

NOTA TÉCNICA

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA USANDO MINIEVAPORÍMETRO OPERANDO COM IRRIGÂMETRO MODIFICADO¹

Cristiano Tagliaferre², Rubens A. de Oliveira³, Gilberto C. Sedyama³, Paulo R. Cecon⁴,
Wilson Deniculi³, Mauro A. Martinez³ & Franklin J. V. Materan⁵

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar um minievaporímetro para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), operando com quatro níveis d'água: 30, 45, 60 e 75 mm da borda. O minievaporímetro foi usado como evaporatório de um irrigâmetro modificado, o qual foi utilizado para leitura da lâmina evaporada. Os dados de evaporação foram comparados com a ET_0 , obtida pelo método de Penman-Monteith, usado como método-padrão para determinar os coeficientes do minievaporímetro. As comparações da ET_0 , obtidas pelos métodos de Penman modificado, Radiação, Hargreaves-Samani, Tanque Classe A e o minievaporímetro, foram realizadas em períodos de um, cinco e dez dias. Os resultados mostraram que houve redução na evaporação com o aumento de profundidade do nível da água. Os métodos de Hargreaves-Samani e Radiação superestimaram a ET_0 em todos os intervalos de tempo. O minievaporímetro operando com o irrigâmetro modificado, em todos os níveis de água e intervalos de tempo, apresentou melhor estimativa da ET_0 do que os demais métodos, considerando-se um coeficiente médio para cada profundidade, podendo ser recomendado para manejo da água de irrigação.

Palavras-chave: evaporímetro, irrigâmetro, manejo de irrigação

Estimate of Reference Evapotranspiration by Means of Mini- Evaporimeter Operating Together with Irrigameter

ABSTRACT

This work had as objective to test the "mini-evaporimeter" to estimate the reference evapotranspiration (ET_0), operating at four water levels: 30, 45, 60 and 75 mm from the border. The mini-evaporimeter was used as water evaporation reservoir from a modified Irrigameter", which was used for reading the evaporated water level. The evaporation data were compared to ET_0 obtained by the method of Penman-Monteith - FAO Bulletin 56, used as standard method, and to determine the mini-evaporimeter coefficients. Comparisons of ET_0 obtained by the methods of modified Penman, Radiation, Hargreaves-Samani, Class A Pan, and the mini-evaporimeter were accomplished for one, five and ten days periods. The results showed there was a reduction in water evaporation with the increased water depth in the mini-evaporimeter. The methods of Hargreaves-Samani and Radiation overestimated ET_0 at all time intervals. The mini-evaporimeter operating with the modified irrigameter at all water levels and time intervals provided the best estimate of ET_0 , even considering only an average coefficient for each water depth. These results indicate that the developed mini-evaporimeter can be recommended for irrigation water management.

Keyword: mini-evaporimeter, irrigameter, irrigation management.

¹ Parte da Tese de Doutorado que será apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa (UFV)

² Doutorando do DEA/UFV. Viçosa, CEP 36570-000. Tel. (0xx31) 3892-3959. E-mail: tagliaferre@yahoo.com.br

³ DEA/UFV. Tel. (0xx31) 3899-2729. E-mails: rubens@ufv.br, deniculi@ufv.br; g.sedyama@ufv.br; mmauro@ufv.br.

⁴ DPI/UFV. Tel. (0xx31) 3899-1781. E-mail: cecon@dpi.ufv.br.

⁵ Doutorando do DEA/UFV. Franklin@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

A determinação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância no contexto agrícola e ambiental, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e na atmosfera. Os métodos baseados em medidas no solo fundamentam-se na determinação do seu teor de água, enquanto os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática, da temperatura da folha, dentre outros; e os métodos baseados no clima consideram desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003).

Quando se usa o tanque para medição da evaporação da água, para fins de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), deve-se considerar suas condições de instalação e os fatores intrínsecos ao próprio tanque. VALERO & MAÑAS (1993) citam que o albedo e a rugosidade da superfície da água-livre, a cor do tanque, sua forma e o nível da superfície de água-livre no seu interior constituem fortes fontes de erros, podendo atingir 15 % no tanque Classe A, quando a superfície da água fica 10 cm abaixo do nível padrão.

SLEIGHT (1917), trabalhando com tanques de várias dimensões e enterrados, com borda a 0,08 m acima do nível do solo e profundidade da água igual a 0,83 m, mostrou que a taxa de evaporação diminui, exponencialmente, com o aumento da área do tanque. No tanque de 0,305 m de diâmetro, a água evaporou cerca de 55% mais do que no tanque de 3,66 m. O autor verificou também que ao se manter a área fixa, com diâmetro igual a 0,61 m e a altura do nível d'água variando entre 0,08 e 1,75 m, não houve diferença significativa na evaporação.

