

ISSN 0104-1347

Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP

Estimating reference evapotranspiration based on air temperature for the low Rio Grande valley conditions, SP, Brazil

Marco Antônio Fonseca Conceição¹

Resumo - O método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO é considerado, atualmente, como o modelo-padrão para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o). Muitas estações meteorológicas, contudo, disponibilizam somente dados de pluviosidade e termometria havendo a necessidade de se utilizarem, para cálculo de ET_o, métodos que empreguem apenas a temperatura do ar como variável de entrada. No presente trabalho foram avaliados diferentes métodos de estimativa de ET_o com base apenas na temperatura do ar, para as condições do Baixo Rio Grande, região noroeste do Estado de São Paulo. Os métodos avaliados foram os de Thornthwaite, Thornthwaite modificado, Blaney-Criddle, Linacre, Camargo, Hargreaves & Samani e Hargreaves & Samani modificado. Esses valores foram comparados com os obtidos utilizando-se o modelo de Penman-Monteith, conforme a parametrização da FAO. Os melhores desempenhos foram obtidos empregando-se o método de Thornthwaite modificado e o de Hargreaves & Samani.

Palavras-chave: demanda hídrica, modelos, Penman-Monteith.

Abstract - The FAO Penman-Monteith method is currently considered as the standard model to determine the reference evapotranspiration (ET_o). Many weather stations, however, provide only temperature and precipitation data, allowing to use only temperature input methods to estimate ET_o. In the present work the following methods to estimate ET_o based on air temperature were evaluated for the low Rio Grande valley conditions, in comparison to the values obtained by the Penman-Monteith/FAO method: Thornthwaite, modified Thornthwaite, Blaney-Criddle, Linacre, Camargo, Hargreaves & Samani and Hargreaves & Samani modified methods. The best performances were obtained using the modified Thornthwaite and the Hargreaves & Samani methods.

Key words: models, Penman-Monteith, water requirement.

Introdução

A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) faz-se necessária para o cálculo do consumo hídrico regional das diferentes culturas. Diversos métodos podem ser empregados para estimar a ET_o, sendo que o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ET_oPM) é considerado, atualmente, como o modelo-padrão (SEDIYAMA, 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 utilizarem, para cálculo de ET_o, 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).

¹Pesquisador Embrapa Uva e Vinho – Estação Experimental de Viticultura Tropical – Caixa Postal 241 – CEP 15700-000 – Jales, SP, E-mail: marcoafc@cnpuv.embrapa.br

O método de Thornthwaite foi um dos primeiros desenvolvidos para estimar a evapotranspiração potencial de uma região (PEREIRA et al., 1997). Esse método apresentou um bom desempenho para as condições subtropicais úmidas do interior paulista, quando comparado a dados obtidos em evapotranspirômetros (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). CAMARGO et al. (1999) apresentaram uma modificação desse método para regiões áridas e superúmidas, substituindo a temperatura média diária por uma variável denominada temperatura efetiva que representa a amplitude térmica diária. O método de Camargo foi desenvolvido com base no método de Thornthwaite e apresentou, também, resultados satisfatórios em comparação aos valores medidos em evapotranspirômetros no interior de São Paulo (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

O método de Blaney-Criddle foi desenvolvido para áreas áridas e semi-áridas sendo empregado em diferentes regiões do mundo. O uso apenas da temperatura como variável de entrada, conforme apresentado por STONE & SILVEIRA (1995), pode contudo, levar a erros em regiões com outras condições climáticas. Por essa razão surgiram adaptações do método e nelas se empregam, além da temperatura do ar, tabelas de correção levando-se em consideração os valores da umidade relativa mínima do ar, da razão de insolação e da velocidade do vento (DOORENBOS & PRUITT, 1997).

O método de Linacre é uma simplificação do método de Penman, onde variáveis como radiação líquida e déficit de saturação, foram substituídas por funções da temperatura do ar. Além das simplificações adotadas há, também, uma expressão empírica usada para calcular a diferença entre a temperatura média e a temperatura de ponto de orvalho ("T-To"), que foi desenvolvida a partir de dados obtidos em diferentes localidades da África e América do Sul (PEREIRA et al., 1997).

