

ISSN 0104-1347

Avaliação de coeficientes de tanque classe A para a estimativa da evapotranspiração de referência em Campinas, SP¹

Evaluation of class A pan coefficients to estimate reference evapotranspiration for Campinas, SP, Brazil

Gerson Araujo de Medeiros²; Flavio Bussmeyer Arruda³; Emílio Sakai³

Resumo: A evapotranspiração de referência (ET_o) é uma variável de grande importância para a determinação do consumo hídrico das culturas agrícolas, sendo normalmente estimada a partir de dados meteorológicos. Dentre os métodos de estimativa da ET_o, o do tanque classe A se destaca como um dos mais empregados no manejo da irrigação, sendo a evaporação do tanque classe A (Epan) convertida para ET_o por meio do coeficiente de tanque (kp), o qual, por sua vez, pode ser determinado de diversas formas. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de cinco diferentes métodos de cálculo do kp para fins de estimativa da ET_o. Foram realizadas análises de comparação dos valores estimados diariamente de kp com aqueles obtidos por meio da relação entre a ET_o calculada pelo método de Penman-Monteith (ETPM) e a evapotranspiração da grama medida em lisímetro (ET_g), com a evaporação do tanque Classe A (Epan); e também análises de comparação entre a ET_o estimada, na escala decenal, pela relação kp*Epan, e aquela obtida por meio do lisímetro (ET_g) e pelo método de Penman-Monteith (ETPM). O experimento foi conduzido no Instituto Agronômico de Campinas, SP, Brasil, no período de setembro a novembro de 1994. As relações entre kp estimados e observados tiveram um baixo desempenho, contudo, melhoria significativa foi observada na escala decenal, quando a ET_o estimada pelo método do tanque classe A foi relacionada aos valores obtidos pelo lisímetro e pela equação de Penman-Monteith.

Palavras chaves: lisímetro, evaporação, Penman-Monteith

Abstract: Reference evapotranspiration (ET_o) is a variable of high importance to determine crop water requirement, being estimated from weather data. Among the available methods to estimate ET_o, the one based on the class A pan evaporation (Epan) is the most used for irrigation scheduling purposes. This method converts Epan into ET_o by a pan coefficient (kp), which can be determined by different ways. So, the purpose of this work was to evaluate the performance of five different methods to calculate kp to estimate ET_o. Analyses were performed to compare daily estimated kp values against those obtained by the relationship between ET_o calculated by the Penman-Monteith method (ETPM) and the grass evapotranspiration (ET_g), measured with a lysimeter, and Epan; and the comparison between estimated ET_o on a ten-day basis, through kp*Epan, and that one obtained from lysimeter measurements (ET_g) and by the Penman-Monteith method (ETPM). The experiment was carried out at the Instituto Agronômico, at Campinas, SP, Brazil, from September to November 1994. The relationship between estimated and observed kp values showed a low performance; however, a significant improvement was observed when a ten-day period was used to compare estimated ET_o to ET_g and ETPM.

Key words: lysimeter, evaporation, Penman-Monteith.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor defendida junto à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

² Professor, Dr., UNIPINHAL, Av. Helio Vergueiro Leite s/ n., C.P. 05, CEP 13990-000, Espírito Santo do Pinhal – SP, Brasil. E-mail: gerson_medeiros@unipinhal.edu.br

³ Pesquisador, Dr, Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo – IAC, Av. Barão de Itapura 1481, Caixa Postal 28, CEP 13001-970, Campinas – SP, Brasil. E-mail: farruda@iac.sp.gov.br, emilio@iac.sp.gov.br

Introdução

O quadro de crescente escassez dos recursos hídricos tem promovido, junto aos diferentes setores da sociedade, o surgimento e a adoção de estratégias que permitem elevar a eficiência do seu uso. Nesse aspecto, destaca-se o manejo racional da água na agricultura irrigada, o qual depende, dentre diversos fatores, do conhecimento das necessidades hídricas ou da evapotranspiração (ET) das plantas.

Uma das formas mais difundidas de se estimar a ET das culturas utiliza o coeficiente de cultura (k_c) associado a estimativas da evapotranspiração de referência (E_{To}). O k_c é uma variável relacionada às características fisiológicas e de crescimento da planta, ao padrão de molhamento e secamento do solo (ALLEN et al., 1998), à soma térmica da cultura (MEDEIROS et al., 2000) ou, ainda, aos parâmetros de crescimento de cultura (MEDEIROS et al., 2001; ALLEN et al., 1998). Já a evapotranspiração de referência relaciona-se ao efeito da demanda atmosférica sobre as exigências hídricas das plantas, sendo estimada a partir de variáveis meteorológicas.

