

## Novo método para estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar

Marco Antônio Fonseca Conceição<sup>1</sup>

### Introdução

A região de Jales, localizada no noroeste de São Paulo, é uma importante área produtora de uvas de mesa do Estado, onde predominam pequenas propriedades com mão-de-obra familiar. Em todos os vinhedos da região são empregados sistemas de irrigação, para suprir a deficiência hídrica que ocorre durante o ciclo produtivo da cultura.

Para um manejo adequado da irrigação, são necessárias informações sobre a necessidade hídrica da cultura. A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é um parâmetro fundamental para a determinação dessa necessidade, sendo desejável que se tenha um método que estime a ET<sub>o</sub> com boa precisão e a partir de dados meteorológicos fáceis de serem obtidos (VILLA NOVA; PEREIRA, 2006). O método de Penman-Monteith é considerado, atualmente, como padrão para a

estimativa de ET<sub>o</sub>. Para seu uso, entretanto, são necessárias variáveis meteorológicas nem sempre disponíveis, principalmente aos pequenos produtores. Por essa razão, métodos que empregam um menor número de variáveis são também utilizados para estimar a ET<sub>o</sub>.

Dentre esses métodos, destaca-se o de Hargreaves (HARGREAVES; ALLEN, 2003), que tem apresentado um bom desempenho em diferentes regiões do Brasil, incluindo o noroeste paulista (CONCEIÇÃO, 2003). No método de Hargreaves, a ET<sub>o</sub> é calculada a partir da estimativa da radiação solar global (R<sub>s</sub>). A estimativa de R<sub>s</sub> é feita com base na diferença entre as temperaturas máxima (T<sub>max</sub>) e mínima (T<sub>min</sub>) do ar, uma vez que a redução de R<sub>s</sub>, como ocorre na presença de nuvens, faz com que a diferença entre T<sub>max</sub> e T<sub>min</sub> apresente a tendência de também ser menor.

<sup>1</sup> D.Sc. Pesquisador da Embrapa Uva e Vinho/Estação Experimental de Viticultura Tropical, Caixa Postal 241, 15700-971 Jales, SP. E-mail: marcoafc@cnpuv.embrapa.br.

Outros métodos, entretanto, também permitem estimar a  $R_s$  a partir da diferença entre  $T_{max}$  e  $T_{min}$ , como o de Bristow-Campbell (BRISTOW; CAMPBELL, 1984).

Conceição e Marin (2007) verificaram que, em diferentes regiões do Brasil, esse método foi o que proporcionou os melhores resultados na estimativa de  $R_s$ , quando comparados aos valores medidos em estações meteorológicas. O emprego dele para estimar a  $R_s$  poderia, assim, melhorar o desempenho do método de Hargreaves.

No presente trabalho foram calculados valores diários de  $E_{To}$  pelo método de Hargreaves original; e por um novo método, em que se emprega a equação de Bristow-Campbell para a estimativa de  $R_s$ . Esses valores foram comparados aos obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith, nas condições do noroeste paulista.

## Material e Métodos

Foram empregados registros meteorológicos coletados na estação automática da Embrapa Uva e Vinho em Jales, SP (20°10'S, 50°35'W, 455 m). Os valores diários da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) foram calculados a partir de dados meteorológicos diários entre os anos de 2004 a 2007. Para a coleta das variáveis meteorológicas foi empregado um sistema automático de aquisição de dados modelo CR-510, da Campbell®, com registros efetuados a cada 15 minutos e totalizados diariamente.

O método de Hargreaves para a estimativa de  $E_{To}$  pode ser descrito da seguinte forma (ALLEN et al., 1998; HARGREAVES; ALLEN, 2003):

$$E_{ToH} = 0,0009.R_a.(T_{max} - T_{min})^{0,5}.(T_{med} + 17,8) \quad (1)$$

em que,

$E_{ToH}$  - evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves, mm dia<sup>-1</sup>;

$R_a$  - radiação solar incidente no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$T_{max}$  - temperatura máxima do ar, °C,

$T_{min}$  - temperatura mínima do ar, °C.