O método de Hargreaves & Samani foi desenvolvido na Califórnia em condições semi-áridas, a partir de dados obtidos em lisímetros com gramado (PEREIRA et al., 1997). A equação empregada utiliza um coeficiente empírico fixo para regiões costeiras e outro para regiões continentais. SAMANI (2000) desenvolveu uma equação quadrática, a partir de dados de 65 estações climatológicas nos Estados Unidos, para ajustar esse coeficiente empírico em função da amplitude térmica da região analisada.

Neste trabalho teve-se como objetivos estimar os valores da evapotranspiração de referência a

partir de dados médios mensais 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.

Metodologia

Os dados meteorológicos utilizados, correspondentes a um período de dez anos, foram obtidos na 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. A Usina está localizada na região do Baixo Rio Grande, noroeste do Estado de São Paulo. De acordo com a classificação de Köppen, apresentada por PEREIRA et al. (2002), o clima na região é classificado como megatérmico ou tropical úmido do tipo Aw, com inverno seco e chuvas máximas de verão.

Os elementos climáticos disponíveis foram os valores médios mensais de temperaturas máxima (T_{máx}), média (T) e mínima (T_{mín}); umidade relativa do ar (UR); número de horas de brilho solar (n); velocidade do vento a 2m (V_v), e evaporação do Tanque Classe A (ECA). A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada de acordo com PEREIRA et al. (2002), utilizando-se o modelo de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ET_oPM):

$$ET_{oPM} = \frac{0,408s(Rn - G) + \frac{g900U_2(e_s - e_a)}{T + 273}}{s + g(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que "s" é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa °C⁻¹); "Rn" é a radiação líquida total diária (MJ m² dia⁻¹); "G" é o fluxo de calor no solo (MJ m² dia⁻¹), tendo sido considerado igual a zero; "γ" é o coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹); "U₂" é a velocidade do vento, a 2 m de altura (m s⁻¹); "e_s" é a pressão de saturação de vapor (kPa); "e_a" é a pressão parcial de vapor (kPa); e "T" é a temperatura média do ar (°C). A radiação líquida (Rn) foi estimada pela expressão: Rn = Rns+Rb, em que "Rns" é a radiação de ondas curtas (MJ m² dia⁻¹) e "Rb" é a radiação de ondas longas (MJ m² dia⁻¹). Os valores de "Rns" foram calculados pela expressão (PEREIRA et al., 1997): Rns = 0,77Rs, em que "Rs"

é a radiação global incidente ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). O valor de R_s , por sua vez, foi determinado pela relação proposta por Glover & McCulloch (1958) (PEREIRA et al., 1997): $R_s = Q_0(0,29 \cos \phi + 0,52 n/N)$ em que “ Q_0 ” é a radiação solar extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); “ ϕ ” é a latitude do local em graus; “ n ” é o número de horas de brilho solar; e “ N ” é a duração astronômica do dia, em horas. O valor da radiação de ondas longas (R_b) foi calculado pela expressão:

$$R_b = -0,5(0,9 n/N + 0,1)(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) 4,903 \cdot 10^{-9} ((T_{\max} + 273)^4 + (T_{\min} + 273)^4)$$

apresentada por PEREIRA et al. (1997), com todas as variáveis já definidas anteriormente.

Os métodos utilizados para estimar a ETo foram os de Thornthwaite, Blaney-Criddle, Camargo, Linacre e Hargreaves & Samani. Também foram testados os métodos de Thornthwaite modificado por CAMARGO et al. (1999) e o método de Hargreaves & Samani utilizando uma função apresentada por SAMANI (2000) para corrigir o coeficiente empírico com base na amplitude térmica.