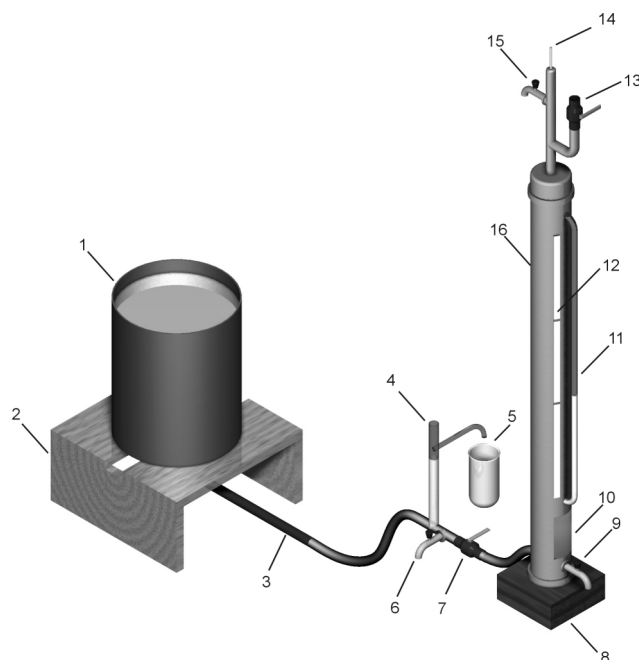
O tanque Classe A é um dos métodos mais utilizados para estimativa da ET_0 no manejo da irrigação. Este método baseia-se na medição da evaporação da água em um tanque padronizado, cujo valor é convertido em evapotranspiração de referência por meio de coeficientes específicos dependentes do clima, do tipo de tanque e da bordadura circundante (DOORENBOS & PRUITT, 1977). Segundo SEDIYAMA (1990), o maior uso deste equipamento é devido à sua praticidade e aos baixos custos de instalação e

manutenção. Devido sua simplicidade, o tanque Classe A tem sido objeto de inúmeras adaptações, principalmente no que diz respeito ao sistema de medições, visando torná-lo mais preciso, mais barato e prático. Algumas dessas modificações podem ser encontradas em ASSIS (1978), AMORIM NETO (1981) e VILLA NOVA et al. (2005).

Foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), recentemente, um aparelho denominado irrigâmetro, a ser utilizado no manejo da água de irrigação. A UFV é a detentora da patente do aparelho e de sua marca. O irrigâmetro combina o método de estimativa da evapotranspiração com a disponibilidade de água no solo para a cultura, sendo um aparelho evapopluiométrico que fornece diretamente, de maneira simplificada, com boa estimativa e custo reduzido, o momento de irrigar e o tempo de funcionamento ou a velocidade de deslocamento do sistema de irrigação, permitindo efetuar o cômputo da efetividade da chuva no manejo da irrigação. Estando o Irrigâmetro ajustado para as condições de solo, cultura e equipamento de irrigação, o manejo da água é conduzido sem a necessidade de cálculos. O aparelho pode fornecer a evaporação, a evapotranspiração de referência ou a evapotranspiração da cultura, em seus diversos estádios de desenvolvimento.

Em razão do grande número de métodos existentes para estimativa da ET_0 , a escolha do método mais adequado depende da disponibilidade de dados climatológicos, do nível de precisão exigido, da finalidade, se manejo da irrigação ou pesquisa, bem como do custo de aquisição de equipamentos. Estes fatores têm levado pesquisadores a desenvolver métodos alternativos, que apresentem precisão e consistência científica, para determinação da evapotranspiração para fins práticos de manejo da água de irrigação, objetivando baixo custo e fácil manuseio. Neste contexto, objetivou-se avaliar um minievaporímetro operando com irrigâmetro, com quatro níveis de água, comparativamente ao método de Penman-Monteith - FAO 56, para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), bem como confrontar seu desempenho com aqueles dos métodos Penman modificado - FAO 24, Radiação - FAO 24, tanque Classe A e Hargreaves-Samani (1985), em intervalos de um, cinco e dez dias.

NOTA TÉCNICA



1. Evaporatório; 2. Estrado; 3. Tubo interconector; 4. Tubo pluvial; 5. Coletor; 6. Válvula pluvial; 7. Válvula interconectora; 8. Suporte; 9. Válvula de drenagem; 10. Visor; 11. Piezômetro; 12. Escala de leitura; 13. Válvula de abastecimento; 14. Tubo de borbulhamento; 15. Válvula de escapamento; 16. Tubo de alimentação.

Figura 1. Minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado para estimativa da evapotranspiração de referência.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em Viçosa, MG (20° 45' de latitude Sul e 42° 51' de longitude Oeste), numa altitude de 651 m. Os elementos climáticos diários foram obtidos na estação climatológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada no campus da UFV, próximo à área experimental.

A estimativa da ET_0 foi realizada, utilizando-se o minievaporímetro proposto e os métodos de Penman-Monteith-FAO 56, Penman modificado-FAO 24, Radiação-FAO 24, Tanque Classe A e Hargreaves-Samani. O método de Penman-Monteith foi adotado como padrão, para avaliar o desempenho dos demais métodos, conforme proposto por ALLEN et al. (1998).

Os valores de ET_0 estimados pelos métodos de Penman-Monteith, Penman modificado, Radiação e Hargreaves-Samani foram obtidos, utilizando-se o aplicativo computacional REF-ET (ALLEN, 2000), que utiliza dados climáticos como a temperatura

máxima e mínima, a umidade relativa, a velocidade do vento e a insolação ou saldo de radiação.

A Figura 1 mostra o minievaporímetro proposto para estimativa da a evapotranspiração de referência, atuando como o evaporatório de um irrigâmetro modificado.