Na eq.1 está inserida a estimativa da radiação solar global que, para regiões continentais, é calculada empregando-se a seguinte expressão (HARGREAVES; ALLEN, 2003):

$$R_{sH} = 0,16.(T_{max} - T_{min})^{0,5}.R_a \quad (2)$$

em que,

$R_{sH}$  - radiação solar global estimada pelo método de Hargreaves, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Assim, a eq.1 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$E_{ToH} = 0,0056.R_{sH}.(T_{med} + 17,8) \quad (3)$$

Já o modelo de Bristow-Campbell para a estimativa de  $R_s$  pode ser descrito da seguinte maneira (CONCEIÇÃO; MARIN, 2007):

$$R_{sB} = 0,7.[1 - \exp(-0,005.(T_{max} - T_{min})^{2,4})].R_a \quad (4)$$

em que,

$R_{sB}$  - radiação solar global estimada pelo modelo de Bristow-Campbell, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Substituindo-se  $R_{sB}$  (eq.4) na eq.3, no lugar de  $R_{sH}$ , obtém-se a expressão:

$$E_{ToB} = 0,0056.R_{sB}.(T_{med} + 17,8) \quad (5)$$

em que,

$E_{ToB}$  - evapotranspiração de referência utilizando-se  $R_{sB}$ , mm dia<sup>-1</sup>.

As comparações entre os valores estimados ( $E_{ToH}$  e  $E_{ToB}$ ) com os de  $E_{ToPM}$  foram realizadas empregando-se regressões lineares, obtendo-se os coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Também foi utilizado o coeficiente de desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação (r) pelo coeficiente de exatidão (d).

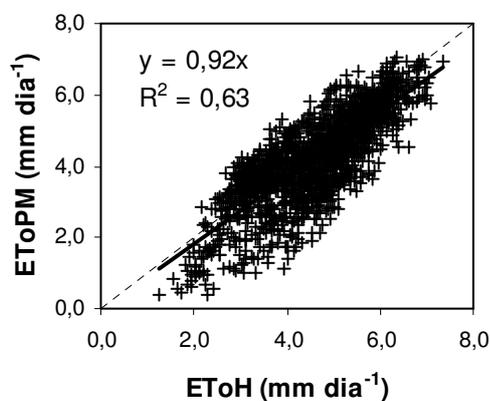
O desempenho foi classificado como:

- ótimo para  $c \geq 0,85$ ;
- muito bom para  $0,76 \leq c < 0,85$ ;
- bom para valores  $0,66 \leq c < 0,75$ ;
- regular para valores  $0,51 \leq c < 0,65$ ;
- ruim para valores  $0,41 \leq c < 0,50$ ;
- péssimo para valores  $\leq 0,40$ .

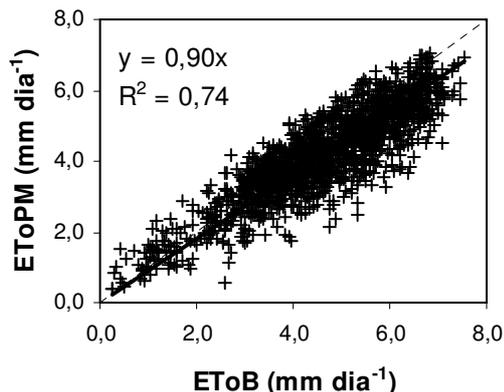
As avaliações consideraram todos os dados diários entre 2004 e 2007 e, também, os relativos aos períodos úmido (de novembro a março) e seco (de abril a setembro) na região.

## Resultados e Discussão

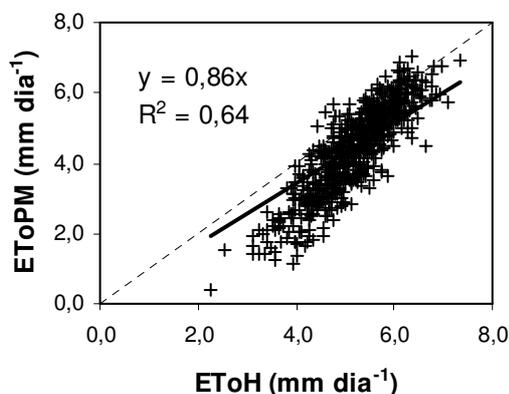
Forçando-se as linhas de tendência a passar pela origem, observou-se que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) empregando-se EToB foram superiores aos obtidos empregando-se EToH, tanto para a série total de dados (Fig. 1 e 2), quanto para os períodos úmido (Fig. 3 e 4) e seco (Fig. 5 e 6).



