

# ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA USANDO TERMÔMETRO DE BAIXO CUSTO

M. A. F. CONCEIÇÃO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Jales, SP, e-mail: marcoafc@cnpuv.embrapa.br

Apresentado no  
IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010  
XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010  
25 a 29 de julho de 2010 - Vitória - ES, Brasil

**RESUMO:** Vários métodos podem ser empregados para estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), sendo que o de Hargreaves é um dos mais usados quando se dispõe apenas de dados da temperatura do ar. Para pequenos produtores, o uso desse método pode ser facilitado empregando-se termômetros de máxima e mínima de base plástica, do tipo Capela, devido ao seu baixo custo de aquisição. O presente trabalho compara valores de ET<sub>o</sub> estimados pelo método de Hargreaves (ET<sub>oH</sub>), empregando-se dados de temperatura obtidos em uma estação meteorológica automática (ET<sub>oHa</sub>) e utilizando-se um termômetro de máxima e mínima de base plástica (ET<sub>oHp</sub>), do tipo Capela. Os dados foram obtidos entre janeiro e dezembro de 2008 na Estação Experimental de Viticultura Tropical (EEVT) da Embrapa Uva e Vinho, localizada no município de Jales, SP (20° 15'S, 50° 30'W, 483m). Os valores de ET<sub>oHa</sub> variaram de 1,7mm.dia<sup>-1</sup> a 7,8mm.dia<sup>-1</sup>, com média igual a 4,7mm.dia<sup>-1</sup>. Já os valores de ET<sub>oHp</sub> variaram entre 1,6mm.dia<sup>-1</sup> a 7,3mm.dia<sup>-1</sup>, com média igual a 4,6mm.dia<sup>-1</sup>. Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e desempenho (c) foram iguais a 0,88 e 0,91, respectivamente, classificando como ótimo, o desempenho de ET<sub>oHp</sub> em relação a ET<sub>oHa</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** irrigação, Hargreaves, temperatura.

## ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION USING A LOW COST THERMOMETER

**ABSTRACT:** Several methods can be used to estimate the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) and the Hargreaves is one of the most useful when only air temperature data are available. For small producers, the use of this method can be facilitated employing a maximum and minimum plastic base thermometer, because of its low cost. This paper compares ET<sub>o</sub> values estimated by Hargreaves method (ET<sub>oH</sub>), employing temperature data obtained from an automatic weather station (ET<sub>oHa</sub>) and using a maximum and minimum plastic base thermometer (ET<sub>oHp</sub>). Data were collected between January and December 2008 at the Experimental Station of Tropical Viticulture (EEVT) of Embrapa Uva e Vinho, located in Jales, SP (20 ° 15'S 50 ° 30'W, 483m). ET<sub>oHa</sub> values ranged from 1.7 mm.day<sup>-1</sup> to 7.8 mm.day<sup>-1</sup>, with an average of 4.7 mm.day<sup>-1</sup>. The ET<sub>oHp</sub> values ranged from 1.6 mm.day<sup>-1</sup> to 7.3 mm.day<sup>-1</sup>, with an average of 4.6 mm.day<sup>-1</sup>. The coefficients of determination (R<sup>2</sup>) and performance (c) were equal to 0.88 and 0.91, respectively, classifying as excellent, the performance of ET<sub>oHp</sub> in relation to ET<sub>oHa</sub>.

**KEYWORDS:** irrigation, Hargreaves, temperature.

## INTRODUÇÃO

Em áreas irrigadas, o consumo hídrico da cultura é normalmente estimado com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), sendo desejável que se tenha um método que a estime com boa precisão, a partir de dados meteorológicos fáceis de serem obtidos (VILLA NOVA & PEREIRA, 2006). Embora o método de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>PM) seja considerado, atualmente, como padrão para a estimativa de ET<sub>o</sub> (ORTEGA-FARIAS et al., 2009), o seu uso é limitado, uma vez que são necessárias variáveis meteorológicas nem sempre disponíveis. Por essa razão, outros métodos que empregam um menor número de variáveis são, muitas vezes, utilizados na estimativa de ET<sub>o</sub>. Entre esses, destaca-se o de Hargreaves (HARGREAVES & ALLEN, 2003). Nesse método, a ET<sub>o</sub> é calculada a partir da diferença entre as temperaturas máxima (T<sub>max</sub>) e mínima (T<sub>min</sub>) do ar.

