

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA O NOROESTE PAULISTA

MARCO ANTÔNIO FONSECA CONCEIÇÃO<sup>1</sup>

Escrito para apresentação no  
XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
02 a 06 de Agosto de 2004 - São Pedro - SP

**RESUMO:** O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO é considerado, atualmente, como o modelo-padrão para a determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Muitos postos meteorológicos, contudo, disponibilizam somente dados de pluviosidade e termometria havendo a necessidade de se utilizar, para cálculo de ET<sub>o</sub>, métodos que empreguem apenas a temperatura do ar como variável de entrada. No presente trabalho foram avaliados diferentes métodos de estimativa de ET<sub>o</sub> com base apenas na temperatura do ar, para as condições da região noroeste do Estado de São Paulo. Os métodos avaliados foram os de Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Blaney-Criddle, Linacre, Camargo e Hargreaves & Samani, que foram comparados com o de Penman-Monteith conforme a parametrização da FAO. Os melhores desempenhos foram alcançados empregando-se o método de Thornthwaite modificado e o de Hargreaves & Samani.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hargreaves-Samani, Irrigação, Penman-Monteith

## COMPARING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION METHODS BASED ON AIR TEMPERATURE FOR NORTHWEST REGION OF SÃO PAULO STATE, BRAZIL

**ABSTRACT:** The FAO Penman-Monteith method is currently considered as the standard model to determine the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). Many weather stations, however, provide only temperature and precipitation data, allowing to use only temperature input methods to estimate ET<sub>o</sub>. In the present work it was evaluated different methods to estimate ET<sub>o</sub> based on air temperature for São Paulo State northwest region conditions. The evaluated methods were the Thornthwaite, Thornthwaite modified, Blaney-Criddle, Linacre, Camargo and Hargreaves & Samani methods. These values were compared with those obtained by the FAO Penman-Monteith method. The best performances were reached using the Thornthwaite modified method and the Hargreaves & Samani method.

**KEYWORDS:** Hargreaves-Samani, Irrigation, Penman-Monteith

**INTRODUÇÃO:** A determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) faz-se necessária para o cálculo do consumo hídrico regional das diferentes culturas. Diversos métodos podem ser empregados para estimar a ET<sub>o</sub>, sendo que o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ET<sub>o</sub>PM) é considerado, atualmente, como o modelo-padrão (Sedyama, 1996; Smith et al., 1996; Allen et al., 1998; Souza, 1998). Muitas estações ou postos agrometeorológicos, contudo, disponibilizam somente séries históricas com dados de pluviosidade e termometria havendo, assim, a necessidade de se utilizar, para cálculo de ET<sub>o</sub>, métodos que empreguem apenas a temperatura do ar como variável de entrada. Dentre esses métodos destacam-se os de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves & Samani (Stone & Silveira, 1995; Pereira et al., 1997; Samani, 2000). O presente trabalho teve como objetivos estimar os valores da evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura, utilizando-se diferentes métodos de determinação, e comparar esses valores com os obtidos pelo modelo de Penman-Monteith-FAO, para as condições do noroeste paulista.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos utilizados, correspondentes a um período de dez anos (1979-1988), foram obtidos junto à Estação Hidrometeorológica da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha das Centrais Elétricas de São Paulo (CESP), situada na latitude 19°53' S, longitude 50° 19' W e altitude de 445 m. Os elementos climáticos disponíveis foram os valores médios mensais de temperaturas máxima (T<sub>máx</sub>), média (T) e mínima (T<sub>mín</sub>) do ar; umidade relativa do ar (UR); número de horas de brilho solar (n); e velocidade do vento a 2m (V<sub>v</sub>). A evapotranspiração de

