

## MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO PARA A REGIÃO NORDESTE DO BRASIL

Alexandre Hugo Cezar Barros<sup>1</sup>, Aline de Holanda Nunes Maia<sup>2</sup>, Quirijn de Jong Van Lier<sup>3</sup>, Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>4</sup>, Fábio Vale Scarpere<sup>5</sup>

<sup>1,5</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutorando do curso de pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. - alex@cnpq.embrapa.br, fvscarpa@esalq.usp.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente - ahmaia@cnpma.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor Associado do Departamento de Engenharia Rural da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. - qdjvlier@esalq.usp.br

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Meio Norte - aderson@cpamn.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:** No estudo da evapotranspiração potencial (ETP) são utilizados métodos que, na maioria dos casos, não se aplicam satisfatoriamente à região Nordeste, entre eles, o método de Thornthwaite, que em condições de extrema aridez ou umidade não produz estimativas confiáveis. O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de Thornthwaite, Camargo original - 1971, Camargo Tef (corrigido pela temperatura média mensal) e Hargreaves e Samani (HS) com o método de Penman-Monteith, padrão FAO, segundo a parametrização de ALLEN *et al.* (1998). Como critério de comparação, foi utilizado o índice de (*c*), que considera o viés e precisão das estimativas. Foram observados valores de *c* inferiores a 0,40 (péssimo) para os métodos de Thornthwaite e Camargo-71 e superiores a 0,80 (muito bom) para Hargreaves-Samani (HS) e Camargo-Tef. No entanto, o método HS apresentou maior frequência de índices de confiança (*c*) superiores a 0,80 (muito bom) nas avaliações mensais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Penman-Monteith, Thornthwaite, Hargreaves & Samani, semi-árido

### Evaluation of Evapotranspiration Methods to Brazil Northeast

**ABSTRACT:** Frequently used methods to estimate potential evapotranspiration (ETP) are not applicable, in many cases, to the Northeast of Brazil. Examples are the Thornthwaite method, very common in agrometeorological studies. However, the Thornthwaite equation does not yield reliable estimates for ETP under extremely dry conditions. The aim of this work was to evaluate the ETP calculation methods by Thornthwaite, Camargo original (1971), Camargo Tef (corrected by the mean monthly temperature) and Hargreaves & Samani as compared to the estimates by the Penman-Monteith method, following parameterization by ALLEN *et al.* (1998). The index (*c*) was used to compare the estimates. The results show that the methods by Thornthwaite and Camargo-71 have low and very low reliability indexes. Hargreaves-Samani (HS) and Camargo-Tef were greater than 0,80 (very good), where the performance of HS was greater than 0,90 (excellent) during many months of the year.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, methods, northeast, Brazil

**INTRODUÇÃO:** No estudo da evapotranspiração potencial (ETP) são utilizados métodos que, na maioria dos casos, não se aplicam satisfatoriamente à região Nordeste, como por exemplo, o método de Thornthwaite que em situações de aridez ou umidade extremas não fornece estimativas confiáveis de ETP (CAMARGO e PICINI, 1995). SEDYAMA *et al.*, (1997) assinalam a incerteza das estimativas de ETP por métodos indiretos é inversamente proporcional à escala de tempo. Os erros mensais, por exemplo, são bem menores que os erros diários. BURMAN e POCHOP (1994) demonstram que os métodos que utilizam a radiação ao invés da temperatura resultam em estimativas mais precisas. PEREIRA e CAMARGO (1989), por sua vez, afirmam que para escalas de tempo superiores a quinze dias, o uso da radiação ao contrário da temperatura não implica em melhoria da precisão. Nesse caso, as equações que utilizam a temperatura produzem resultados satisfatórios. Uma análise crítica sobre métodos para estimar evapotranspiração é apresentada em SEDYAMA *et al.*, (1997). Esses autores concluem que o desempenho relativo dos métodos é muito variável, dependendo da similaridade entre as condições climáticas dos locais onde os métodos foram desenvolvidos e onde serão aplicados. Isso se constitui numa das limitações para a escolha do melhor método. Nesse sentido, fazem-se necessários estudos que avaliem o desempenho de métodos empíricos para diferentes condições climáticas. O objetivo deste trabalho foi comparar os métodos de Thornthwaite, CAMARGO (1971), Camargo Tef (corrigido pela temperatura média mensal) e HARGREAVES e SAMANI com o método de Penman-Monteith, padrão FAO, segundo a parametrização de ALLEN *et al.* (1998).