Para o método de Thornthwaite utilizou-se a expressão apresentada por STONE & SILVEIRA (1995):

$$E_{ToT} = 16(D/Nd)(10 T/I)^a \quad (2)$$

em que “ E_{ToT} ” é a evapotranspiração de referência mensal, segundo o método de Thornthwaite (mm dia^{-1}); “ D ” fator de ajuste, conforme o mês do ano e a latitude (tabela apresentada por STONE & SILVEIRA, 1995); “ Nd ” é o número de dias do mês; “ T ” é a temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); “ I ” é o índice de calor anual, correspondente à soma dos 12 índices mensais “ i ”, sendo $i = (T/5)^{1,514}$; e “ a ” é uma função cúbica de “ T ”, sendo calculada pela expressão:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} I^3 - 0,771 \cdot 10^{-4} I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Foi também testado o método de Thornthwaite modificado por CAMARGO et al. (1999), empregando-se a temperatura efetiva “ T_{ef} ” no lugar de “ T ”, em que $T_{ef} = 0,36(3 T_{\max} - T_{\min})$. A evapotranspiração obtida, utilizando-se “ T_{ef} ”, foi denominada “ E_{ToTm} ”.

Para o método de Blaney-Criddle foi empregada a expressão apresentada por STONE & SILVEIRA (1995), dividindo-a pelo número de dias do mês (Nd):

$$E_{ToBC} = K P (0,457 T + 8,13) / Nd \quad (3)$$

em que “ E_{ToBC} ” é a evapotranspiração de referência mensal, segundo o método de Blaney-Criddle (mm dia^{-1}); “ K ” é o coeficiente que varia conforme a cultura (foi empregado um valor de “ K ” ajustado empiricamente por meio de regressão linear); e “ P ” é a porcentagem do fotoperíodo mensal em relação ao fotoperíodo anual (Tabela apresentada por STONE & SILVEIRA, 1995).

Para o método de Camargo, foi empregada a expressão (PEREIRA et al. 1997):

$$E_{ToC} = F Q_0 T \quad (4)$$

em que “ E_{ToC} ” é a evapotranspiração de referência segundo Camargo (mm dia^{-1}); “ F ” é o fator de ajuste que varia com “ T ” anual (foi empregado um valor de “ F ” igual a 0,0105 correspondente a um valor de “ T ” igual a 24°C); e “ Q_0 ” é a radiação solar extraterrestre expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}) no mês considerado (tabela apresentada por PEREIRA et al., 1997).

O método de Linacre foi calculado segundo a expressão (PEREIRA et al., 1997):

$$E_{ToL} = (500(T + 0,006h) / (100 - f) + 15(T - T_0)) / (80 - T) \quad (5)$$

em que “ E_{ToL} ” é a evapotranspiração de referência segundo Linacre (mm dia^{-1}); “ h ” é a altitude do local (m); “ ϕ ” é a latitude do local em módulo (graus); e “ T_0 ” é a temperatura média mensal do ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$). O valor de $(T - T_0)$ foi calculado empregando-se a expressão:

$$(T - T_0) = 0,0023 h + 0,37 T + 0,53(T_{\max} - T_{\min}) + 0,35 R - 10,9$$

em que “ R ” é a diferença entre as temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios ($^{\circ}\text{C}$). Para efeito de comparação, o valor de “ T_0 ” também foi calculado utilizando-se a expressão:

$$T_0 = (237,3 \text{ Log}(e_a/0,6108)) / (7,5 - (\text{Log } e_a/0,6108))$$

em que “ e_a ” é a pressão parcial de vapor. A evapotranspiração determinada empregando-se esse valor de “ T_0 ” foi denominada E_{ToLm} .

O método de Hargreaves & Samani foi descrito por SAMANI (2000) da seguinte forma:

$$ET_{oHS} = 0,0135 K_t Q_o (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T + 17,8) \quad (6)$$

em que “ ET_{oHS} ” é a evapotranspiração de referência de acordo com o método de Hargreaves & Samani ($mm \text{ dia}^{-1}$); e “ K_t ” é um coeficiente empírico. Foi empregado um valor de “ K_t ” para regiões continentais igual a 0,162. Também foi utilizada uma função desenvolvida por SAMANI (2000), em que:

$$K_t = 0,00185 (T_{max} - T_{min})^2 - 0,0433 (T_{max} - T_{min}) + 0,4023$$

O valor de “ ET_{oHS} ” empregando essa expressão para “ K_t ” foi denominado “ ET_{oHSc} ”.