referência (ETo) foi calculada de acordo com Pereira et al. (2002), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (EToPM), estimando-se a radiação solar incidente com base na relação proposta por Glover & McCulloch (1958), apresentada por PEREIRA et al. (1997). Os métodos utilizados para estimar a ETo foram os de Thornthwaite (EToT), Blaney-Criddle (EToBC), Camargo (EToC), Linacre (EToL) e Hargreaves & Samani (EToHS). Também foi testado o método de Thornthwaite modificado por Camargo et al. (1999) (EToTm), onde a temperatura média do ar foi substituída pela temperatura efetiva que é calculada com base na amplitude térmica local. Esses valores estimados de ETo foram comparados com os de EToPM utilizando-se regressão linear, obtendo-se os respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>). Foi utilizado, também, um coeficiente de confiança “c” proposto por Camargo & Sentelhas (1997), que corresponde à multiplicação do coeficiente de correlação “r” pelo coeficiente de exatidão “d” proposto por Willmott et al. (1985) e descrito por Camargo & Sentelhas (1997). A classificação do desempenho foi realizada com base no critério adotado por Camargo & Sentelhas (1997), tendo sido considerado 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 EToT subestimaram, em geral, os valores de EToPM (Figura 1a), comportamento semelhante ao encontrado por Souza (1998) para oito localidades do Estado do Ceará. Empregando-se o método original (EToT) o valor do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) foi de 0,68, enquanto que utilizando-se o mesmo método modificado (EToTm) o valor de R<sup>2</sup> foi de 0,84 (Figura 1b). Para EToTm o modelo aproximou-se mais da linha 1:1 em relação ao modelo referente a EToT, mostrando um melhor ajuste entre os dados estimados pelo método de Thornthwaite em relação a EToPM. Esse melhor ajuste também foi observado por Camargo et al. (1999) e Medeiros et al. (2003). Os métodos de Blaney-Criddle (EToBC) e Camargo (EToC) apresentaram valores de R<sup>2</sup> de 0,64 (Figura 1c e 1d). O método de Linacre proporcionou um R<sup>2</sup> de 0,71 (Figura 1e). O valor de R<sup>2</sup> obtido empregando-se o método de Hargreaves & Samani (EToHS) foi de 0,84 (Figura 1f). Na Tabela 1 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação “r”, de exatidão “d” e de confiança “c”, para os diferentes métodos empregados para estimar a evapotranspiração de referência (ETo). Os menores valores foram os referentes aos métodos de Camargo (EToC) e Linacre (EToL), classificados como regulares. Os métodos de Thornthwaite (EToT) e Blaney-Criddle (EToBC), apesar de classificados como bons, apresentaram coeficientes “c” iguais a 0,66, sendo esse valor apenas um centésimo acima do obtido pelo método de Linacre (EToL). O método de Hargreaves & Samani (EToHS) apresentou um valor de “c” igual a 0,82. Esse também foi o valor encontrado para o método de Thornthwaite modificado (EToTm), sendo ambos classificados como muito bons. Entretanto, devido à facilidade de cálculo, sugere-se o emprego do método de Hargreaves & Samani para a estimativa da evapotranspiração de referência com base em dados de temperatura do ar na região noroeste do Estado de São Paulo. Esse método tende, também, a ser adotado em outras regiões brasileiras, uma vez que resultados de pesquisas mostraram que ele apresentou o melhor desempenho, quando comparado a outros métodos, em Patrocínio (MG), Barreiras (BA) e Itabaiana (SE) (Souza et al., 2002; Neto, A.C.F. et al., 2003).

TABELA 1 – Valores dos coeficientes de exatidão “d”, de correlação “r” e de confiança “c” e da classificação do desempenho dos diferentes métodos usados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).

Método	“d”	“r”	“c”	Desempenho
ET <sub>oT</sub> <sup>1</sup>	0,81	0,82	0,66	Bom
ET <sub>oTm</sub> <sup>2</sup>	0,90	0,92	0,82	Muito Bom
ET <sub>oBC</sub> <sup>3</sup>	0,82	0,80	0,66	Bom
ET <sub>oC</sub> <sup>4</sup>	0,71	0,80	0,57	Regular
ET <sub>oL</sub> <sup>5</sup>	0,77	0,84	0,65	Regular
ET <sub>oHS</sub> <sup>6</sup>	0,90	0,92	0,82	Muito Bom

<sup>1</sup>Método de Thornthwaite; <sup>2</sup>Método de Thornthwaite modificado; <sup>3</sup>Método de Blaney-Criddle; <sup>4</sup>Método de Camargo; <sup>5</sup>Método de Linacre; <sup>6</sup>Método de Hargreaves & Samani.