Segundo GRISMER et al. (2002), existem cerca de cinquenta métodos para a estimativa da E_{To} , os quais exigem informações meteorológicas distintas e, portanto, produzem, freqüentemente, resultados inconsistentes.

A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) tem sistematizado e difundido procedimentos e informações necessários para a estimativa da E_{To} , sendo, atualmente, recomendado o método de Penman-Monteith como o padrão para se realizar esta estimativa. Este método fundamenta-se em aspectos físicos dos processos de evaporação e transpiração e incorpora explicitamente parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da cultura de referência (ALLEN et al., 1998).

Apesar desta recomendação, vários outros métodos continuam sendo utilizados para o manejo de irrigação. Dentre esses, o método do tanque Classe A se destaca por apresentar baixo custo, simplicidade e praticidade, além da existência de séries históricas de evaporação de tanque mais longas do que aquelas referentes aos dados meteorológicos nos quais se baseia o método de

Penman-Monteith (HARMSSEN, 2003; GRISMER et al., 2002; STANHILL, 2002). Por esse método, a E_{To} é calculada, para um dado período, a partir da evaporação do tanque Classe A e de um coeficiente de tanque (k_p), por meio da seguinte relação:

$$E_{To} = k_p E_{pan} \quad (1)$$

em que k_p é o coeficiente de tanque e E_{pan} a evaporação obtida por meio do tanque Classe A (mm dia^{-1}).

O k_p , utilizado para converter E_{pan} em E_{To} , tem sido apresentado em forma de tabelas, como aquelas difundidas pela FAO (ALLEN et al., 1998), ou na forma de equações empíricas (PEREIRA et al., 1995; SNYDER, 1992; RAGHUWANSHI & WALLENDER, 1998; ALLEN et al., 1998), destinadas à aplicação em rotinas de cálculo computacionais. Essas equações, em função de seus fundamentos basicamente empíricos, necessitam de avaliações para condições distintas daquelas nas quais foram geradas, a fim de se aferir sua abrangência de uso, como as realizadas por SENTELHAS & FOLEGATTI (2003); IRMAK et al. (2002); CONCEIÇÃO (2002) e GRISMER et al. (2002).

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de cinco diferentes métodos de cálculo do k_p para fins de estimativa da E_{To} , para a região de Campinas, no estado de São Paulo.

Material e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido no Núcleo Experimental de Campinas (NEC), na área de pesquisa em irrigação e drenagem do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: 47° 04' de longitude Oeste, 22° 52' de latitude Sul e altitude de 600 m.

No mês de junho de 1994 instalou-se, no meio de uma área quadrada de 400 m², vegetada com grama batatais (*Paspalum notatum* L.), um lisímetro de lençol freático constante, no qual foi plantado o mesmo tipo de vegetação, e por meio do qual se monitorou diariamente sua demanda hídrica. O lisímetro era composto por um reservatório com mil litros de capacidade e uma área de exposição de 1,41

m², equipado com um sistema de alimentação de água para manter um nível constante de lençol freático a 0,40 m abaixo da superfície do solo. A descrição detalhada do sistema lisimétrico e o seu funcionamento são apresentados em MEDEIROS & ARRUDA (1999).

As leituras diárias de evapotranspiração da grama (ETg), obtidas do lisímetro, tiveram início em 30 de agosto e se prolongaram até 16 de novembro de 1994, perfazendo um período de setenta e nove dias.

Com base em dados meteorológicos coletados na estação do IAC, localizada a 900 m do local de instalação do lisímetro, a evapotranspiração de referência foi estimada diariamente pelo método de Penman-Monteith (ETPM), por meio da seguinte equação (ALLEN et al., 1998):

$$ET_{PM} = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

em que, ETPM é a evapotranspiração da cultura de referência (mm dia⁻¹); R_n o saldo de radiação na superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹); G o fluxo de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T a temperatura média do ar (°C); U₂ a velocidade do vento medida a 2 m de altura (m s⁻¹); (e_s-e_a) o déficit de pressão de vapor (kPa); s a declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹); γ o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹) e 900 uma constante de conversão.

