametrizado pela FAO foi o que estimou mais satisfatoriamente a evapotranspiração de referência diária. O bom desempenho desse método pode ser visualizado pela pequena dispersão dos pontos em relação à reta 1:1, que resultou em bom coeficiente de correlação (0,799). A superioridade do modelo também foi expressa pelo melhor desempenho de todos os índices estatísticos utilizados para avaliar as estimativas de ETo (Tabela 2). Neste caso, houve equilíbrio entre valores estimados, com tendência na subestimativa dos maiores valores de ETo e superestimativa dos meno-

res valores (Figura 1a). Entretanto, Gomide & Maeno (2008) citam que em geral o método combinando Penman-Monteith-FAO indica superestimativas de 8 a 35%, dependendo do clima da região, o que torna recomendável o estudo local para análise de tendências desse método.

No método de Makkink, muitos pontos situaram-se acima da reta, mostrando elevado índice de superestimativa da ETo. Esse resultado se deve, provavelmente, ao fato de os coeficientes utilizados da equação original não serem adequados para a região de Seropédica (*a* = -0,12 mm d⁻¹; *b* = 0,61). De acordo com Pereira et al. (1997), os coeficientes dessa equação podem variar de local para local e nas diferentes escalas de tempo de medida.

De acordo com Santiago et al. (2002), variações bruscas na magnitude dos elementos meteorológicos causam impactos mais significativos nos dados de evapotranspiração quanto menor for a escala de tempo de análise dos dados. O agrupamento dos valores de ETo em períodos de 3 e 5 dias propiciou melhorias nos ajustes das medidas estimadas com as medidas lisimétricas para todos os métodos analisados (Tabela 2). Camargo & Sentelhas (1997) observaram que métodos empíricos, como PT, CA e MA ajustados para a condição climática do planalto paulista, mostraram bons resultados, enquanto, no estudo em questão, agrupamentos de dados a partir de 5 dias podem incluir esses métodos de estimativa de ETo. Resultados semelhantes foram também obtidos por Silva et al. (1999) e Mendonça et al. (2003).

O método do tanque classe A também apresentou desempenho satisfatório com o agrupamento dos dados, com pequena tendência de superestimar os valores de ETo, conforme observado por Souza et al. (2007). Entretanto, pode ser uma alternativa interessante no manejo da irrigação, por sua simplicidade de operação e pelo seu custo para turnos de rega acima de três dias.

Foi possível constatar que, de modo geral, os métodos de PMF e HS estimaram satisfatoriamente a ETo pelo lisímetro, tendo em vista o índice de concordância superior aos 62% para todos as condições analisadas. A partir dos resultados da análise de regressão dos dados de ETo agrupados em períodos de 3 e 5 dias, verificou-se aumento no erro-padrão da estimativa (SEE) em relação à análise diária, no entanto, foram obtidos maiores coeficientes de correlação e, conseqüentemente, melhores índices de desempenho dos métodos analisados.

Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram a observação de Pereira et al. (1997) de que muitos métodos empíricos de estimativa de ETo, pela sua simplicidade e facilidade de aplicação, não devem ser descartados, pois muitas vezes são os únicos com potencial de utilização. Todavia, em geral, as estimativas são confiáveis somente para períodos longos e sua aplicação fica limitada às condições climáticas em que foram desenvolvidos.

CONCLUSÕES

Para a região de Seropédica, as melhores estimativas de ETo são obtidas com os métodos PMF, TCA e HS principalmente para períodos de 3 e 5 dias. Os métodos de CA, MA e

PT não estimam satisfatoriamente a ETo para observações agrupadas em pequenos períodos, por isso, são recomendadas para escalas temporais maiores que cinco dias.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Andrade Júnior, A.S.; Bastos, E.A.; Sentelhas, P.C.; Silva, A.A.G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.1, p.63-68, 2003.
- Bonomo, R.; Mantovani, E.C.; Sedyama, G.C. Estudo comparativo de modelos de evapotranspiração de referência (ETo) para as regiões cafeeira do Triângulo e Noroeste de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: UFLA / SBEA, 1998. v. 1, p.307-309.
- Burman, R.D., Nixon, P.R., Wright, J.L.O. Water Requirements. In: Jensen, M.E. (ed.). Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1983. p.189-232.
- Camargo, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1971. p.24. (Boletim 116).
- Camargo, A. P.; Camargo, M. B. P. Teste de uma equação simples da evapo(transpi)ração potencial baseado na radiação solar extraterrestre e na temperatura média do ar. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 3, 1983, Campinas. Anais... Campinas: SBAGRO, 1983, p. 229-244.
- 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*, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- Carvalho, D.F.; Silva, L.D.B.; Folegatti, M.V.; Costa, J.R.; Cruz, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.14, n.2, p.108-116, 2006.
- Conceição, M.A.F.; Mandelli, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.12, n.2, p 303-307, 2005.
- Cruz, F.A. Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica-RJ. Seropédica; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2005. 58p. Dissertação Mestrado.
- Fietz, C.R.; Silva, F.C.; Urchei, M.A. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, n.2, p.225-250, 2005.
- Gomide, R.L.; Maeno, P. Requerimento de água pelas culturas. In: Albuquerque, P.E.P.; Durães, F.O.M. (ed.). Uso e manejo de irrigação. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 225-253.
- Kashyap, P.S.; Panda, R.K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. *Agricultural Water Management*, v.50, n.1, p.9-25, 2001.
- Machado, R.E.; Mattos, A. Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, n.2, p.193-197, 2000.
- Mendonça, J.C.; Souza, E.F.; Bernardo, S.; Dias, G.P.; Grippa, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo), na região Norte Fluminense, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, p.275-279, 2003.
- Pereira, A.R., Villa Nova, N.A.; Sedyama, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- Rodriguez, R.D.G. Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: estudo de caso da bacia do Paracatu. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 111p. Tese Doutorado.
- Santiago, A.V.; Pereira, A.R.; Folegatti, M.V.; Maggioto, S.R. Evapotranspiração de referência medida por lisímetros de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, n.1, p.57-66, 2002.
- Sedyama, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 4, n.1, p.1-12, 1996.
- Sedyama, G. C. Evapotranspiração: necessidades de água para as plantas cultivadas. Brasília, DF : ABES, 1998. 181 p. (Curso de especialização por tutoria à distância).
- Sentelhas, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: Miranda, J.H.; Pires, R.C.M. (eds.). Irrigação. Piracicaba, SP: FUNEP, 2001. 4p. (Série Engenharia Agrícola).
- Silva, F.C.; Folegatti, M.V.; Pereira, A.R.; Villa Nova, N.A. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p.19-23, 1999.
- Smith, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome: FAO, 1991. 45 p.
- Souza, A.P.; Barros, V.R.; Pinto, M.F.; Lima, M.E.; Carvalho, D.F.; Silva, L.B.D. Determinação de coeficientes de tanque classe A (Kp) e estimativa diária de evapotranspiração de referência (ETo) em Seropédica – RJ. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 15, 2007, Aracaju. Anais... Santa Maria: SBAGro, 2007. CR-Rom. Willmont, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v.2, n.2, p.184-194, 1981.