O minievaporímetro proposto é de PVC, com diâmetro externo de 250 mm e interno de 244 mm e altura de 320 mm, com fundo localizado a 255 mm de sua borda. O minievaporímetro foi assentado sobre um estrado de madeira com 150 mm de altura.

O fundo do minievaporímetro foi conectado ao irrigâmetro modificado, por meio de um tubo de polietileno. O irrigâmetro modificado foi construído com tubo de alimentação de diâmetro interno de 72 mm e altura de 1 m e com escala graduada em milímetros. A relação entre as áreas do minievaporímetro e do tubo de leitura-alimentação do irrigâmetro possibilitou uma sensibilidade, na leitura da lâmina evaporada, igual a 0,086 mm.

Na extremidade inferior do tubo de leitura-alimentação do irrigâmetro modificado, há uma válvula de drenagem, usada para retirar a água do tubo de borbulhamento e o excesso do tubo de leitura-alimentação, a fim de zerar o aparelho. Na parte superior, existem as válvulas de escapamento de ar e de abastecimento.

Durante o reabastecimento, a válvula interconectora permanece fechada e as de escapamento e de abastecimento ficam abertas. Após o reabastecimento do tubo de leitura-alimentação, fecham-se as válvulas de escapamento e de abastecimento e abre-se a válvula de drenagem até zerar o aparelho. Em seguida, seu funcionamento normal é reestabelecido por meio da abertura da válvula interconectora.

Com a ocorrência de chuva, o nível da água no evaporatório eleva-se, e parte desta é drenada para o coletor por meio do tubo pluvial. Neste caso, abre-se a válvula de drenagem, a fim de restabelecer o nível original no evaporatório, constatado pela iminência do desprendimento de bolha de ar na extremidade inferior do tubo de borbulhamento. Assim, é feita nova leitura, a qual servirá de referência para as medições posteriores de evaporação.

A evaporação no minievaporímetro ($E_{V_{ME}}$) foi obtida para profundidades de superfície da água iguais a 30, 45, 60 e 75 mm da borda, mantidas em nível constante pelo irrigâmetro modificado, com três repetições. O coeficiente médio do minievaporímetro ($K_{t_{ME}}$) foi obtido para cada profundidade, com base no método de Penman-Monteith para determinação da evapotranspiração de referência (ET_0), de acordo com a Equação 1. A ET_0 estimada pelo minievaporímetro foi obtida, multiplicando-se o valor diário de evaporação pelo coeficiente médio do minievaporímetro, para cada profundidade. Os valores de ET_0 do minievaporímetro foram, posteriormente, correlacionados com os estimados pelo método padrão, nas escalas diária, quinidial e decendial.

$$K_{t_{ME}} = \frac{ET_0}{E_{V_{ME}}} \quad (1)$$

Os valores dos coeficientes do minievaporímetro foram organizados em intervalos de umidade relativa média e velocidade média do vento, conforme proposto por DOORENBOS & PRUITT (1977), com bordadura fixa igual a cinco metros.

O coeficiente do tanque Classe A foi obtido, diariamente, por meio da aplicação da equação proposta por ALLEN et al. (1998) para tanques circundados por grama. Para os períodos de 5 e 10 dias, os valores de ET_0 e dos coeficientes do minievaporímetro e do tanque Classe A foram calculados, usando-se as médias dos elementos do clima.

A medição da lâmina evaporada no minievaporímetro foi feita, diariamente, às nove horas da manhã, durante os meses de junho a setembro de 2005. Neste período, também foram obtidos os valores de ET_0 por meio dos demais métodos de estimativa estudados. Na análise dos resultados, foram excluídos os dias com ocorrência de precipitação pluvial.

A análise do desempenho do minievaporímetro para estimativa da ET_0 foi feita, comparando-se os resultados de evapotranspiração, obtidos para cada profundidade com a equação de Penman-Monteith. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por ALLEN et al. (1986) e fundamenta-se na estimativa do erro-padrão (EEP).

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita, baseando-se nos valores da estimativa do erro-padrão (EEP), do coeficiente de determinação (r^2) e dos parâmetros da regressão, β_0 e β_1 , das respectivas regressões lineares simples. Considerou-se, como melhor alternativa, aquela que apresentou maior r^2 , menor EEP, β_0 igual a zero e β_1 próximo da unidade.

A precisão foi dada pelo coeficiente de determinação, a qual indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total. A aproximação dos valores de ET_0 estimados por determinado método, em relação aos valores obtidos pelo método-padrão, foi obtida por um índice, designado de concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam desde zero, em que não existe nenhuma concordância a 1 para a concordância perfeita.

NOTA TÉCNICA

O índice de concordância é calculado, empregando-se a seguinte expressão:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left[(|P_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|) \right]^2} \quad (2)$$

em que:

d = índice de concordância ou ajuste;

P_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método considerado, mm d^{-1} ;

O_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método-padrão, mm d^{-1} ;

\bar{O} = média dos valores de ET_0 obtidos pelo método-padrão, mm d^{-1} ; e

n = número de observações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3, encontram-se as variações médias decendiais dos valores dos elementos meteorológicos, usados na estimativa da evapotranspiração de referência, durante o período estudado.