Para a estimativa do k_p foram utilizados os seguintes modelos:

a) CUENCA (1989):

$$k_p = 0,475 - 2,4 \times 10^{-4} U_2 + 5,16 \times 10^{-3} H + 1,18 \times 10^{-3} F - 1,6 \times 10^{-5} H^2 - 1,01 \times 10^{-6} F^2 - 8,0 \times 10^{-9} H^2 U_2 - 1,0 \times 10^{-8} H^2 F \quad (3)$$

b) SNYDER (1992)

$$k_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U_2 + 0,0045 UR \quad (4)$$

c) ALLEN et al. (1998):

$$k_p = 0,108 - 0,0286 U_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(UR) - 0,000631 [\ln(F)]^2 \ln(UR) \quad (5)$$

sendo U₂ em km dia⁻¹ nas equações 3 e 4 e em m s⁻¹ na equação 5, F a bordadura de grama (= 10 m), e UR a umidade relativa média (%).

d) PEREIRA et al. (1995)

$$k_p = 0,85 \left(\frac{s + \gamma}{s + \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \right) \quad (6)$$

em que r_c e r_a são as resistências de superfície e aerodinâmica, respectivamente (s m⁻¹).

e) RAGHUWANSHI & WALLENDER (1998)

$$k_p = 0,5944 + 0,0242 X_1 - 0,0583 X_2 - 0,1333 X_3 - 0,2083 X_4 + 0,0812 X_5 + 0,1344 X_6 \quad (7)$$

em que, X₁ é o logaritmo natural da bordadura de grama, X₂, X₃ e X₄ as classes de velocidade do vento de 175 a 425 km dia⁻¹, 425 a 700 km dia⁻¹ e superior a 700 km dia⁻¹, respectivamente, e X₅ e X₆ as classes de umidade relativa média de 40 a 70% e superior a 70%, respectivamente.

A primeira análise realizada consistiu da comparação entre os valores de k_p calculados, diariamente, pelas equações 3, 4, 5, 6 e 7 com os valores de coeficiente de tanque determinados pela equação 1, sendo ETo obtida, diariamente, de duas formas: a) a partir da ETg medida pelo lisímetro, e b) por meio da ETPM, calculada pela equação 2.

A segunda análise consistiu na obtenção de ETo estimada para períodos médios de dez dias, por meio da equação 1, com os valores de k_p determinados pelos cinco métodos avaliados. Os valores de ETo assim obtidos foram comparados a ETg e ETPM. Nessa análise, os intervalos de tempo médio de dez dias, utilizados para os cálculos de ETo estimados, ETg e ETPM foram sobrepostos e

defasados de um dia, gerando seqüências com setenta pares de valores. Tal abordagem de análise dos dados lisimétricos é descrita detalhadamente em MEDEIROS et al. (2004). Como exemplo, mostramos duas seqüências de dez dias usadas no cálculo de k_p :

1º intervalo: k_p médio calculado de 30/08/94 a 08/09/94;

2º intervalo: k_p médio calculado de 31/08/94 a 09/09/94.

Para se avaliar o desempenho das comparações realizadas, foram utilizados diferentes critérios estatísticos, incluindo o coeficiente de determinação (R^2) da reta correlacionando valores observados e estimados, o índice de concordância (D) e a eficiência (EF) apresentados por WILLMOTT et al. (1985), também empregados por SENTELHAS & FOLEGATTI (2003) e FIETZ et al. (2005):

$$D = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|) \right)^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2 \right)}{\left(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right)} \quad (9)$$

em que, O_i é o valor observado, E_i o valor estimado e \bar{O} a média dos valores observados.

Resultados e discussão

O período do ensaio caracterizou-se por ser mais quente e seco do que as normais climatológicas observadas nessa área, segundo dados fornecidos pelo Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC e analisados por MEDEIROS et al. (2000).

A temperatura média do ar, de 26 de agosto a 15 de novembro de 1994, foi de 24,2 °C, sendo a média das temperaturas mínimas de 16,3 °C, e a média das temperaturas máximas, de 31,0 °C. Já a média da umidade relativa do ar (UR), nesse mesmo

período, atingiu 58,0 %, sendo o período de 26 a 30 de setembro aquele em que se registrou o menor valor médio de UR (37,8 %). Esse também foi o período no qual se registrou a maior média da velocidade do vento a 2 m da superfície, a qual atingiu 471 km dia⁻¹, enquanto a média de todo o período foi de 241,7 km dia⁻¹.