Nas condições da região noroeste de São Paulo, o método de Hargreaves apresentou desempenho superior ao de outros, quando comparados ao método padrão de Penman-Monteith (CONCEIÇÃO, 2003; CONCEIÇÃO, 2004). Para pequenos produtores de uva, o uso desse método pode ser facilitado empregando-se termômetros de máxima e mínima de base plástica, do tipo Capela, devido ao seu baixo custo de aquisição. Esses termômetros, entretanto, apresentam baixa precisão, o que pode provocar erros na estimativa de ET<sub>o</sub>.

O presente trabalho compara valores de ET<sub>o</sub> estimados pelo método de Hargreaves empregando-se dados de temperatura obtidos em uma estação meteorológica automática e utilizando-se um termômetro de máxima e mínima de base plástica, do tipo Capela.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram obtidos entre janeiro e dezembro de 2008 na Estação Experimental de Viticultura Tropical (EEVT) da Embrapa Uva e Vinho, localizada no município de Jales, SP (20° 15'S, 50° 30'W, 483m). Para a coleta das temperaturas foi empregado sensor modelo Rotronic Hygroclip 525 conectado a um sistema automático de aquisição de dados modelo CR-510, da Campbell<sup>®</sup>, com registros efetuados a cada 15 minutos e totalizados diariamente; e um termômetro de máxima e mínima com base plástica (Figura 1).

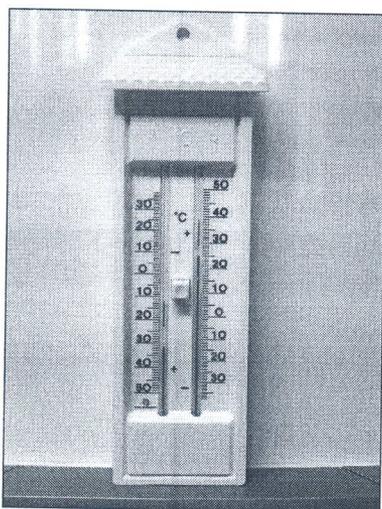


FIGURA 1. Termômetro de máxima e mínima de base plástica.

Para calcular a ET<sub>o</sub> pelo método de Hargreaves foi empregada a seguinte expressão (HARGREAVES & ALLEN, 2003):

$$ET_oH=0,0023*0,408*Ra*(t_{max}-T_{min})^{0,5}*(T_{med}+17,8) \quad (1)$$

em que,

EToH - evapotranspiração de referência calculada método de Hargreaves ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

Ra - radiação incidente no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ );

Tmax – temperatura máxima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

Tmin – temperatura mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );

Tmed – temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os valores de EToH obtidos utilizando-se os dados da estação automática e do termômetro de máxima e mínima foram denominados EToHa e EToHp, respectivamente. Para EToHp, os valores de Tmed foram obtidos a partir das médias entre Tmax e Tmin.

As comparações entre os valores da estação automática e do termômetro de base plástica foram realizadas empregando-se regressões lineares, forçando-se a reta a passar pela origem. O coeficiente de desempenho (c), proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997), também foi utilizado para avaliar o desempenho dos dados. Esse coeficiente corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo coeficiente de exatidão (d) de WILLMOTT et al. (1985). O desempenho foi classificado como ótimo para valores de c maiores que 0,85; como muito bom para valores entre 0,76 e 0,85; como bom para valores entre 0,66 e 0,75; como regular para valores entre 0,51 e 0,65; como ruim para valores entre 0,41 e 0,50; e como péssimo para valores inferiores a 0,40.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Tmax do termômetro de base plástica (Tmaxp) subestimaram em 2% os valores da estação automática (Tmaxa), sendo que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi igual a 0,91, quando a reta passou pela origem (Figura 2). Por outro lado, os valores de Tmin com o termômetro plástico (Tminp) superestimaram em 5% os valores da estação automática (Tmina), sendo que, nesse caso, a correlação dos valores foi baixa ( $R^2=0,45$ ), como se observa na Figura 3.

