



## DESEMPENHO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM ILHA SOLTEIRA – SP<sup>1</sup>

LUIZ SERGIO VANZELA<sup>2</sup>, FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ<sup>3</sup>,  
ELTON JOSÉ SANT'ANA FERREIRA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Equipamentos adquiridos em projetos financiados pela FAPESP (2.000/08.279-5 e 2.005/00.518-3), sendo os autores gratos pelo apoio.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, MSc., Doutorando em Sistemas de Produção na UNESP Ilha Solteira. lsvanzela@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Professor Adjunto do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da UNESP Ilha Solteira - SP. Caixa Postal 34. CEP: 15385 - 000. Ilha Solteira - SP. fbhttang@agr.feis.unesp.br .

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo pela UNESP Ilha Solteira.

Apresentado no  
XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
30 de julho a 02 de agosto de 2007 – Bonito – MS

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes variáveis climáticas e métodos de evapotranspiração de referência na determinação da evapotranspiração de referência Penman-Monteith-FAO, na região de Ilha Solteira - SP. Para este trabalho foi utilizado os dados climáticos de 01 de março de 1995 à 01 de março de 2000, pertencente ao banco de dados do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP - Ilha Solteira. Foram realizadas análises de correlação, de regressão e determinação dos índices de concordância de Willmott e de desempenho, de diferentes variáveis climáticas e métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em evapotranspiração de referência Penman-Monteith-FAO. De acordo com os resultados obtidos a radiação líquida, dentre as variáveis climáticas, apresentou ótimo desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência. A estimativa da evapotranspiração de referência pelo método do tanque Classe “A” teve mau desempenho, sendo um método inadequado para a região de Ilha Solteira – SP.

**PALAVRAS-CHAVE:** evapotranspiração, Penman-Monteith-FAO, radiação

### PERFORMANCE OF THE ESTIMATE OF THE REFERENCE CROP EVAPOTRANSPIRATION IN ILHA SOLTEIRA -SP

**ABSTRACT:** This research had as objective to evaluate the performance of different climatic variables and reference crop evapotranspiration methods in the determination of the Penman-Monteith-FAO reference crop evapotranspiration, in the region of Ilha Solteira – SP. For this research it was used the climatic data of 01/03/1995 to 01/03/2000, of the data base of the Hydraulics and Irrigation Division, UNESP – Ilha Solteira. The data had been analyzed for correlation analyses, of regression and determination of the Willmott concordance index and of the performance, of different climatic variables and reference crop evapotranspiration methods in Penman-Monteith-FAO reference crop evapotranspiration. The results had evidenced that the net radiation, amongst the climatic variables, presented excellent performance in the estimate of the Penman-Monteith-FAO reference crop evapotranspiration. The estimate of the Penman-Monteith-FAO reference crop evapotranspiration for the method of the Classe A pan evaporation had performance, being an inadequate method for the region of Ilha Solteira - SP.

**KEY-WORDS:** evapotranspiration, Penman-Monteith-FAO, radiation

**INTRODUÇÃO:** Dentre os estudos de que necessitam da disponibilidade de dados climáticos, os que visam estimativa da evapotranspiração são de extrema importância, especialmente para a irrigação. Os métodos de estimativa da evapotranspiração estão divididos em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos estimam a evapotranspiração potencial diretamente por meio de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo, sendo métodos difíceis e onerosos, pois exigem equipamentos e instalações especiais e os instrumentos são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais (PEREIRA et al.,1997). Os métodos indiretos, estimam a evapotranspiração em função