Os valores médios observados de ETPM, ETg e Epan, durante o período do ensaio, alcançaram 5,5 mm dia⁻¹, 4,7 mm dia⁻¹ e 6,7 mm dia⁻¹, respectivamente. Observou-se que o período médio de cinco dias no qual ocorreu a maior demanda evaporativa média, praticamente coincidiu e correspondeu de 10 a 14 de outubro (ETPM), de 9 a 13 de outubro (ETg) e de 8 a 12 de outubro (Epan), quando se obtiveram 6,8 mm dia⁻¹, 7,0 mm dia⁻¹ e 8,8 mm dia⁻¹, respectivamente.

Durante os meses de setembro e outubro, as chuvas foram de apenas 51,9 mm, enquanto que nesse mesmo período a precipitação média normal é de 189,2 mm. Além de escassa, a chuva foi mal distribuída, pois, do total precipitado (181 mm ao longo do período avaliado), 49% (88,5 mm) ocorreram na última semana do experimento. Essas condições meteorológicas favoreceram o monitoramento da ETg, pois durante praticamente todo o ciclo não se verificou qualquer entrada de água no lisímetro, além daquela fornecida de forma controlada ao sistema.

Os valores calculados diariamente de k_p , pela equação 1, utilizando ETPM e ETg como a evapotranspiração de referência, apresentaram valores médios de 0,94 e 0,79, respectivamente, sendo que os máximos atingiram 3,56 e 2,72, e os mínimos de 0,39 e 0,16, respectivamente. Esses valores máximos observados, os quais estão fora do limite da amplitude de variação esperada para esse coeficiente, provavelmente, são devidos aos problemas referentes à entrada não controlada de água no lisímetro, durante alguns dos raros eventos de chuva durante o ciclo, e outros erros inerentes à operação e leitura do tanque Classe A.

Ao contrário do observado nos valores considerados como comparativos, a faixa de variação dos valores estimados diariamente de k_p , pelas equações 3, 4, 5, 6 e 7, foi bem menor, conforme pode ser observado na Figura 1.