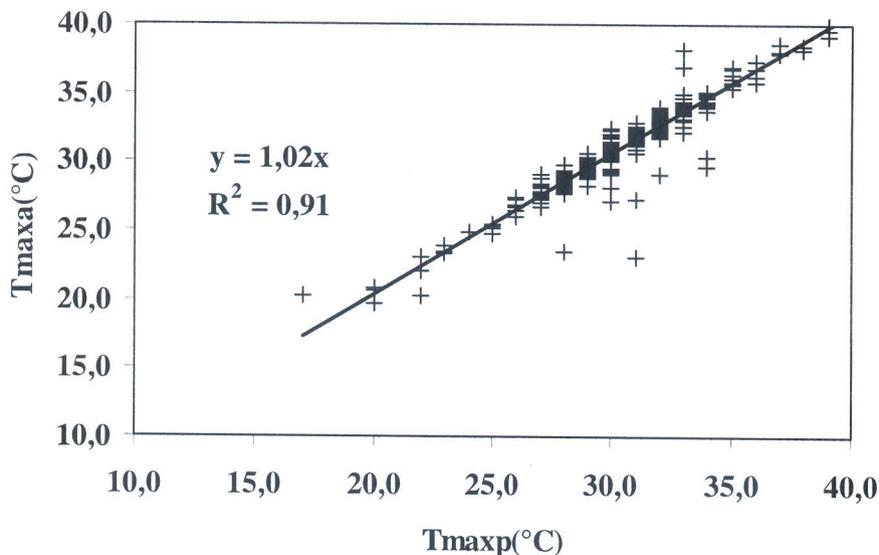


FIGURA 2. Relações entre os valores da temperatura máxima do ar empregando-se dados do termômetro de base plástica (Tmaxp) e da estação automática (Tmaxa). Jales, SP, 2008.

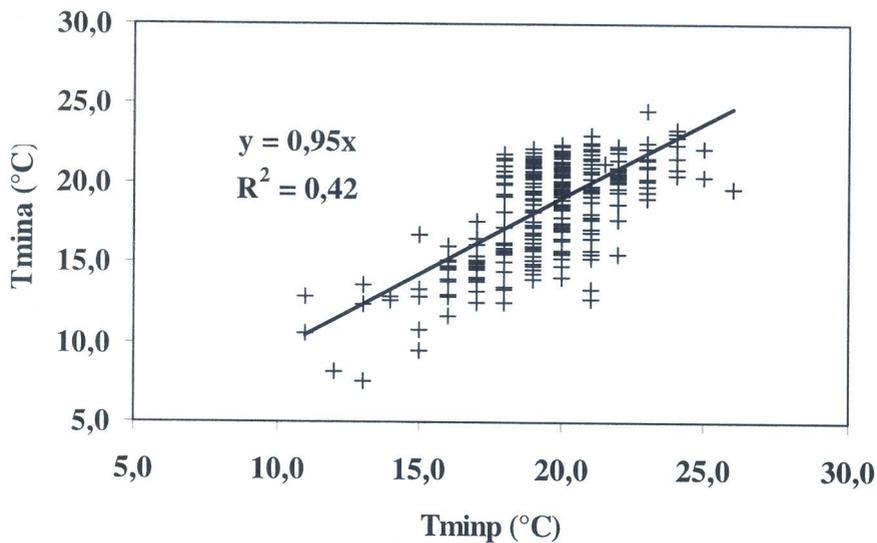


FIGURA 3. Relações entre os valores da temperatura mínima do ar empregando-se dados do termômetro de base plástica (Tminp) e da estação automática (Tmina). Jales, SP, 2008.

Semelhante à Tmin, os valores da temperatura média do ar obtidos com o termômetro de base plástica (Tmedp) superestimaram em 4% os valores da estação automática (Tmeda). Nesse caso, porém, a dispersão foi menor do que em Tmin, resultando em um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,79 (Figura 4).