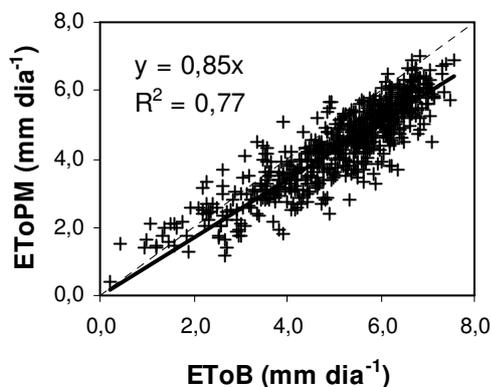
**Fig. 1.** Relações entre EToH e EToPM, para o período anual. Jales, SP, 2004-2007.



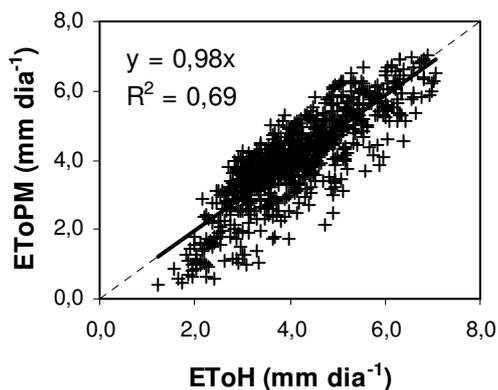
**Fig. 2.** Relações entre EToB e EToPM, para o período anual. Jales, SP, 2004-2007.



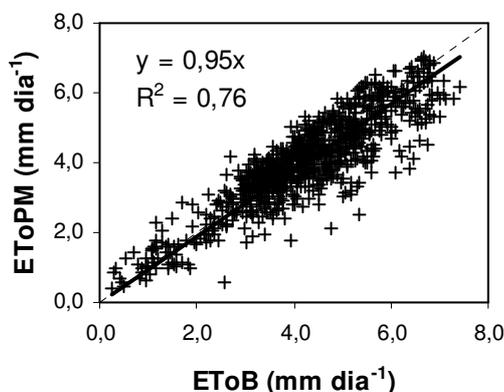
**Fig. 3.** Relações entre EToH e EToPM durante o período úmido, de novembro a março. Jales, SP, 2004-2007.



**Fig. 4.** Relações entre EToB e EToPM durante o período úmido, de novembro a março. Jales, SP, 2004-2007.



**Fig. 5.** Relações entre ETtoH e ETtoPM durante o período seco, de abril a outubro. Jales, SP, 2004-2007.



**Fig. 6.** Relações entre ETtoB e ETtoPM durante o período seco, de abril a outubro. Jales, SP, 2004-2007.

Os coeficientes de correlação, exatidão e desempenho dos modelos em relação a ETtoPM estão apresentados nas Tabela 1, 2 e 3.

Nos dois métodos, os desempenhos no período úmido foram inferiores aos do período seco. O uso de ETtoH proporcionou um desempenho classificado como bom, considerando-se os dados em geral e o período úmido; e como muito bom no período seco.

Os valores de ETtoB apresentaram desempenhos classificados como muito bons em todos os períodos, sendo que no período seco ele se aproximou do ótimo, que corresponde a um valor igual a 0,85 (Tabelas 1 a 3).

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação ( $r$ ), de exatidão ( $d$ ) e de desempenho ( $c$ ) de ETtoH e ETtoB em relação a ETtoPM, considerando-se todos os dados (Geral). Jales, SP. 2004-2007.

Coeficiente	ETtoH	ETtoB
$r$	0,79	0,87
$d$	0,87	0,91
$c$	0,69	0,79
Classificação	bom	muito bom

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação ( $r$ ), de exatidão ( $d$ ) e de desempenho ( $c$ ) de ETtoH e ETtoB em relação a ETtoPM, considerando-se o período úmido. Jales, SP. 2004-2007.

