

# USO DO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH COM BASE EM VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS DO SALDO DE RADIAÇÃO

M. A. F. CONCEIÇÃO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Engº Civil, Pesquisador, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Embrapa Uva e Vinho, Jales - SP, Fone: (0XX17) 3632.9666, marcoafc@cnpuv.embrapa.br

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte –MG.

**RESUMO:** A determinação da necessidade hídrica das culturas é feita, normalmente, com base nos valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). O método de Penman-Monteith é considerado, atualmente, como padrão para a estimativa da ET<sub>o</sub>. A maioria das estações meteorológicas, contudo, não apresenta sensores para a determinação do saldo de radiação (R<sub>n</sub>), que é uma variável necessária para o emprego do método, havendo a necessidade, assim, de estimá-la. No presente trabalho foram comparados valores diários de ET<sub>o</sub> empregando-se dados medidos e estimados de R<sub>n</sub>. As variáveis meteorológicas foram obtidas na FEIS/UNESP de Ilha Solteira, SP. Os valores de R<sub>n</sub> foram estimados empregando-se o modelo da FAO (R<sub>n</sub>FAO) e um modelo empírico (R<sub>n</sub>Rs), em que R<sub>n</sub> é função da radiação solar global (R<sub>s</sub>). Os valores de ET<sub>o</sub> estimados utilizando os dois modelos (ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>FAO e ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>Rs) apresentaram ótimos desempenhos, quando comparados aos obtidos empregando-se dados medidos de R<sub>n</sub>.

**PALAVRAS-CHAVE:** evapotranspiração, irrigação, demanda hídrica

## USING THE PENMAN-MONTEITH METHOD BASED ON MEASURED AND ESTIMATED VALUES OF NET RADIATION

**SUMMARY:** The culture water requirements are usually calculated based on the daily reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) values. The Penman-Monteith method is currently considered as the standard to ET<sub>o</sub> estimation. However, the majority of the meteorological stations does not presents sensors to measure the net radiation (R<sub>n</sub>), variable that is necessary to use the method. So, it needs to estimate that variable. In the present work were compared daily ET<sub>o</sub> values using measured and estimated R<sub>n</sub>. The meteorological data used in this study were obtained from the automatic meteorological station located at Ilha Solteira, SP, Brazil. The R<sub>n</sub> values were estimated using the FAO model (R<sub>n</sub>FAO) and an empirical model (R<sub>n</sub>Rs) were R<sub>n</sub> was a function of the solar radiation (R<sub>s</sub>). Both models presented excellent performance on ET<sub>o</sub> estimation, when compared with ET<sub>o</sub> values obtained using measured R<sub>n</sub>.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, irrigation, water requirement

**INTRODUÇÃO:** A região noroeste de São Paulo é um dos principais pólos de produção de uvas de mesa do estado. Nessa região, os vinhedos são irrigados, devido à ocorrência de deficiência hídrica acentuada durante o ciclo produtivo da cultura. A determinação da

necessidade hídrica da cultura é feita, normalmente, com base nos valores diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). O método de Penman-Monteith é considerado, atualmente, como padrão para a estimativa da ET<sub>o</sub> (ALLEN et al., 1998; YIN et al., 2008). O emprego desse método tem sido facilitado devido à utilização, cada vez mais frequente, de estações meteorológicas automáticas. A maioria dessas estações, contudo, não apresenta sensores para a determinação do saldo de radiação (R<sub>n</sub>). Esse parâmetro é, normalmente, estimado. A substituição dos valores medidos de R<sub>n</sub>, por estimados pode, entretanto, afetar a eficácia do método de Penman-Monteith. No presente trabalho são comparados valores diários de ET<sub>o</sub> obtidos empregando-se valores medidos e estimados de R<sub>n</sub>, para as condições do noroeste paulista.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os valores das variáveis meteorológicas utilizados no trabalho foram obtidos no portal da Área de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), que pertence à Universidade Estadual Paulista (UNESP). Os registros foram realizados empregando-se uma estação meteorológica automática localizada no município de Ilha Solteira, SP (latitude 20° 25' S, longitude 51° 21' W e altitude de 335 metros). Para a estimativa de ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith utilizou-se a expressão apresentada por ALLEN et al. (1998). Foram utilizados valores medidos e estimados do saldo de radiação (R<sub>n</sub>). Os valores estimados de R<sub>n</sub> foram obtidos empregando-se a metodologia apresentada pela FAO (R<sub>n</sub>FAO), conforme descrita por ALLEN et al. (1998); e um modelo empírico obtido por meio de regressão linear entre R<sub>n</sub> e a radiação solar global (R<sub>n</sub>Rs), a partir de dados diários de 01 de janeiro de 2001 a 31 de dezembro de 2004. As comparações entre os valores de ET<sub>o</sub> calculados empregando-se dados medidos e estimados de R<sub>n</sub> foram realizadas por meio de regressões lineares e, também, do coeficiente de confiança “c” proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação “r” pelo coeficiente de exatidão “d”, descrito por CAMARGO & SENTELHAS (1997). 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. As avaliações de desempenho foram realizadas utilizando-se valores diários obtidos entre de 01 de janeiro de 2005 a 31 de dezembro de 2008.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O modelo empírico obtido pela regressão entre R<sub>n</sub> e R<sub>s</sub> foi:  $R_n = 0,6474 \cdot R_s$  (Figura 1). O valor de coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,81$ ) obtido no presente trabalho foi superior ao registrado por ANDRÉ & VOLPI (1988) em Jaboticabal, SP, e inferior aos obtidos pelos diferentes modelos avaliados por PEREIRA et al. (1998) em Piracicaba, SP. Forçando-se as linhas de tendência a passarem pela origem, verificou-se que o  $R^2$  de ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>FAO em relação a ET<sub>o</sub> foi igual a 0,89 (Figura 2). Observa-se, também, que os valores de ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>FAO apresentaram uma superestimativa de 2% em relação a ET<sub>o</sub>. O emprego do modelo empírico (ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>Rs) apresentou  $R^2$  igual a 0,88, próximo ao anterior, mas os valores de ET<sub>o</sub>R<sub>n</sub>Rs superestimaram em 12% os valores de ET<sub>o</sub> (Figura 3). Os coeficientes de regressão, exatidão e desempenho dos dois modelos, em relação a ET<sub>o</sub>, apresentaram valores próximos (Tabela 1). As duas estimativas apresentaram valores de “c” superiores a 0,85, classificando os desempenhos como ótimos, de acordo com o critério apresentado por CAMARGO & SENTELHAS (1997). IRMAK et al. (2003) obtiveram um desempenho satisfatório de um modelo empírico em que ET<sub>o</sub> era função de R<sub>s</sub> e da temperatura média do ar (T<sub>m</sub>), em regiões úmidas dos Estados Unidos. GAVILÁN et al.