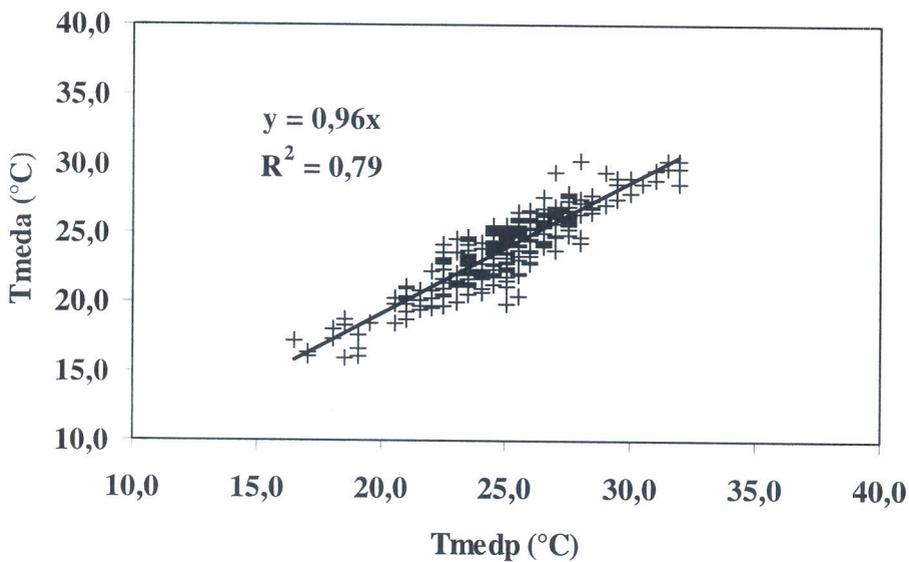


FIGURA 4. Relações entre os valores da temperatura média do ar empregando-se dados do termômetro de base plástica (Tmedp) e da estação automática (Tmeda). Jales, SP, 2008.

Os valores de EToHa variaram de  $1,7\text{mm.dia}^{-1}$  a  $7,8\text{mm.dia}^{-1}$ , com média igual a  $4,7\text{mm.dia}^{-1}$ . Já os valores de EToHp variaram entre  $1,6\text{mm.dia}^{-1}$  a  $7,3\text{mm.dia}^{-1}$ , com média igual a  $4,6\text{mm.dia}^{-1}$ . A relação entre os valores de EToHa e EToHp está apresentada na Figura 5. Observa-se uma alta correlação entre os valores ( $R^2=0,88$ ), sendo que EToHp subestima os

valores de EToHa em apenas 2%, em média, como se verifica na Figura 6, onde a reta de regressão é forçada a passar pela origem.

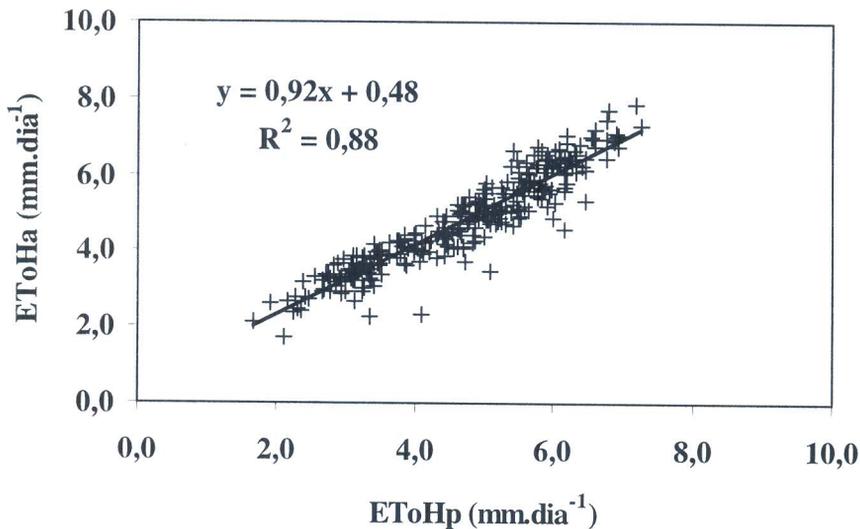


FIGURA 5. Relações entre os valores da evapotranspiração de referência calculados pelo método de Hargreaves, empregando-se dados de temperatura do termômetro de máxima e mínima (EToHp) e da estação automática (EToHa). Jales, SP, 2008.