Coeficiente	ETtoH	ETtoB
$r$	0,87	0,88
$d$	0,78	0,86
$c$	0,67	0,76
Classificação	bom	muito bom

**Tabela 3.** Coeficientes de correlação ( $r$ ), de exatidão ( $d$ ) e de desempenho ( $c$ ) de ETtoH e ETtoB em relação a ETtoPM, considerando-se o período seco. Jales, SP. 2004-2007.

Coeficiente	ETtoH	ETtoB
$r$	0,83	0,88
$d$	0,91	0,93
$c$	0,76	0,82
Classificação	muito bom	muito bom

A equação de Hargreaves é muitas vezes ajustada para uma melhor adequação à realidade de cada região. Essas modificações, contudo, visam, principalmente, ao ajuste dos coeficientes empíricos da equação (ALLEN et al., 1998; VANDERLINDEN et al., 2004; BORGES; MENDIONDO, 2007; TRAJKOVIC, 2007).

Outras alterações também podem acrescentar

correções para outros elementos meteorológicos, como pluviosidade e vento (DROOGERS; ALLEN, 2002; MARTÍNEZ-COB; TEJERO-JUSTE, 2004; GAVILÁN et al., 2006).

Deve-se considerar, entretanto, que o desempenho de EToH está diretamente relacionado à estimativa de Rs. Assim, uma melhor estimativa dessa variável proporciona uma melhoria no desempenho da equação. Foi o que ocorreu com a utilização da equação de Bristow-Campbell na estimativa de Rs.

Deve-se considerar, assim, que o novo método para estimativa de ETo (EToB) é apropriado para a região noroeste de São Paulo, principalmente durante o período seco do ano, época em que a irrigação é mais utilizada.

## Conclusões

A estimativa da evapotranspiração de referência empregando-se o novo método (EToB), em que a equação de Bristow-Campbell é utilizada para estimar a radiação solar global, proporcionou desempenhos superiores aos obtidos com o método original de Hargreaves.

Os desempenhos dos modelos durante o período seco do ano (abril a outubro) foram superiores aos obtidos durante o período úmido (novembro a março).

## Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. (FA. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 159-166, 1984.

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. 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.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. **Cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. 4 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 61).

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MARIN, F. R. Avaliação de modelos para a estimativa de valores diários da radiação solar global com base na temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 1, p. 103-108, 2007.

DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems**, Amsterdam, v. 16, p. 33-45, 2002.

GAVILÁN, P.; LORITE, I. J.; TORNERO, S.; BERENGENA, J. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 81, p. 257-281, 2006.

HARGREAVES, G. H.; ALLEN, R. G. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**,

Reston, v. 129, n. 1, p. 53-63, 2003.

MARTÍNEZ-COB, A.; TEJERO-JUSTE, M. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 64, p. 251-264, 2004.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 133, n. 1, p. 38-42, 2007.

VANDERLINDEN, K.; GIRÁLDEZ, J. V.; MEIRVENNE, M. V. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in Southern Spain. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 130, n. 3, p. 184-191, 2004.

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.

**Comunicado Técnico, 97** Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Uva e Vinho**  
Rua Livramento, 515 – Caixa Postal 130  
95700-000 Bento Gonçalves, RS  
Fone: (0xx) 54 3455-8000  
Fax: (0xx) 54 3451-2792  
<http://www.cnpuv.embrapa.br>

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



1ª edição  
1ª impressão (2009): On-line

**Comitê de Presidente:** *Mauro Celso Zanus*  
**Publicações Secretária-Executiva:** *Sandra de Souza Sebben*  
**Membros:** *Alexandre Hoffmann, Flávio Bello Fialho, Kátia Midori Hiwatashi, Marcos Botton, Viviane Maria Zanella Bello Fialho*

**Expediente** **Revisão do texto:** *Autor*  
**Tratamento das ilustrações:** *Autor*  
**Normalização bibliográfica:** *Kátia Midori Hiwatashi*