(2007) verificaram que o uso de valores diários estimados de RnFAO não afetou o desempenho do modelo de Penman-Monteith, sob as condições semiáridas do sul da Espanha. Sob as condições do noroeste paulista, os dois modelos de estimativa podem ser empregados na obtenção de valores diários de ETo. O modelo RnFAO apresenta maior exatidão (Figura 2 e Tabela 1) na estimativa de ETo, mas requer, também, uma maior número de variáveis para ser utilizado (ALLEN et al., 1998), enquanto que o modelo empírico (RnRs) necessita somente dos valores de Rs e apresenta maior simplicidade de cálculo.

**CONCLUSÃO:** Sob as condições do noroeste paulista, o emprego de valores estimados do saldo de radiação (Rn) no cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) pela equação de Penman-Monteith, proporciona ótimos desempenhos, quando comparados ao uso, na equação, de valores medidos de Rn.

**AGRADECIMENTO:** O autor agradece ao Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez (UNESP/FEIS) pela disponibilização dos dados meteorológicos utilizados no presente trabalho.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

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

ANDRÉ, R. G. B.; VOLPE, C.A.. Estimativa do saldo de radiação em Jaboticabal (SP). **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 7, p.1-8, 1988.

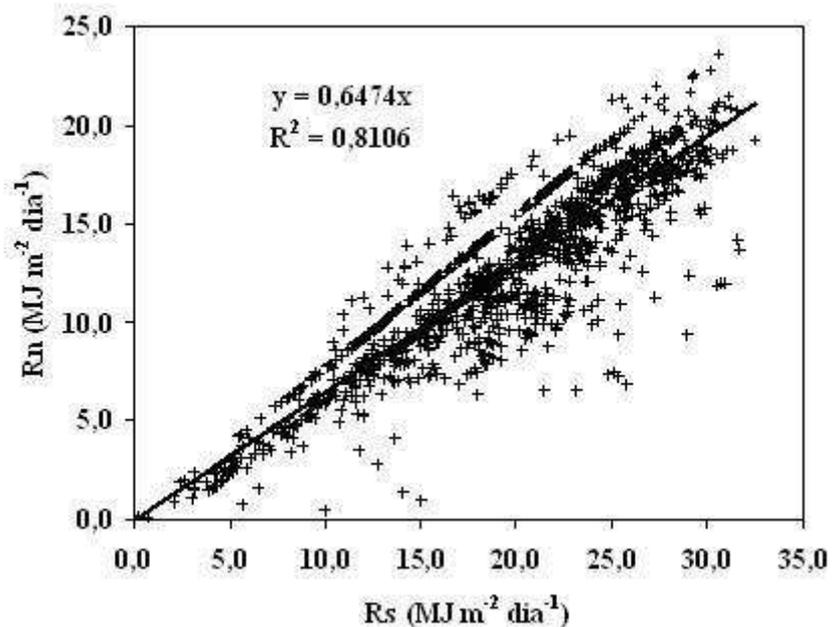
CAMARGO, A P. de ; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

GAVILÁN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R.G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: impact on Penman-Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.89, n.3, p.275-286, 2007.