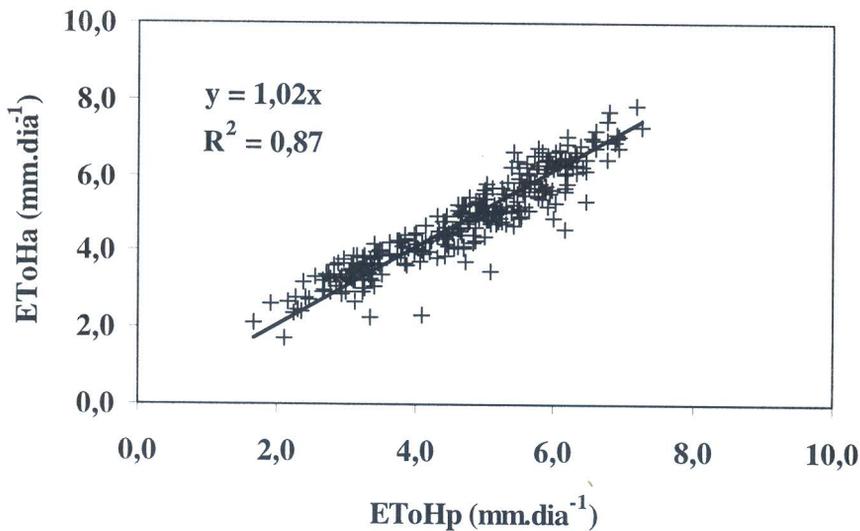


FIGURA 6. Relações entre os valores da evapotranspiração de referência calculados pelo método de Hargreaves, empregando-se dados de temperatura do termômetro de máxima e mínima (EToHp) e da estação automática (EToHa), forçando-se a reta a passar pela origem. Jales, SP, 2008.

Os coeficientes de regressão (r), exatidão (d) e desempenho (c) estão apresentados na Tabela 1. Os valores de Tmax apresentaram valores de r, d e c iguais a 0,95, 0,97 e 0,92, respectivamente. Já os coeficientes de Tmin apresentaram valores menores, sendo iguais a

0,65, 0,76 e 0,50, respectivamente. Os coeficientes de Tmed apresentaram valores mais próximos aos observados em Tmax, sendo iguais a 0,89, 0,90 e 0,81, respectivamente. Os valores de EToHp apresentaram altos coeficientes de correlação ( $r=0,95$ ), exatidão ( $d=0,97$ ) e desempenho ( $c=0,91$ ).

TABELA 1. Coeficientes de regressão (r), exatidão (d) e desempenho (c) e classificação de desempenho para valores das temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) do ar e da evapotranspiração de referência (EToH) obtidos empregando-se dados do termômetro de máxima e mínima em relação aos obtidos utilizando-se a estação automática. Jales, SP, 2008.

Variável	r	d	c	classificação
Tmax	0,95	0,97	0,92	ótimo
Tmin	0,65	0,76	0,50	ruim
Tmed	0,89	0,90	0,81	muito bom
EToH	0,94	0,97	0,91	ótimo

O termômetro de base plástica apresentou baixa sensibilidade às temperaturas mínimas do ar, com grupos de valores constantes para diferentes valores da estação automática (Figura 3), resultando em um desempenho classificado como ruim (Tabela 1). Já os valores de Tmax e Tmed apresentaram melhores desempenhos (Tabela 1), classificados como ótimo e muito bom, respectivamente. Apesar desses desempenhos de Tmax e Tmed, eles ainda são inferiores aos observados empregando-se termômetros convencionais (PEREIRA et al., 2008; TERAMOTO et al., 2009), uma vez que esses termômetros são mais precisos, com resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , enquanto que os de base plástica apresentam resolução de  $1^{\circ}\text{C}$ .