Durante a condução do experimento, a umidade relativa média diária foi superior a 70% e a velocidade média do vento permaneceu inferior a 2 m s^{-1} , como se pode observar nas Figuras 2 e 3, sendo classificadas como alta e leve, respectivamente, de acordo com DOORENBOS & PRUITT (1977). Essas condições climáticas permitiram determinar, apenas, um coeficiente para cada profundidade

da superfície da água no minievaporímetro, em cada intervalo de tempo analisado, como se observa na Tabela 1.

De acordo com os valores do coeficiente do minievaporímetro apresentados na Tabela 1, houve ligeira tendência à redução na evaporação com o aumento de profundidade do nível da água no minievaporímetro, confrontando com os resultados obtidos por SLEIGHT (1917), que trabalhou com tanques de várias dimensões, enterrados e profundidades de água variáveis. No caso do minievaporímetro, o coeficiente apresentou uma variação de 12 %, provavelmente ocasionada pela pequena variação entre as profundidades, com valor máximo igual a 45 mm.

Quando o nível da água no minievaporímetro encontra-se mais próximo à superfície, ocorre maior interceptação da radiação solar, variável que tem maior influência no processo de evapotranspiração (CHANG, 1971), ao mesmo tempo em que favorece a ação do vento, atuando na remoção do ar saturado sobre a superfície evaporante, acarretando maiores valores de evaporação.

Na Tabela 2, encontram-se os parâmetros da regressão (β_0 e β_1), o coeficiente de determinação (r^2), a estimativa do erro-padrão (EEP) e o coeficiente de ajustamento (d), obtidos entre os valores diários de ET_0 , estimada pelo minievaporímetro e pelos demais métodos estudados, com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO

56.

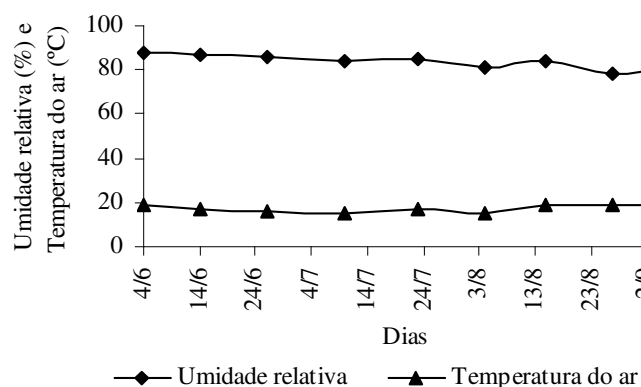


Figura 2. Variação decendial da umidade relativa do ar e da temperatura do ar, durante o período experimental.

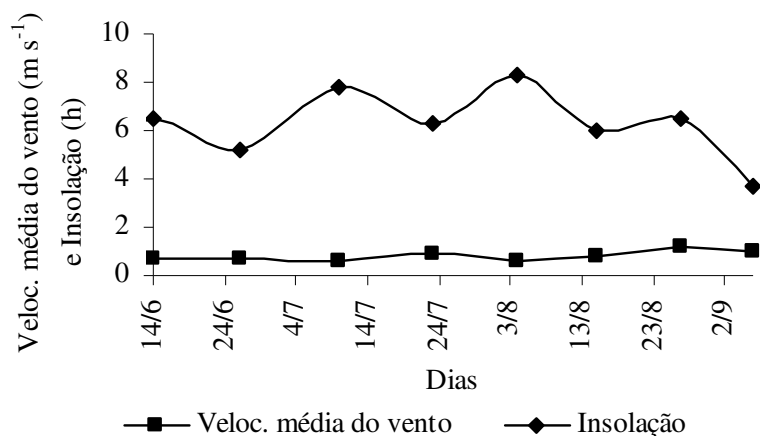


Figura 3. Variação decenal da velocidade média do vento e da insolação, durante o período experimental.

Tabela 1. Valores do coeficiente do minievaporímetro para as quatro profundidades de água, em cada intervalo de tempo analisado

Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Intervalo analisado	Profundidades de água (mm)			
			30	45	60	75
Alta >70	< 2,0 (leve)	Diário	0,50	0,53	0,55	0,56
		Quinquidial	0,49	0,52	0,54	0,55
		Decenal	0,49	0,51	0,54	0,55

Tabela 2. Parâmetros da regressão (β_0 e β_1), coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro padrão (EEP) e o coeficiente de ajustamento (d), obtidos entre os valores diários de ET_0 estimada pelo minievaporímetro e pelos demais métodos estudados, com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56

Método	$\beta_0 = 0$	$\beta_1 = 1$	r^2	EEP	d	ET_0 (mm d ⁻¹)
Penman-Monteith-FAO 56	-	-	-	-	-	2,23
Penman modificado	-0,682*	1,251*	0,95	0,23	0,96	2,10
Hargreaves-Samani	0,977*	0,913 ^{ns}	0,72	0,84	0,63	3,01
Radiação	-	1,209*	0,99	0,56	0,82	2,68
T. C. A	-	0,945*	0,97	0,40	0,86	2,10
Minievaporímetro P = 30 mm	-	1,023 ^{ns}	0,98	0,34	0,90	2,28
Minievaporímetro P = 45 mm	-	1,023 ^{ns}	0,98	0,37	0,88	2,28
Minievaporímetro P = 60 mm	-	1,025 ^{ns}	0,98	0,35	0,90	2,28
Minievaporímetro P = 75 mm	-	1,023 ^{ns}	0,98	0,34	0,90	2,28