Esses valores estimados de ET_o foram comparados com os de ET_{oPM} utilizando-se regressão linear, obtendo-se assim os respectivos coeficientes de determinação (R^2). Foi utilizado, também, um coeficiente de desempenho “ 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) da seguinte forma:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right\} \quad (7)$$

em que “ P_i ” são os valores estimados; “ O_i ” são os valores obtidos utilizando-se o modelo de Penman-Monteith-FAO (ET_{oPM}); e “ O ” é a média dos valores de ET_{oPM} . 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 da evapotranspiração de referência calculada pelo método padrão de Penman-Monteith (ET_{oPM}), correlacionados com os obtidos pelo do método de Thornthwaite (ET_{oT}), estão apresentados na Figura 1. Os valores de ET_{oT} subestima-

ram, em geral, os valores de ET_{oPM} , comportamento semelhante ao encontrado por SOUZA (1998) para oito localidades do Estado do Ceará. Empregando-se o método original (ET_{oT}) o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,6777, enquanto que ao se utilizar o mesmo método modificado (ET_{oTm}), de acordo com CAMARGO et al. (1999), o valor de R^2 foi de 0,8401. Para ET_{oTm} o modelo aproximou-se mais da linha 1:1 em relação ao modelo referente à ET_{oT} , o que mostrou um melhor ajuste entre os dados estimados pelo método de Thornthwaite em relação a ET_{oPM} (Figura 1). Esse melhor ajuste também foi observado por CAMARGO et al. (1999) e MEDEIROS et al. (2003).

Os métodos de Blaney-Cridle (ET_{oBC}) e Camargo (ET_{oC}) apresentaram valores de R^2 próximos, sendo iguais a 0,6412 e 0,6423, respectivamente (Figura 2). O valor do coeficiente “ K ” empregado para cálculo de ET_{oBC} (eq. 3) variou conforme a cultura a ser avaliada. Como na Tabela apresentada por STONE & SILVEIRA (1995) não há nenhum valor específico para gramados, o valor de “ K ” foi, então, ajustado empiricamente por meio de uma regressão linear em relação a ET_{oPM} com a reta passando pela origem, resultando em um valor igual a 0,85. Já os valores de ET_{oC} subestimaram, em geral, os valores de ET_{oPM} , apresentando um menor ajuste à reta 1:1 em relação aos valores de ET_{oBC} .

No método de Linacre o uso da expressão empírica para determinar a diferença entre a temperatura média do ar e a temperatura do ponto de orvalho ($T - T_o$) proporcionou um R^2 igual a 0,7108, enquanto que, empregando-se o valor de “ T_o ” determinado com base na pressão parcial de vapor (e obteve-se um R^2 igual a 0,7470 e um melhor ajuste em relação à reta 1:1 (Figura 3). Isso mostra que pode ser desenvolvida uma nova expressão empírica para cálculo de “ $T - T_o$ ” que seja ajustada às condições locais a serem avaliadas.

O valor de R^2 obtido empregando-se o método de Hargreaves & Samani (ET_{oHS}) foi igual a 0,8435, enquanto que utilizando o método de Hargreaves & Samani corrigido (ET_{oHSc}) empregando-se a função apresentada por SAMANI (2000), o valor foi igual a 0,7382 (Figura 4). Além do maior valor de R^2 , os valores de ET_{oHS} apresentaram um melhor ajuste à reta 1:1 do que os obtidos usando a função quadrática proposta por SAMANI (2000) para cálculo de “ K_t ” (eq. 6). Essa função quadrática empírica foi obtida visando, principalmente, corrigir