Mesmo com as oscilações de desempenho dos dados de temperatura, os valores de EToHp apresentaram desempenho classificado como ótimo, em relação a EToHa (Tabela 1). Esse resultado mostra a maior influência dos dados de Tmax e Tmed na eq.1. Além disso, há que se considerar que os valores diários de Ra foram iguais, tanto para EToHp quanto para EToHa, reforçando a semelhança dos dois conjuntos de dados. Mesmo, entretanto, que forem usados valores médios mensais de Ra para EToHp (EToHpm), o desempenho em relação a EToHa (Figura 7) é semelhante ao observado para EToHp (Figura 6), onde foram empregados dados diários de Ra. Deve-se ressaltar que a adoção de valores tabelados mensais de Ra facilita o uso da eq.1 pelos produtores.

O uso de termômetros de máxima e mínima de base plástica torna-se, assim, uma opção de baixo custo para a estimativa da evapotranspiração da cultura na região, onde predominam os pequenos produtores de uva. Além disso, praticamente não exige manutenção, diferente de outros métodos como o do tanque Classe A, por exemplo.

## CONCLUSÃO

A evapotranspiração de referência calculada pelo método de Hargreaves empregando-se dados de temperatura do termômetro de máxima e mínima (EToHp) apresenta desempenho ótimo, em comparação ao uso de dados da estação meteorológica automática (EToHa).

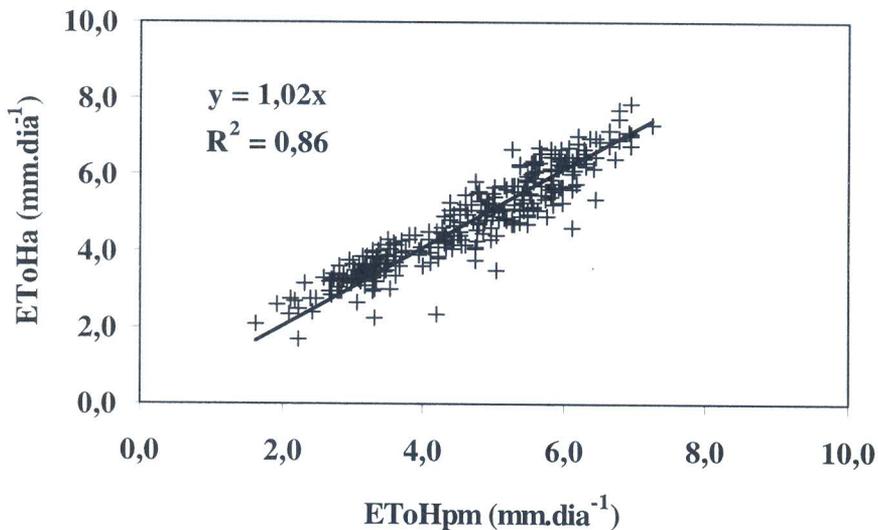


FIGURA 7. Valores da evapotranspiração de referência calculados pelo método de Hargreaves, empregando-se dados de temperatura do termômetro de base plástica e valores mensais da radiação solar no topo da atmosfera (EToHpm) em relação aos obtidos empregando-se dados da estação automática (EToHa), com a reta de regressão forçada a passar pela origem. Jales, SP, 2008.

## REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A P. de ; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o Noroeste Paulista. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro. *Anais...* Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas/Embrapa Informática Agropecuária, 2004. CD-ROM.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.11, n.2, p.229-236, 2003.
- HARGREAVES, G.H.; ALLEN, R.G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.129, n.1, p.53-63, 2003.
- ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R.H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. *Irrigation Science*, New York, v.28, p.1-3, 2009.
- PEREIRA, L.V.P.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W. da S.; CAVIGLIONE, J.H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 29, n. 2, p. 299-306, 2008.
- TERAMOTO, E.T.; CARVALHO, L.G. de; DANTAS, A.A.A. Comparação entre valores de temperatura média do ar de estação convencional com valores obtidos em estação automática e análise de equações para estimativas de médias da temperatura do ar em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1798 -1803, 2009.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.395-405, 2006.

WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G., DAVIS, J.J., FEDDEMA, K.M., KLINK, D.R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v.90, n..5, p. 8995-9005, 1985.