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

NOTA TÉCNICA

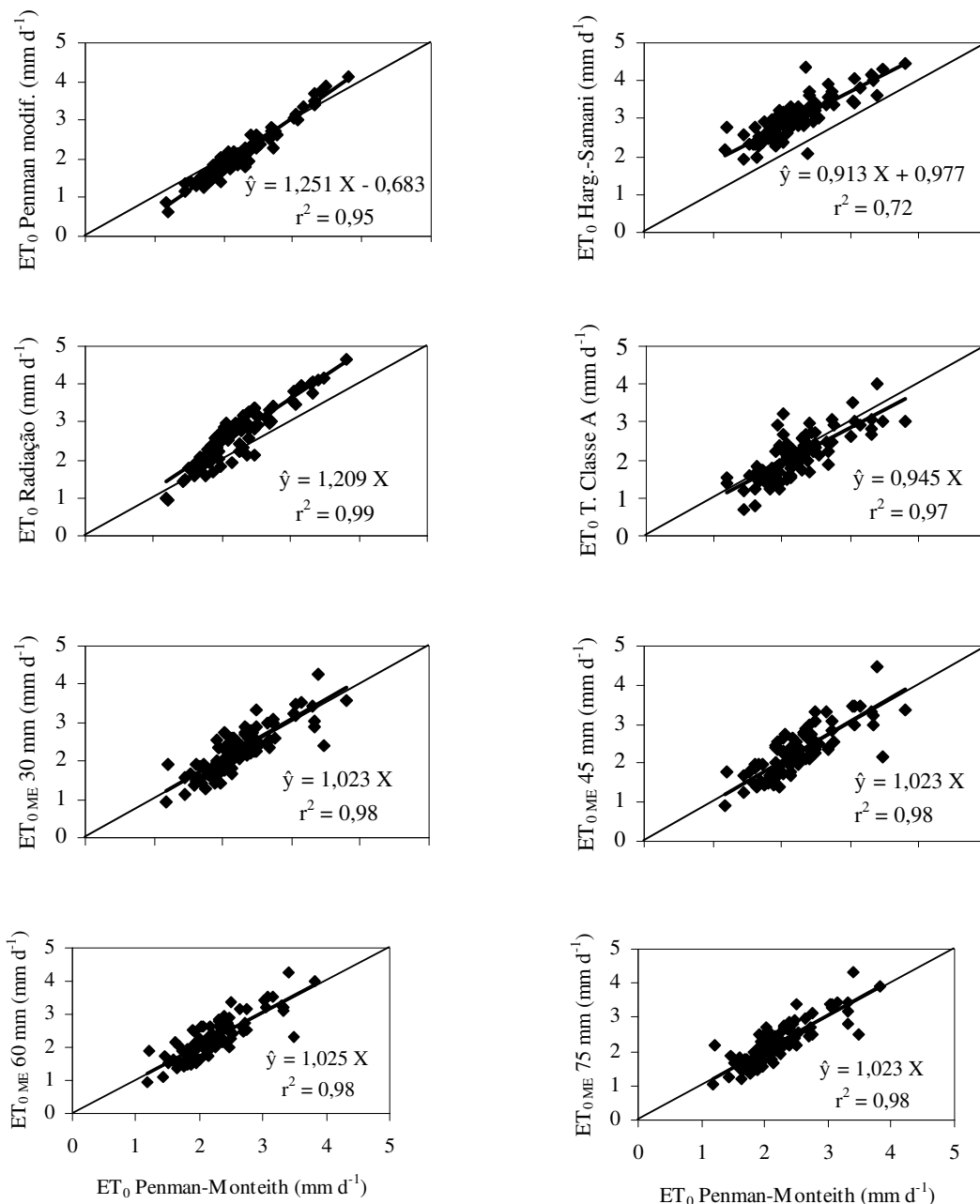


Figura 4. Equações e coeficientes de determinação obtidos entre os valores de ET_0 estimada pelos métodos de Penman modificado, Hargreaves-Samani, Radiação, Tanque Classe A e pelo Minievaporímetro (ET_{0ME}), nas quatro profundidades estudadas, com os valores de ET_0 determinados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, para períodos de um dia.

O método de Penman modificado subestimou a ET_0 para valores menores que $3\ mm\ d^{-1}$ e superestimou para valores maiores. Os métodos de Hargreaves-Samani e Radiação superestimaram a ET_0 , ocorrendo comportamento contrário com o uso do tanque Classe A.

O minievaporímetro teve, nas quatro profundidades do nível de água avaliadas, melhor desempenho que os demais métodos de estimativa da ET_0 considerados neste estudo, apresentando menor dispersão dos dados diários em torno da linha de valores 1:1, com base no método de Penman-Monteith-FAO 56.

Adotando a metodologia estatística aplicada na escala diária, procedeu-se a comparação dos métodos para as escalas quinquidial e decendial, conforme apresentados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Analisando os dados das Tabelas 3 e 4, observa-se que o agrupamento da ET_0 em períodos de cinco e dez dias, respectivamente, resultou em aumento dos coeficientes de determinação e de ajuste, com valores mais próximos da unidade e, em redução da estimativa do erro-padrão, com valores mais próximos a zero, para a maioria dos métodos estudados, comparativamente aos valores obtidos em períodos diários. Isto era de se esperar, pois, o agrupamento dos valores de ET_0 em maior período de tempo melhora o desempenho dos métodos, devido à suavização das flutuações pontuais dos dados.