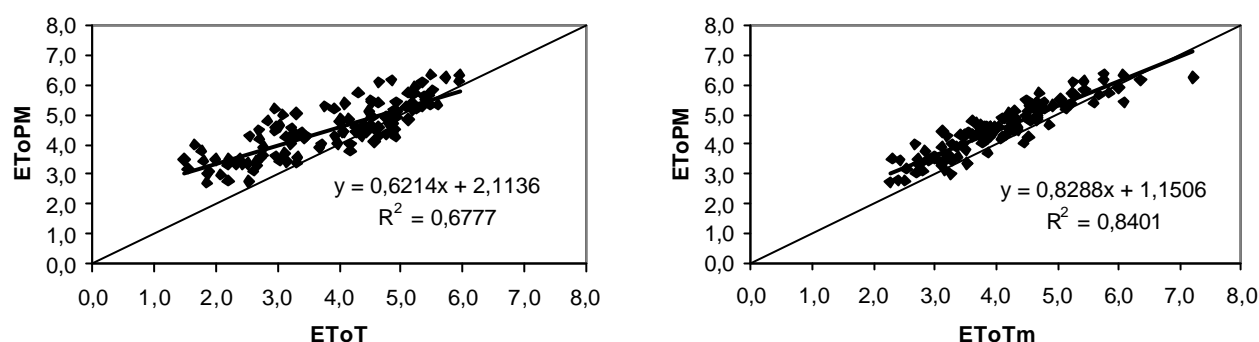


Figura 1. Regressões lineares entre valores calculados pelos métodos de Thornthwaite (EToT) e Penman-Monteith (EToPM) e entre os valores calculados pelos métodos de Thornthwaite modificado (EToTm) e EToPM (mm dia⁻¹).

o valor de EToHS para regiões secas nos quais a amplitude térmica normalmente excede 14°C (SAMANI, 2000). No caso da região noroeste paulista, a amplitude térmica é, normalmente, inferior a esse valor, apresentando uma média de 10,5° com um desvio padrão igual a 1,7°C.

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação “r”, de exatidão “d” e de desempenho “c”, para os diferentes métodos empregados para estimar a evapotranspiração de referência (ETo).

Os piores desempenhos 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 Linacre modificado (EToLm) apresentou um coeficiente “c” igual a 0,74, classificado como de bom desempenho. Esse método, contudo, foi utilizado apenas para efeito comparativo, uma vez que nele foi empregado, além da temperatura do ar, a pressão parcial de vapor e_a . Com base nesse resultado e no valor de R obtido (Figura 3), evidenciou-se a importância de se obter uma expressão empírica referente à “T-To” apropriada à região estudada.

O método de Hargreaves & Samani corrigido pela função quadrática para cálculo de “Kt” (EToHSc) também apresentou um bom desempenho, com valor de “c” igual a 0,71. Esse desempenho, contudo, foi inferior ao do método original de Hargreaves & Samani (EToHS), que apresentou um valor de “c” igual a 0,82. Esse também foi o valor encontrado para o método de Thornthwaite modificado (EToTm) por CAMARGO et al. (1999), ambos classificados como muito bons.

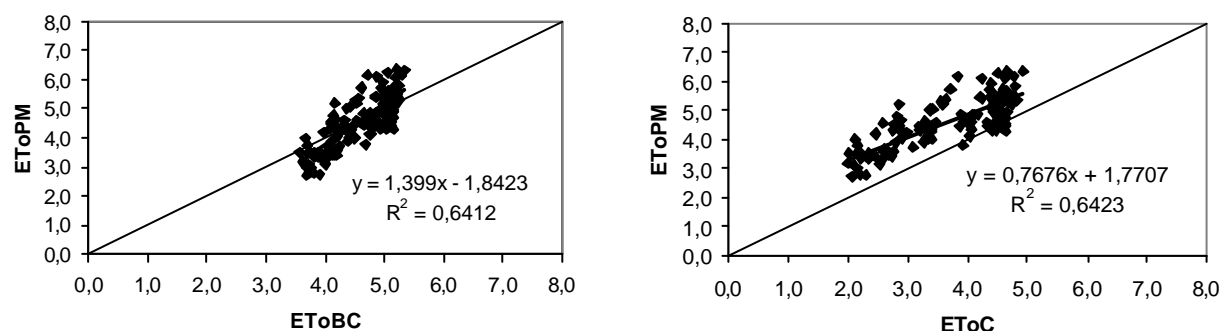


Figura 2 Regressões lineares entre valores calculados pelos métodos de Blaney-Criddle (EToBC) e Penman-Monteith (EToPM) e entre os valores calculados pelos métodos de Camargo (EToC) e EToPM (mm dia⁻¹).