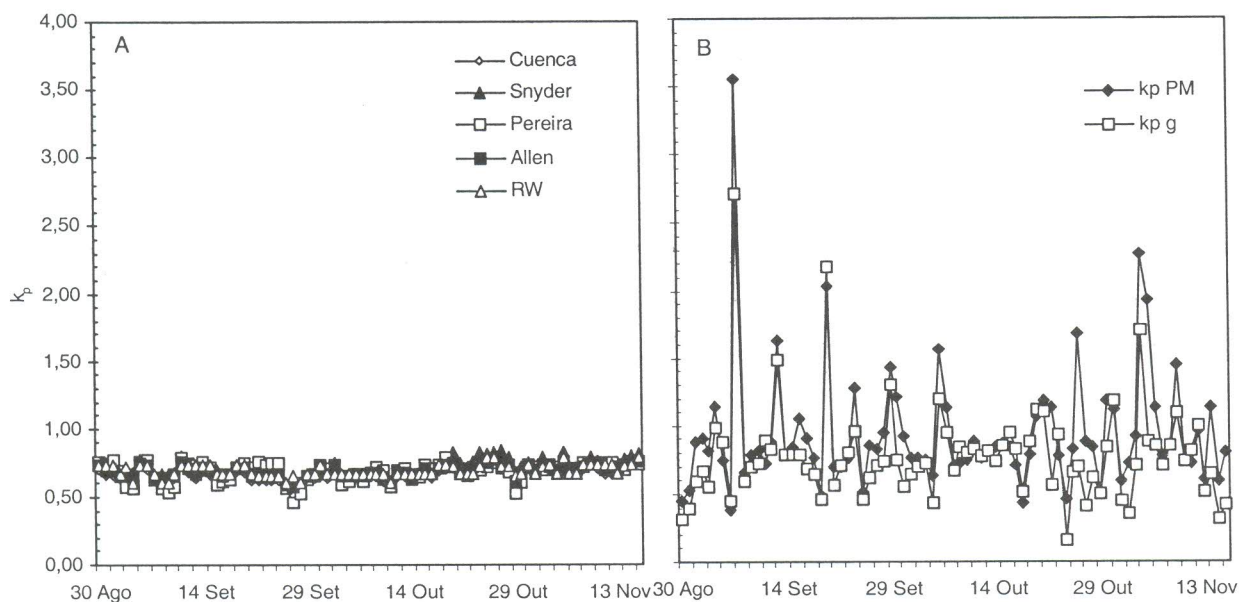


Figura 1. Valores diários do coeficiente de tanque (kp) estimados pelos diferentes métodos adotados (A) e aqueles calculados pela relação entre ETPM (kp PM) e ETg (kp g) com Epan (B), em Campinas, SP, no ano de 1994.

Os valores médios de kp estimados pelos métodos de CUENCA (1989) e SNYDER (1992) foram 0,66 e 0,71 respectivamente, enquanto para os demais métodos a média alcançou 0,69. A maior amplitude de variação foi observada para o método de PEREIRA et al. (1995), o qual apresentou um máximo de 0,78 e um mínimo de 0,46, seguido por SNYDER (1992), ALLEN et al. (1998), RAGHUWANSHI & WALLENDER (1998) e CUENCA (1989), cujos máximos foram de 0,84; 0,77; 0,78 e 0,75, e mínimos de 0,58; 0,57; 0,60 e 0,58, respectivamente.

O coeficiente de variação (CV) médio diário das estimativas de kp, pelos diferentes métodos, confirma a proximidade da magnitude dos valores calculados, pois atingiu 4,5 %, sendo o máximo CV observado de 12,5 % e o mínimo de 2,0 %.

Para as comparações entre os valores de kp calculados a partir da ETPM e da ETg com aqueles estimados pelos métodos analisados nesse trabalho, foram utilizados os dias nos quais a umidade relativa média variou de 30% a 84% e a velocidade do vento de 1 m s^{-1} a 8 m s^{-1} , os quais são os limites recomendados para a utilização da equação 5 (ALLEN et al., 1998). Além desses critérios, foram excluídas as leituras que levaram aos valores de kp

acima de 1,0. Conseqüentemente, a série de dados foi reduzida para 54 pares de valores, considerando-se ETg, e 46 pares de valores quando se utilizou ETPM. Com essa modificação, a média dos valores médios de kp, considerados como comparativos, atingiram 0,71 e 0,66, utilizando ETPM e ETg, respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os resultados das comparações envolvendo os cinco métodos avaliados na estimativa de kp com aqueles considerados de referência. Os coeficientes médios de tanque, durante todo o ciclo de medição e para todos os métodos avaliados, variaram de 0,67 a 0,71 quando se utilizou a ETPM como a variável independente. Essa faixa de valores foi ligeiramente superior àquela obtida, a partir dos métodos avaliados, utilizando-se a ETg como a variável independente (0,66 a 0,70).

Pode-se afirmar, a partir dos resultados apresentados na Tabela 1, que as relações envolvendo kp estimados e observados, numa base diária, apresentaram um baixo desempenho para todos os critérios estatísticos analisados, incluindo o coeficiente de determinação (R^2), o índice de concordância (D) e a eficiência (EF). SENTELHAS & FOLEGATTI (2003) também encontraram uma

Tabela 1. Parâmetros estatísticos da regressão linear ($y = a + bx$) entre k_p estimado por cinco diferentes métodos (variável dependente), e aqueles determinados a partir da evapotranspiração da grama medida em lisímetro (ETg) e estimada pelo método de Penman-Monteith (ETPM) (variáveis independentes) em Campinas, SP, no ano de 1994. $\overline{k_p}$ é o valor médio do coeficiente de tanque e n o número de observações.