Para as escalas quinquidial e decendial, o minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado apresentou valores de declividade da reta praticamente iguais a 1, valores máximos da estimativa do erro-padrão iguais a 0,17 e 0,15 $mm\ d^{-1}$ e valores mínimos do coeficiente de ajustamento iguais a 0,96 e 0,97, respectivamente, com coeficiente de determinação igual a 0,99. Esses resultados indicam que o minievaporímetro teve melhor desempenho para estimativa da ET_0 que os demais métodos estudados.

As figuras 5 e 6 apresentam as equações e os respectivos coeficientes de determinação, obtidos entre os valores de ET_0 , estimados pelos métodos em estudo e pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, para períodos de cinco e dez dias, respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros da regressão (β_0 e β_1), coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro-padrão (EEP) e o coeficiente de ajustamento (d), obtidos entre os valores quinquidiais de ET_0 estimada pelo minievaporímetro e pelos demais métodos estudados, com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56

Método	$\beta_0 = 0$	$\beta_1 = 1$	r^2	EEP	d	ET_0 ($mm\ d^{-1}$)
Penman-Monteith-FAO 56						2,23
Penman modificado	-0,691*	1,259*	0,96	0,18	0,96	2,12
Hargreaves-Samani	0,542*	1,119 ^{ns}	0,90	0,85	0,30	3,04
Radiação	-	1,199*	0,99	0,53	0,75	2,69
T. C. A	-	0,940*	0,99	0,23	0,91	2,11
Minievaporímetro P = 30 mm	-	0,996 ^{ns}	0,99	0,15	0,96	2,23
Minievaporímetro P = 45 mm	-	0,998 ^{ns}	0,99	0,17	0,96	2,23
Minievaporímetro P = 60 mm	-	1,003 ^{ns}	0,99	0,16	0,96	2,24
Minievaporímetro P = 75 mm	-	1,000 ^{ns}	0,99	0,15	0,97	2,23

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Tabela 4. Parâmetros da regressão (β_0 e β_1), coeficiente de determinação (r^2), estimativa do erro-padrão (EEP) e o coeficiente de ajustamento (d), obtidos entre os valores decendiais de ET_0 estimada pelo minievaporímetro e pelos demais métodos estudados, com os valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56

Método	$\beta_0 = 0$	$\beta_1 = 1$	r^2	EEP	d	ET_0 ($mm\ d^{-1}$)
Penman-Monteith-FAO 56						2,22
Penman modificado	-0,667*	1,248*	0,98	0,17	0,96	2,11
Hargreaves-Samani	-	1,357*	0,99	0,87	0,58	3,03
Radiação	-	1,201*	0,99	0,53	0,72	2,68
T. C. A	-	0,944*	0,99	0,21	0,92	2,11
Minievaporímetro P = 30 mm	-	0,997 ^{ns}	0,99	0,14	0,97	2,23
Minievaporímetro P = 45 mm	-	0,999 ^{ns}	0,99	0,15	0,97	2,23
Minievaporímetro P = 60 mm	-	1,004 ^{ns}	0,99	0,15	0,97	2,23
Minievaporímetro P = 75 mm	-	1,002 ^{ns}	0,99	0,14	0,97	2,23

*significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

NOTA TÉCNICA

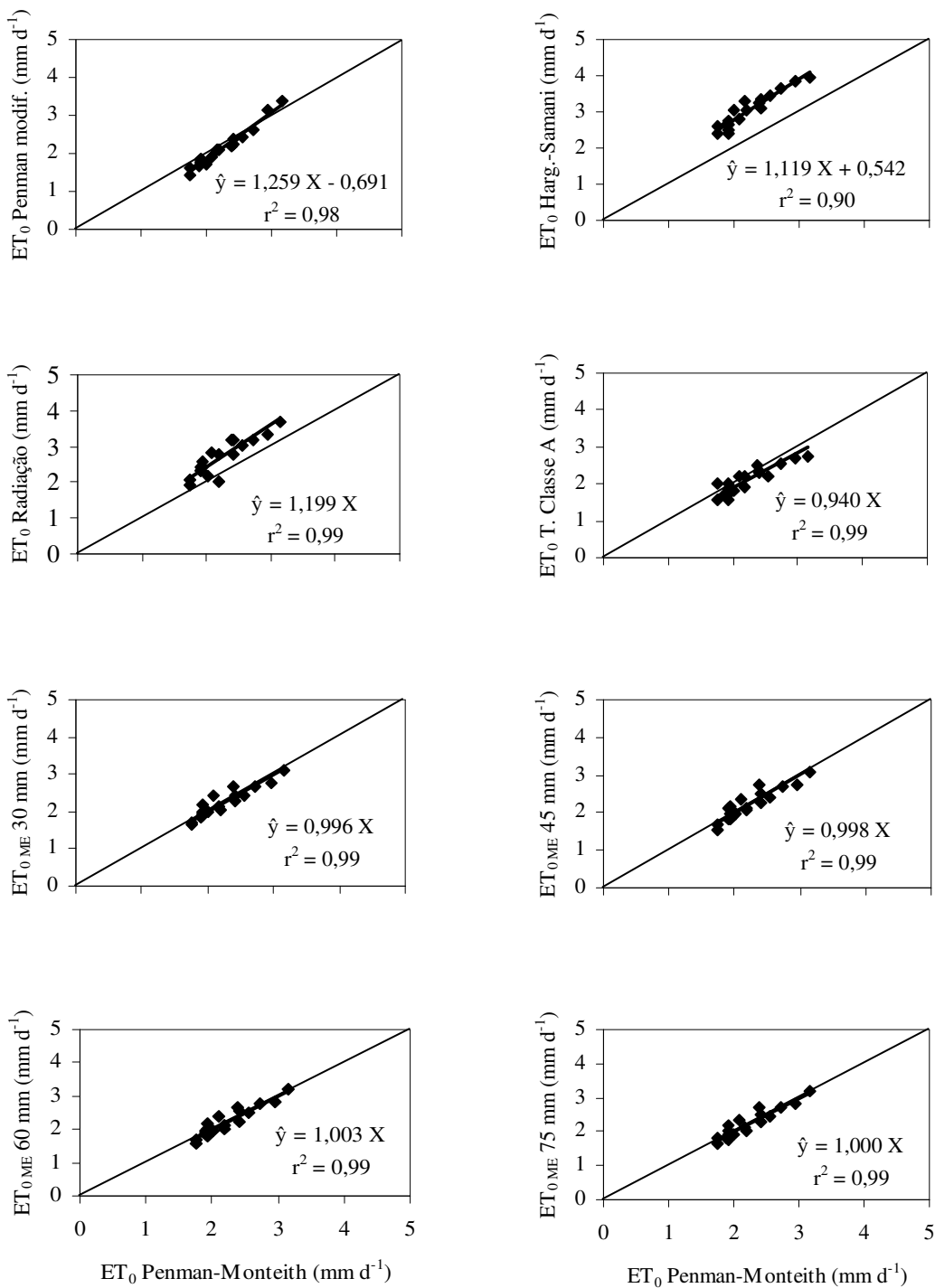


Figura 5. Equações e coeficientes de determinação obtidos entre os valores de ET_0 estimada pelos métodos de Penman modificado, Hargreaves-Samani, Radiação, Tanque Classe A e pelo Minievaporímetro (ET_{0ME}), nas quatro profundidades estudadas, com os valores de ET_0 determinados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, para períodos de cinco dias.