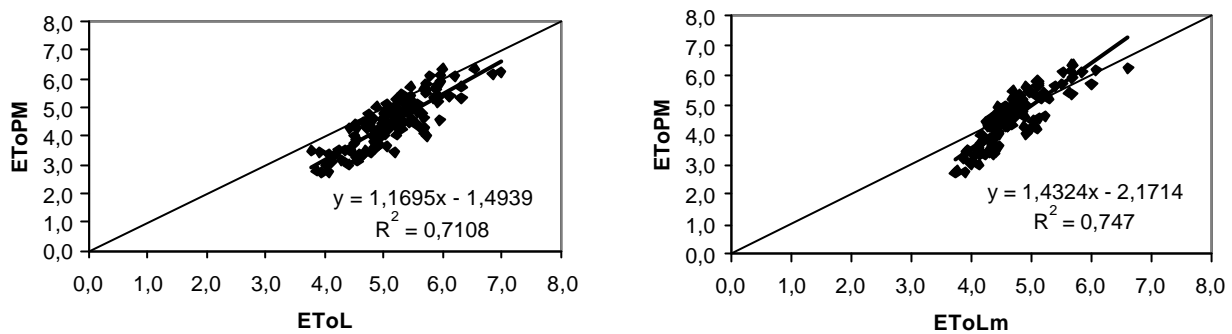


Figura 3. Regressões lineares entre valores calculados pelos métodos de Linacre (EToL) e Penman-Monteith (EToPM) e entre os valores calculados pelos métodos de Linacre modificado (EToLm) e EToPM (mm dia⁻¹).

Os métodos que empregam somente a temperatura do ar limitam a representatividade das condições climáticas para efeito de estimativa da evapotranspiração de referência. Isso porque, conforme as condições de umidade e ventos, a demanda hídrica da atmosfera será diferente para os mesmos valores da temperatura do ar. Essas observações são válidas, principalmente, para os métodos de Thornthwaite (EToT), Camargo (EToC), Linacre (EToL) e Blaney-Criddle (EToBC). O método de Linacre modificado (EToLm) não pode ser comparado aos demais, nesse caso, uma vez que para ele foram empregados, também, valores da pressão parcial de vapor (e_a).

No caso do método de Blaney-Criddle, DOORENBOS&PRUIT (1997) apresentaram uma adaptação considerando-se também, além da temperatura média do ar, ajustes para valores altos, médios e baixos da umidade relativa do ar e para valores fortes, moderados e fracos da velocidade diurna do ven-

to. Essas adaptações, que poderiam melhorar o desempenho do método, não foram entretanto, utilizadas neste trabalho por desejar relacionar-se apenas informações referentes à temperatura do ar na estimativa de ETo.

Já os métodos de Hargreaves & Samani (EToHS e EToHSc) e o de Thornthwaite modificado (EToTm) foram desenvolvidos para condições climáticas mais específicas. O método de Hargreaves & Samani (EToHS) foi desenvolvido com base em dados obtidos nas condições semi-áridas da Califórnia (PEREIRA et al., 1997), que se assemelham, até certo ponto, às condições encontradas no noroeste paulista entre os meses de abril e novembro, quando ocorre, normalmente, um déficit hídrico acentuado e uma frequência reduzida de precipitações pluviais. Além disso, de acordo com SAMANI (2000), a amplitude térmica utilizada no método ($T_{max} - T_{min}$) reflete, de forma implícita, a umidade relativa do ar. Por outro lado, conforme mencionado anteriormen-