da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e do coeficiente da cultura (k<sub>c</sub>). Este método, no entanto, necessita do conhecimento das variáveis climáticas, por meio de modelos que estimam a ET<sub>o</sub>. Esses modelos podem ser simples, como os baseados na temperatura como os de THORNTHWAITE em 1948 e HARGREAVES e SAMANI em 1985 (PEREIRA et al., 2002), até os mais complexos, que envolvem o balanço de energia, como a de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). No entanto, além de existir um grande número de métodos empíricos desenvolvidos para estimar a ET<sub>o</sub> a partir de diferentes variáveis climáticas, a grande limitação da maioria deles, é que sempre necessitavam de calibrações locais para terem precisão (ALLEN et al., 1998). Segundo o mesmo autor após rigorosas avaliações, verificaram que o método de Penman-Monteith modificado, introduzido pela FAO, era o que apresentava melhores estimativas nos diferentes tipos de climas testados, sendo por isso, desde então, recomendado como o método padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência. Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes variáveis climáticas e métodos de evapotranspiração de referência na determinação da evapotranspiração de referência Penman-Monteith-FAO, na região de Ilha Solteira - SP.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para este trabalho foi utilizado os dados climáticos do banco de dados do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da UNESP - Ilha Solteira, coletados pela estação climatológica localizada na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP – Ilha Solteira, com coordenadas geográficas de 20°25'16" Sul e 51°20'43" Oeste e altitude de 335 metros em relação ao nível do mar. O clima da região é classificado segundo Köppen, como do tipo Aw, apresentando temperatura média anual de 24,5 °C, precipitação pluvial anual média de 1.232 mm e umidade relativa do ar média de 64,8% (HERNANDEZ et al., 1995). A base de dados utilizada neste trabalho compreende um banco de dados climáticos históricos do município de Ilha Solteira de 01 de março de 1995 à 01 de março de 2000, antes da implantação da estação agroclimática automática, onde os dados registrados eram: temperatura (máxima, mínima e média), temperatura do bulbo seco e bulbo úmido, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação, número de horas de luz solar e evaporação do Tanque Classe "A" e a evapotranspiração era pelo método Penman Modificado pela FAO (ET<sub>o</sub> PN, DOORENBOS & PRUITT, 1975) e pelo tanque Classe A (ET<sub>o</sub> TCA). Com os dados climáticos determinou-se para todo esse período (01/03/1995 á 01/03/2000) a evapotranspiração pelo método do Penman-Monteith modificado, introduzido pela FAO (ET<sub>o</sub> PNM-FAO, ALLEN et al, 1998). A análise estatística preliminar consistiu em uma análise de correlação dos valores das variáveis climáticas temperatura (T), umidade relativa (RH), velocidade média do vento (u<sub>2</sub>), brilho solar (n), radiação global (R<sub>s</sub>), radiação líquida (R<sub>n</sub>), fluxo de calor no solo (G), pressão de saturação de vapor (e<sub>s</sub>), Pressão atual de vapor (e<sub>a</sub>), declive da curva de pressão de saturação de vapor (Δ) e das ET<sub>o</sub> PN e ET<sub>o</sub> TCA, com os valores de ET<sub>o</sub> PNM-FAO. Os valores de coeficientes de correlação encontrados foram classificados de acordo seguindo a metodologia de HOPKINS (2000) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das correlações de acordo com o coeficiente de correlação.

Coeficiente de Correlação (r)	Correlação
0,0-0,1	Muito baixa
0,1-0,3	Baixa
0,3-0,5	Moderada
0,5-0,7	Alta
0,7-0,9	Muito alta
0,9-1,0	Quase perfeita

Para as variáveis que apresentaram correlações acima de alta ( $r > 0,50$  ou  $r < -0,50$ ) prosseguiu-se com as análises, que consistiram em análise de regressão linear, determinação do índice de concordância de Willmott e do índice de desempenho (CAMARGO e SENTELHAS, 1997), cujos critérios de interpretação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da ET<sub>o</sub>.

Valor do índice de desempenho “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76-0,85	Muito bom
0,66-0,75	Bom
0,61-0,65	Mediano
0,51-0,60	Sofrível
0,41-0,50	Mal
≤ 0,40	Péssimo

Todos os cálculos estatísticos foram realizados com o auxílio do software Microsoft Office Excel.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Na Tabela 3 estão apresentados os resultados dos coeficientes de correlação (r), índice de concordância (d), índice de desempenho (c) e análise de regressão para as variáveis avaliadas, que apresentaram correlação alta ou superior ( $r > 0,50$  ou  $r < -0,50$ ), com a ETo PNM-FAO.

Tabela 3. Resultados das análises de correlação, de desempenho e regressão.

Variável	r	d	c*	Equações	r <sup>2</sup>
T	0,62	0,73	0,45 <sup>M</sup>	ETo = 0,2461T - 1,9595	0,384
RH	-0,53	0,66	0,35 <sup>P</sup>	ETo = -0,0481RH + 7,2442	0,282
u <sub>2</sub>	0,21	-	-	-	-
n	0,54	0,67	0,36 <sup>P</sup>	ETo = 0,1993n + 2,6696	0,292
Rs	0,85	0,92	0,78 <sup>MB</sup>	ETo = 0,1958Rs + 0,3997	0,731
Rn	0,91	0,95	0,86 <sup>O</sup>	ETo = 0,2967Rn + 0,5841	0,822
G	0,10	-	-	-	-
es	0,64	0,75	0,48 <sup>M</sup>	ETo = 1,4151es - 0,3633	0,406
ea	-0,02	-	-	-	-
Δ	0,64	0,75	0,48 <sup>M</sup>	ETo = 27,0540D - 0,9735	0,404
ETo TCA	0,65	0,76	0,50 <sup>M</sup>	ETo = 0,5137EToTCA + 1,9520	0,426
ETo PN	0,95	0,97	0,92 <sup>O</sup>	ETo = 0,747ETo PN + 0,3155	0,898