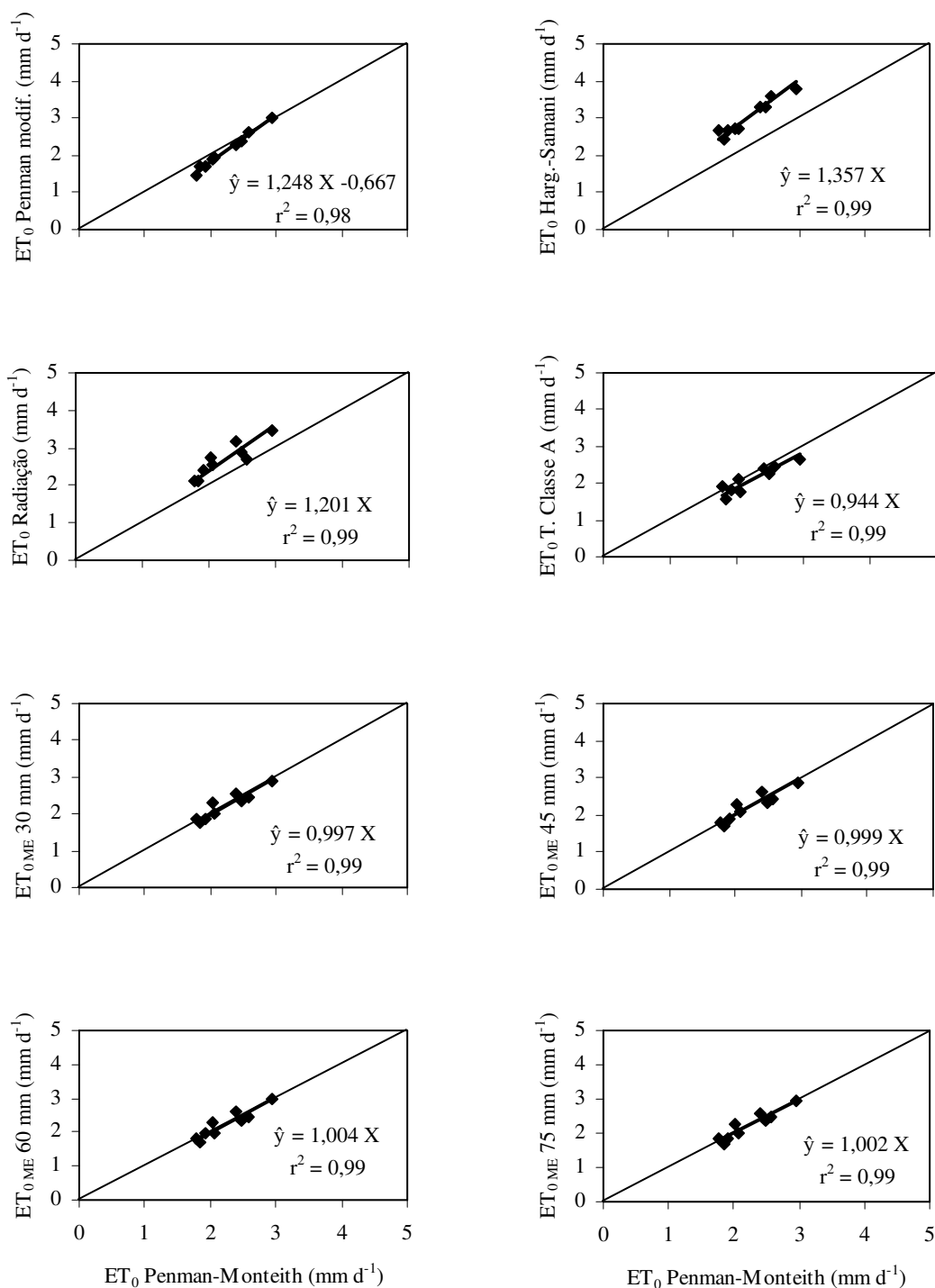


Figura 6. Equações e coeficientes de determinação obtidos entre os valores de ET_0 estimada pelos métodos de Penman modificado, Hargreaves-Samani, Radiação, Tanque Classe A e pelo Minievaporímetro (ET_{0ME}), nas quatro profundidades estudadas, com os valores de ET_0 determinados pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, para períodos de dez dias.

NOTA TÉCNICA

A análise das figuras 5 e 6 mostra que o agrupamento dos valores de ET_0 em períodos maiores tende a melhorar a estimativa, observando-se o mesmo comportamento dos métodos de Hargreaves-Samani e Radiação em superestimar e do tanque Classe A em subestimar a ET_0 , comparativamente ao método de Penman-Monteith-FAO 56.

O tanque Classe A apresentou melhoria expressiva na estimativa da ET_0 , para períodos de dez dias, comparativamente a períodos diários, com menor estimativa do erro-padrão e maior coeficiente de ajustamento, justificando seu uso com maior precisão na determinação do consumo de água por uma cultura, em período de tempo superior a sete dias, conforme recomendação de JENSEN et al. (1990) e DOORENBOS & PRUITT (1977).

Tanto na escala quinidial quanto decendial, a média dos valores de evapotranspiração de referência obtida para cada profundidade do nível d'água no minievaporímetro foi, praticamente, igual à média da ET_0 obtida pelo método-padrão, com excelente desempenho em ambos os períodos. É importante ressaltar que o excelente desempenho do minievaporímetro está condicionado ao uso do irrigâmetro modificado, o qual permitiu obter medidas de evaporação com sensibilidade de 0,086 mm.

CONCLUSÕES

- O minievaporímetro operando com irrigâmetro modificado apresentou excelente desempenho para estimar a ET_0 em escala diária, quinidial e decendial, para todas as profundidades de nível de água em estudo, sendo seu uso recomendado para fins de manejo da água de irrigação.

- O aumento da profundidade do nível de água no minievaporímetro provocou uma variação de 12% no coeficiente.

- O método de Penman modificado subestimou a ET_0 obtida pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 para valores menores que 3 mm d^{-1} , apresentando

comportamento contrário para valores maiores.

- Os métodos de Hargreaves-Samani e Radiação superestimaram a ET_0 , obtida pelo método de Penman-Monteith-FAO 56, em todos os intervalos de tempo analisados.

- O tanque Classe A subestimou ligeiramente a ET_0 , obtida pelo método-padrão, apresentando melhor estimativa em intervalos de cinco e dez dias.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.112, n.4, p.348-386, 1986.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p. (Irrigation and drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G. REF-ET: **Reference evapotranspiration calculator, Version 2.1**. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

AMORIM NETO, M. da S. **Análise preliminar do desempenho de um sistema de medidas de evaporação para o tanque Classe A**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1981. 75p. (Dissertação de Mestrado).

ASSIS, F.N. de. **O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre evapotranspiração medida e estimada**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1978. 69p. (Dissertação de Mestrado).

CHANG, J. **Climate and agriculture**. Chicago: Aldine Publishing, 1971. 296p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 144p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 24).

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332p.

OLIVEIRA, M.A.A. de; CARVALHO, D.F. de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.132-135, 1998.

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.263-268, 2003.

SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1996. 176p.

SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Journal of Agricultural research**, Washington, v.10, n.5, p.209-262, 1917.

SOUZA, F. de; YODER, R. ET estimation in the Northeast of Brazil: Hargreaves or Penman-Monteith equation. **Transactions of ASAE**, ST. Joseph: ASAE, 1994. 6p. (ASAE. Paper, 942545).

VALERO, J.A. de J.; MAÑAS, F.J.M. de S.O. **El calculo y la estimacion de la evapotranspiracion**. In: MAÑAS, F.J. M. de S.O.; VALERO, J.A. de J. *Agronomia del riego*. Madrid: Mundi-Prensa, 1993. p.373-446.

VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.B. Evapopluviômetro: novo sistema de medida da evaporação em tanque Classe A. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 76-81, 2005.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.C5. p.8995-9005, 1985.