Método	a	b	R ²	D	EF	$\overline{k_p}$	n
ETg							
CUENCA (1987)	0,71	-0,082	0,081	0,14	-0,25	0,66	54
SNYDER (1992)	0,77	-0,097	0,059	0,29	-0,48	0,70	54
PEREIRA et al. (1995)	0,71	-0,044	0,007	0,35	-0,41	0,68	54
ALLEN et al. (1998)	0,73	-0,074	0,058	0,21	-0,28	0,68	54
RAGH. & WALLEN. (1998)	0,72	-0,051	0,023	0,27	-0,26	0,68	54
ETPM							
CUENCA (1987)	0,68	-0,024	0,006	0,26	-0,22	0,67	46
SNYDER (1992)	0,75	-0,062	0,021	0,29	-0,26	0,71	46
PEREIRA et al. (1995)	0,77	-0,111	0,035	0,25	-0,57	0,70	46
ALLEN et al. (1998)	0,72	-0,039	0,015	0,23	-0,19	0,69	46
RAGH & WALLEN. (1998)	0,71	-0,023	0,005	0,27	-0,15	0,69	46

Tabela 2. Parâmetros estatísticos da regressão linear ($y = a + bx$) entre a ETo estimada pelo método do tanque classe A, com k_p estimado por cinco diferentes métodos (variável dependente), com a evapotranspiração da grama medida em lisímetro (ETg) e aquela determinada pelo método de Penman-Monteith (ETPM) (variável independente), na escala decendial, em Campinas, SP, no ano de 1994. $\overline{ET_0}$ é o valor médio da evapotranspiração de referência e n é o número de observações diárias.

Método	a	b	R ²	D	EF	$\overline{ET_0}$ (mm dia ⁻¹)	n
ETg							
CUENCA (1987)	2,03	0,48	0,73**	0,84	0,59	4,3	70
SNYDER (1992)	2,41	0,45	0,66**	0,80	0,54	4,6	70
PEREIRA et al. (1995)	1,52	0,62	0,76**	0,87	0,63	4,5	70
ALLEN et al. (1998)	2,00	0,52	0,75**	0,83	0,57	4,5	70
RAGH. & WALLEN. (1998)	1,91	0,54	0,76**	0,84	0,59	4,5	70
ETPM							
CUENCA (1987)	1,07	0,60	0,60**	0,55	-2,53	4,3	70
SNYDER (1992)	1,60	0,55	0,51**	0,60	-1,36	4,6	70
PEREIRA et al. (1995)	0,17	0,79	0,64**	0,63	-1,59	4,5	70
ALLEN et al. (1998)	0,93	0,65	0,61**	0,60	-1,62	4,5	70
RAGH & WALLEN. (1998)	0,74	0,68	0,64**	0,61	-1,57	4,5	70

baixa correlação entre os valores diariamente estimados de k_p , pelos métodos utilizados no presente trabalho, e aqueles calculados pela relação entre ET_g , medida em lisímetro de pesagem, e a evaporação do tanque Classe A.

Apesar do baixo desempenho das relações avaliadas, houve uma evolução significativa nos indicadores estatísticos quando se comparou a ET_o , calculada pela equação 1 e utilizando k_p calculado por meio dos cinco métodos, com a $ETPM$ e a ET_g , na escala decendial, cujos resultados são apresentados na Tabela 2. Observa-se que todas as relações obtidas foram significativas ao nível de 1% e apresentaram resultados de desempenho muito próximos, conforme demonstram os índices estatísticos avaliados, com ligeira superioridade para os métodos de PEREIRA et al. (1995) e RAGHUWANSHI & WALLENDER (1998).

Avaliando-se a diferença relativa entre as taxas médias de ET_o estimadas e observadas, verifica-se que aquela medida no lisímetro ($4,7 \text{ mm dia}^{-1}$) foi, em média, 4,9 % maior do que aquelas calculadas a partir dos diferentes métodos de determinação de k_p , enquanto a média de $ETPM$ ($5,5 \text{ mm dia}^{-1}$) foi 14,9 % maior do que as estimadas pelos métodos citados. Esse fato explica o melhor desempenho das comparações realizadas entre a ET_o estimada e aquela medida por meio do lisímetro (ET_g), em relação às comparações feitas envolvendo $ETPM$, para todos os métodos avaliados.

Os resultados obtidos no presente estudo contradizem aqueles relatados por IRMAK et al. (2002), os quais encontraram uma super estimativa de 16% da ET_o calculada por meio do método de SNYDER (1989) em relação a $ETPM$.

CONCEIÇÃO (2002) obteve coeficientes de determinação de 0,87 e 0,81 e índice de concordância de 0,946 e 0,948 em comparação realizada entre a $ETPM$ e a ET_o estimada pelo método do tanque Classe A, com k_p calculado pelos métodos de SNYDER (1992) e PEREIRA et al. (1995), respectivamente, na escala mensal, a qual provavelmente justifica a superioridade das relações encontradas por esse autor em relação às do presente estudo.