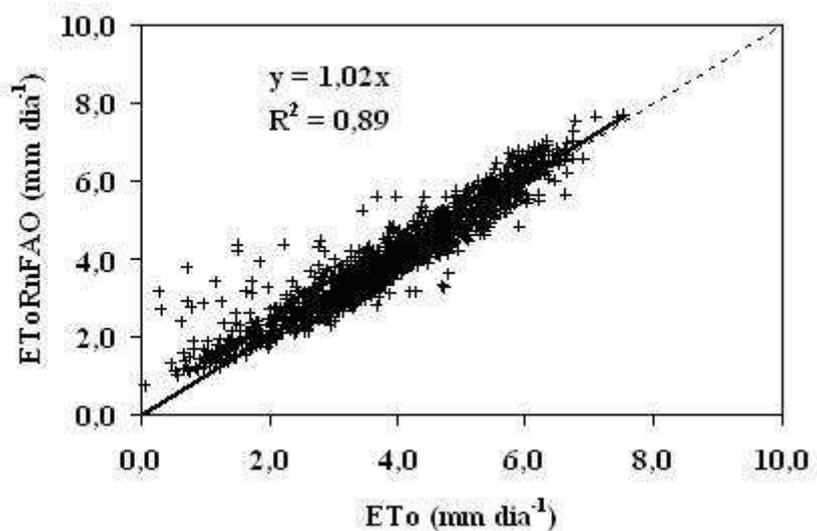
IRMAK, S.; IRMAK, A.; ALLEN, R.G.; JONES, J.W. Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v.129, n.5, p.336-347, 2003.

PEREIRA, A.B.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Estimativa do balanço de energia radiante em função de elementos climáticos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.2, p.201-206, 1998.

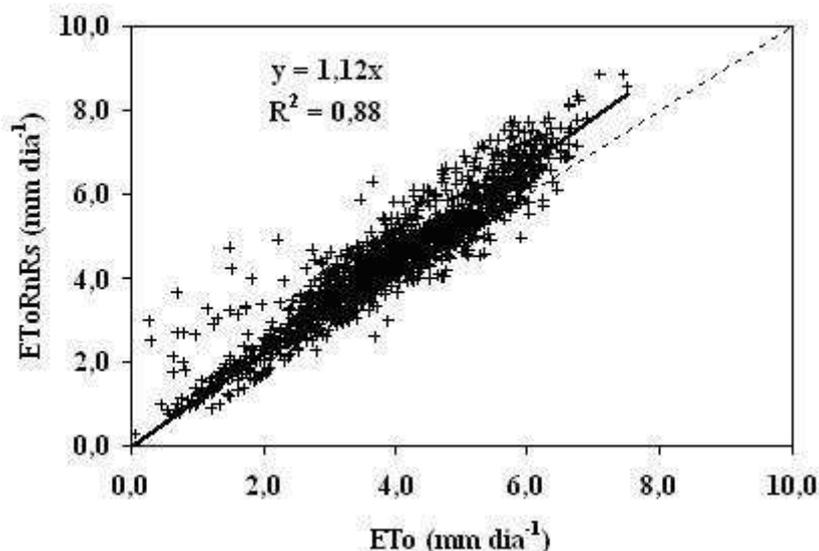
YIN, Y.; WU, S.; ZHENG, D.; YANG, Q. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.95 n.1, p.77-84, 2008.



**FIGURA 1** – Relação entre o saldo de radiação ( $R_n$ ) e a radiação solar global ( $R_s$ ). Ilha Solteira, SP, 2001-2004.



**FIGURA 2** – Comparação entre valores da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith ( $E_{To}$ ) empregando-se dados medidos do saldo de radiação ( $R_n$ ); e os valores da evapotranspiração de referência utilizando-se valores de  $R_n$  estimados pelo método da FAO ( $E_{ToRnFAO}$ ). Ilha Solteira, SP, 2005-2008.



**FIGURA 3** – Comparação entre valores da evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (ETo) empregando-se dados medidos do saldo de radiação (Rn); e os valores da evapotranspiração de referência utilizando-se valores de Rn estimados por um modelo empírico baseado na radiação solar incidente (EToRnRs). Ilha Solteira, SP, 2005-2008.

**TABELA 1** – Coeficientes de regressão (r), de exatidão (d) e de confiança (c) obtidos comparando-se a evapotranspiração de referência calculada pelo método de Penman-Monteith (ETo) empregando-se dados medidos do saldo de radiação (Rn); e os valores da evapotranspiração de referência utilizando-se valores de Rn estimados pelo método da FAO (EToRnFAO) e por um modelo empírico baseado na radiação solar incidente (EToRnRs). Ilha Solteira, SP, 2005-2008.

Índice	EToRnFAO	EToRnRs
r	0,95	0,94
d	0,97	0,94
c	0,92	0,88