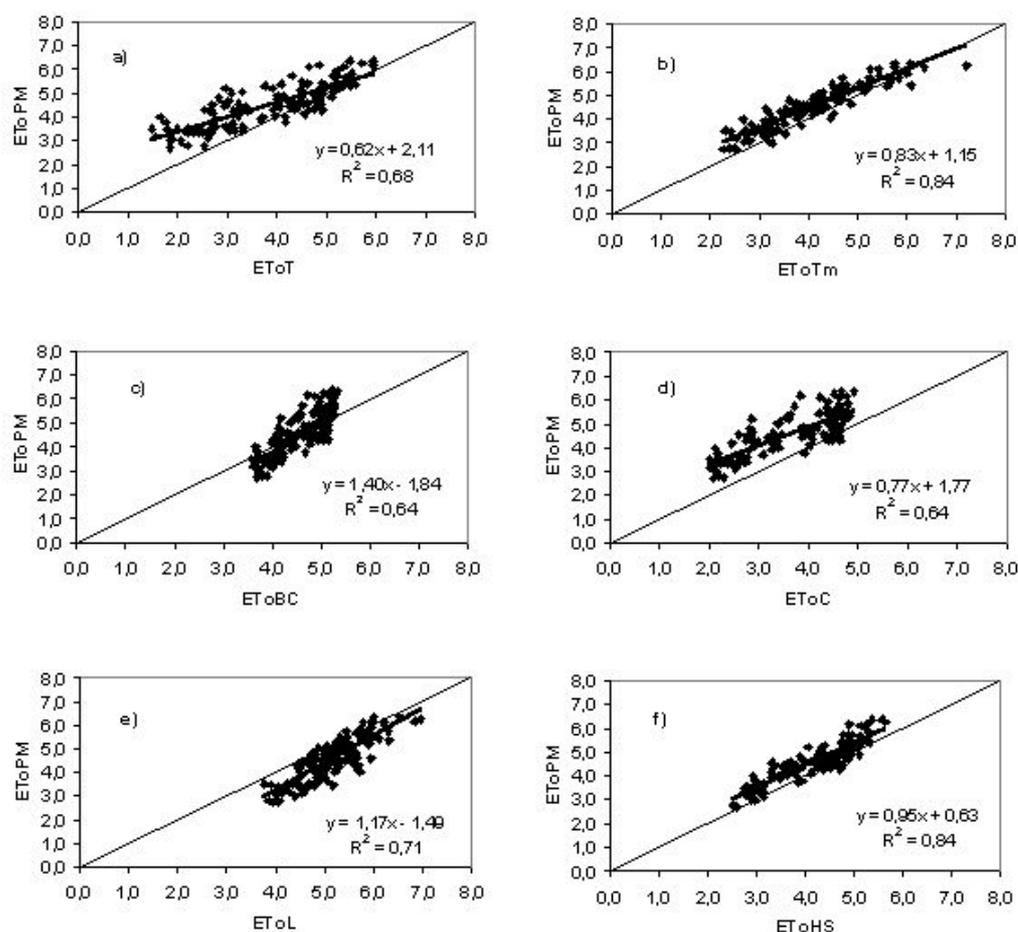


FIGURA 1 – Regressões lineares entre valores calculados pelos métodos de Thornthwaite (ET<sub>oT</sub>) (a), Thornthwaite modificado (ET<sub>oTm</sub>) (b), Blaney-Criddle (ET<sub>oBC</sub>) (c), Camargo (ET<sub>oC</sub>) (d), Linacre (ET<sub>oL</sub>) (e), Hargreaves & Samani (ET<sub>oHS</sub>) (f) em relação ao método padrão de Penman-Monteith ET<sub>oPM</sub> (mm dia<sup>-1</sup>).

**CONCLUSÕES:** Os melhores métodos para estimativa do valor mensal da evapotranspiração de referência foram os de Thornthwaite modificado e o de Hargreaves & Samani, quando comparados ao modelo-padrão de Penman-Monteith parametrizado pela FAO.

## **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).
- 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.
- CAMARGO, A.P. de.; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.2, p.251-257, 1999.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.
- MEDEIROS, A.T.; SENTELHAS, P.C.; LIMA, R. N. de. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba-CE. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.23, n.1, p.31-40, 2003.
- NETO, A.C.F. et al. Comparação entre métodos simplificados de estimativa da ETo nas regiões do Triângulo Mineiro e do Oeste da Bahia. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. Anais... Goiânia: SBEA/UFG/EMBRAPA, 2003. CD-ROM.
- SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, v.126, n.4, p.265-267, 2000.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.4, n.1, p.i-xii, 1996.
- SMITH, M.; ALLEN, R.; PEREIRA, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: Evapotranspiration and irrigation scheduling. CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; YODER, R.E. eds. San Antonio: American Society of Agricultural Engineers, 1996, p.116-123.
- SOUZA, F. Avaliação dos estudos hidroclimatológicos do plano estadual de recursos hídricos do Ceará: I – Evapotranspiração. Irriga, Botucatu, v.3, n.3, p.109-125, 1998.
- SOUZA, R.R.; SOUZA, I.F.; AGUIAR NETTO, A.O. Comparação entre métodos para estimativa da evapotranspiração de referência em Itabaiana-SE. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, 2002, Salvador. Anais... Salvador: SBEA/UFBA/EMBRAPA, 2002. CD-ROM.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 49p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 55).