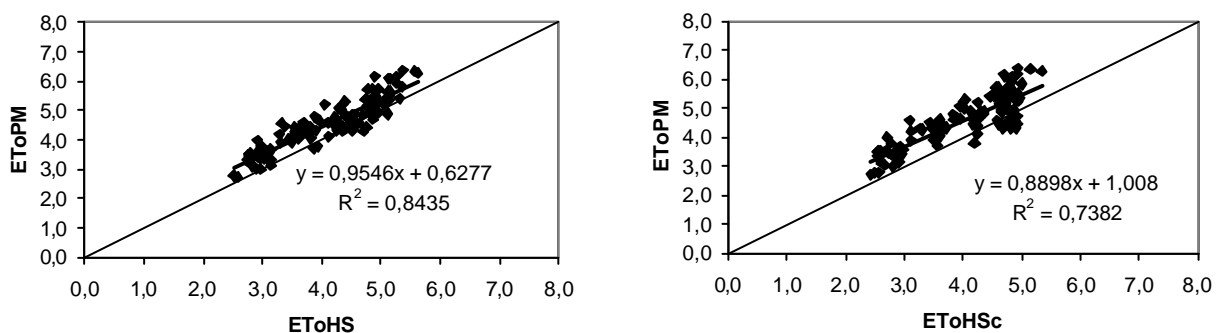


Figura 4. Regressões lineares entre valores calculados pelos métodos de Hargreaves & Samani (EToHS) e Penman-Monteith (EToPM) e entre os valores calculados pelos métodos de Hargreaves & Samani corrigido pela função quadrática (EToHSc) e EToPM (mm dia⁻¹).

Tabela 1. Valores dos coeficientes de exatidão “d”, de correlação “r” e de desempenho “c” e classificação do desempenho dos diferentes métodos usados para a estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).

Método	“d”	“r”	“c”	Classificação
EToT ¹	0,81	0,82	0,66	Bom
EToTm ²	0,90	0,92	0,82	Muito Bom
EToBC ³	0,82	0,80	0,66	Bom
EToC ⁴	0,71	0,80	0,57	Regular
EToL ⁵	0,77	0,84	0,65	Regular
EToLm ⁶	0,86	0,86	0,74	Bom
EToHS ⁷	0,90	0,92	0,82	Muito Bom
EToHSc ⁸	0,83	0,86	0,71	Bom

¹Método de Thornthwaite; ²Método de Thornthwaite modificado; ³Método de Blaney-Criddle; ⁴Método de Camargo; ⁵Método de Linacre; ⁶Método de Linacre modificado; ⁷Método de Hargreaves & Samani; ⁸Método de Hargreaves & Samani corrigido.

te, as correções apresentadas por SAMANI (2000) para esse método (EToHSc) não proporcionaram melhor desempenho em relação ao método original (EToHS) por representarem condições com amplitudes térmicas superiores às encontradas no Baixo Rio Grande.

No método de Thornthwaite modificado (EToTm), que foi desenvolvido para regiões áridas e superúmidas, também foram utilizados valores da amplitude térmica do ar. Várias regiões brasileiras, à semelhança do noroeste paulista, apresentam um período anual de déficit hídrico acentuado seguido por outro com alta intensidade de precipitação, assemelhando-se, de certa maneira, às condições para as quais o método foi desenvolvido. Por essa razão, CAMARGO et al. (1999) obtiveram com o método de Thornthwaite modificado (EToTm), para diferentes localidades brasileiras, um coeficiente médio de desempenho (c) igual a 0,82, enquanto que o valor médio de “c” utilizando-se o método original de Thornthwaite (EToT) foi igual a 0,66. Esses valores médios foram iguais aos obtidos neste trabalho (Tabela 1) e refletem a boa adaptação do método de Thornthwaite modificado por CAMARGO et al. (1999) às condições brasileiras, em geral.

Deve observar-se, todavia, que para a região do Baixo Rio Grande nenhum dos métodos avaliados conseguiu obter um desempenho classificado como ótimo, que foi o obtido por CONCEIÇÃO (2002), sob as mesmas condições, com o método do Tanque Classe A. Isso reflete a limitação dos métodos que empregam somente valores de temperatura do ar em relação a outros que utilizam dados mais representativos das condições meteorológicas locais.

Conclusão

Na região do Baixo Rio Grande, SP, os métodos de Thornthwaite modificado e de Hargreaves & Samani apresentam os melhores desempenhos para a estimativa mensal da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar, em comparação ao modelo-padrão de Penman-Monteith parametrizado pela FAO.

Referências bibliográficas

- ALLEN R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 178 p.(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. et al. 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.
- CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration **based on Class A pan evaporation** *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 417-420, 2002.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas.** Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).

- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- 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.
- 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.
- STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da. **Determinação da evapotranspiração para fins de irrigação**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1995. 49 p. (EMBRAPA-CNPAF. Documentos, 55).