Outros estudos realizados sobre o desempenho de métodos climatológicos para a

estimativa de ET_o utilizaram lisímetros de pesagem para a medição direta dessa variável, como SENTELHAS & FOLEGATTI (2003), MENDONÇA et al. (2003) e FIETZ et al. (2005).

SENTELHAS & FOLEGATTI (2003) obtiveram valores de índice de concordância (D) e eficiência (EF) superiores aos do presente trabalho, os quais variaram de 0,868 a 0,937 e 0,411 a 0,756, respectivamente, em comparações envolvendo os mesmos métodos aqui avaliados, no município de Piracicaba, SP. Esse resultado concorda com FIETZ et al. (2005), os quais obtiveram um coeficiente de correlação de 0,78 e um valor de D atingindo 0,935 na comparação entre valores de ET_o , estimada pelo método do tanque Classe A, e ET_g , na escala diária, em Dourados, MS.

Já MENDONÇA et al. (2003) realizaram uma comparação entre a ET_o , estimada pelo método do tanque Classe A, e a ET_g para períodos médios variando de um a dez dias, na região Norte Fluminense, RJ. O maior coeficiente de determinação atingiu 0,66, para a escala decendial, e o menor (0,43) para a escala diária. Essa evolução nas relações obtidas por MENDONÇA et al. (2003) concorda com os resultados observados no presente trabalho e demonstra a limitação de se empregar lisímetros e o tanque Classe A para a obtenção diária de ET_o , conforme apontado por outros autores (ALLEN et al., 1998; SILVA et al., 1999).

Considerando-se os resultados obtidos no presente trabalho, os métodos de PEREIRA et al. (1995) e RAGHUWANSHI & WALLENDER (1998) foram aqueles que apresentaram as melhores estimativas de ET_o , na escala decendial, na comparação com a $ETPM$ e a ET_g . Esses resultados concordam com as observações de SENTELHAS & FOLEGATTI (2003) e discordam de CONCEIÇÃO (2002), o qual elegeu o método de SNYDER (1992) como o melhor.

Conclusões

Os métodos de estimativa de k_p avaliados não apresentaram boa relação com aqueles determinados a partir de medidas diretas de evapotranspiração da grama e pelo método de Penman-Monteith, na escala diária. A melhor relação entre a ET_o estimada pelo método do tanque classe A e a evapotranspiração da

grama (ETg), medida em lisímetro, foi obtida na escala decendial.

Os métodos de PEREIRA et al. (1995) e RAGHUWANSHI & WALLENDER (1998) foram aqueles que levaram à melhor estimativa da ETo pelo método do tanque classe A, na escala decendial.

Referências bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on Class A pan evaporation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- CUENCA, R. H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice Hall, 1989.
- 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**, Piracicaba, v. 13, n. 2, p. 250-255, 2005.
- GRISMER, M. E.; ORANG, M.; SNYDER, R.; MATYAC, R. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, New York, v. 128, n. 3, p. 180-184, 2002.
- HARMSSEN, E.W. Fifty years of crop evapotranspiration studies in Puerto Rico. **Journal of Soil and Water Conservation**, Madison, v. 58, p. 214-228, 2003.
- IRMAK, S.; HAMAN, D. Z.; JONES, J. W. Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, New York, v. 128, n. 3, p. 153-159, 2002.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B. Adaptação e avaliação de evapotranspirômetros para a obtenção do coeficiente de cultura basal (kcb) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 2, p. 92-103, 1999.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N.R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p.1733-42, 2000.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 49, n. 3, p. 215-28, 2001.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. Relações entre o coeficiente de cultura e cobertura vegetal: erros envolvidos e análises para diferentes intervalos. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 513-19, 2004.
- 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**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- PEREIRA, A. R.; VILLANOVA, N. A.; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A model for the class A pan coefficient. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-82, 1995.
- RAGHUWANSHI, N. S.; WALLENDER, W. W. Converting from pan evaporation to evapotranspiration. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, New York, v. 124, n. 5, p. 275-277, 1998.
- SENTELHAS, P. C.; FOLEGATTI, M. V. Class A pan coefficients (kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.
- SILVA, F. C.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 19-23, 1999.

SNYDER, R. L. Equation for pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 6, 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.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington D.C., v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.