De acordo com os resultados da Tabela 3 pode-se verificar que das variáveis analisadas, somente as radiações (global e líquida) e a ETo PN apresentaram índices de desempenho satisfatórios para estimar a ETo PNM-FAO por modelos lineares (desempenho muito bom, ótimo e ótimo, respectivamente, para Rs, Rn e ETo PN). As altas correlações verificadas com a radiação, também já foi obtida por outros autores como AMATYA et al (1992), que em estudo realizado na Carolina do Norte (EUA), relataram que a radiação foi o elemento meteorológico mais importante no processo de evapotranspiração. Isto provavelmente está relacionado ao fato de que a radiação é a principal fonte de energia no processo de evaporação (ALLEN et al, 1998). O uso de modelos baseados na radiação para a estimativa da ETo PNM-FAO também apresentaram bons resultados em estudos realizados por Oliveira et al (2001), que avaliando diferentes métodos de estimativa da ETo para diversas localidades o estado de Goiás e Distrito Federal, obtiveram coeficientes de determinação variando de 0,51 a 0,72, para regressões dos valores de ETo estimado pelo métodos FAO-Radiação em Penman-Monteith-FAO. Com relação a estimativa da ETo PNM-FAO pelos métodos de estimativa da ETo avaliados, resultados semelhantes foram obtidos por MEDEIROS (1998), que avaliando a estimativa da ETo PNM-FAO por diferentes métodos e para uma escala diária, em Paraipaba-CE, encontrou para o tanque classe “A” valores baixos de coeficientes de correlação ( $r = 0,61$ ), de concordância ( $d = 0,62$ ) e de desempenho ( $c = 0,39$ ). Para o método da ETo PN, os resultados encontrados estão de acordo com OLIVEIRA et al (2001), onde obtiveram, para diversos municípios de Goiás e Distrito Federal, valores de coeficientes de determinação ( $r^2$ ) variando de de 0,86 a 0,96, para a regressão linear da ETo PN em ETo PNM-FAO. O maior erro verificado pela regressão da ETo TCA provavelmente se devem aos seguintes fatores: a pequena dimensão do tanque, as paredes laterais expostas diretamente a radiação solar, a superfície da água não oferece impedimento ao processo evaporativo. Todos estes fatores podem contribuir para a evaporação exagerada em relação à perda efetiva de uma cultura,

mesmo em condições ótimas de umidade no solo (PEREIRA et al., 2002). De acordo com os resultados obtidos neste trabalho pode-se inferir que a construção de modelos lineares, visando a estimativa de dados de ETo, a partir de dados da radiação se mostrou adequada, com altos valores de desempenho, evidenciando a forte influência desse parâmetro climático no processo de evapotranspiração de referência, podendo ser utilizada para a estimativa da ETo padrão. Para os métodos de estimativa da ETo avaliados, embora a ETo TCA tenha apresentado mal desempenho, mais estudos devem ser realizados sobre quais condições deve ser recomendado, em função das divergências dos resultados encontrados na literatura e da grande importância prática da utilização deste método no manejo da irrigação.

**CONCLUSÃO:** A radiação líquida apresentou ótimo desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência, sendo das variáveis climáticas, a que apresentou melhor desempenho. O método do tanque classe “A” apresentou mau desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência, sendo por isso, um método inadequado para a região de Ilha Solteira – SP.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES SOBRINHO T., BONOMO, R. MANTOVANI, E. C. SEDIYAMA, G. C. Estimativa mensal da evapotranspiração de referência para Dourados e Ponta Porá, Mato Grosso do Sul. Cerrados – Revista de Ciências Agrárias, v. 1, n. 1, p. 32 – 34, 1998.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop e evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56)
- AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W., GREGORIO J. D. Comparatio of Methods for Estimating Potential evapotranspiration. St Joseph. ASAE 1972, 27p. (ASEA Paper, 92-2630)
- CAMARGO, A. P.; 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, p89-97. 1997
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, Estudos FAO Irrigação e Drenagem, n.33, 1994. 306p. (Tradução de H.R. GHEYI).
- HERNANDEZ, F. B. T.; LEMOS FILHO, M. A. F.; BUZETTI, S. Software HIDRISA de Ilha Solteira, Ilha Solteira: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP – Área de Hidráulica e Irrigação, 1995. 45p.
- HOPKINS, W. G. Correlation Coefficient. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>. Acesso: 22 jan. 2007.
- MEDEIROS, S. L. P. Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria –RS. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v.6, n.1, p.105. 1998.
- OLIVEIRA, L. F. C; CARVALHO, D. F; ROMÃO, P. A; CORTÊS, F. C. ESTUDO Comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. Pesquisa Agropecuária Tropical, 31(2): 121-126, 2001. Apoio Funape/UFG
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba - RS: Agropecuária, 2002. 478p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.