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os valores das médias mensais da temperatura ( $T_m$ ) do ar, para os locais onde não se dispunha de dados, foram estimados por um modelo de regressão polinomial, utilizando a latitude ( $\phi$ ), a longitude ( $\lambda$ ) e a altitude ( $\xi$ ) como variáveis independentes, ou seja:

$$T_m = A_m + B_m \phi + C_m \lambda + D_m \xi + E_m \phi^2 + F_m \lambda^2 + G_m \xi^2 + H_m \lambda \phi + I_m \lambda \xi + J_m \phi \lambda$$

Modelos similares foram utilizados para estimar as médias das temperaturas mínima e máxima do ar em cada mês ( $m = 1, 2, 3...12$ ) e ano ( $m=13$ ), em cada posto pluviométrico (VAREJÃO-SILVA, 2005). Os postos termo-pluviométricos utilizados para a estimação de evapotranspiração potencial (ETP) na região Nordeste são ilustrados na figura 1. Os procedimentos utilizados para estimar a ETP (Thornthwaite; Camargo 71; Camargo - Tef; Hargreaves-Samani e Penman-Monteith) são descritos em ALLEN *et al.* (1998) e PEREIRA (2002). As equações para estimar a evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, considerando as pressuposições básicas propostas são apresentadas a seguir:

$$s = \frac{(4098 * e_s)}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad \text{eq(1)}$$

$$e_a = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,3 * T_{min}}{237,3 + T_{min}}\right)} \quad \text{eq(2)}$$

$$e_{s(T_{max})} = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,3 * T_{max}}{237,3 + T_{max}}\right)} \quad \text{eq(3)}$$

$$e_{s(T_{min})} = 0,6108 * e^{\left(\frac{17,3 * T_{min}}{237,3 + T_{min}}\right)} \quad \text{eq(4)}$$

$$e_s = e_{s(T_{max})} - e_{s(T_{min})} \quad \text{eq(5)}$$

$$G_{mes,i} = 0.14(T_{mes,i} - T_{mes,i-1}) \quad \text{eq(6)}$$



Figura 1. Distribuição dos postos utilizados para a estimação da evapotranspiração na região Nordeste do Brasil.

De acordo com a parametrização de ALLEN *et al.*, (1998), quando os dados de umidade  $e$ , ou pressão de vapor estão faltando ou são de qualidade duvidosa, a pressão de vapor atual,  $e_a$ , pode ser obtida assumindo-se que a temperatura do ponto de orvalho ( $T_o$ ) está próximo da temperatura do ar mínima diária ( $T_{min}$ ). Assume-se que  $T_o$  ocorre próximo ao nascer do sol, quando a temperatura do ar é aproximadamente igual a  $T_{min}$  e o ar está quase saturado com vapor de água. Porém, particularmente para regiões áridas, o ar pode não estar saturado quando sua temperatura é mínima. Conseqüentemente, a  $T_{min}$  pode ser maior do que a  $T_o$ , assim é exigida uma calibração adicional para calcular a temperatura do ponto de orvalho. Nestas situações,  $T_{min}$  da equação (2) deve ser melhor aproximada subtraindo 2-3 °C. Para quantificar o grau de concordância entre as estimativas da evapotranspiração dos métodos avaliados e as estimativas de Penman-Monteith (PM), os seguintes índices de desempenho foram utilizados: índice de Willmott ( $d$ ) (Willmott, 1981), coeficiente de correlação ( $r$ ), e índice de concordância  $c$  de Camargo e Sentelhas (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A Figura 2 ilustra os erros médios absolutos (EMA, %) anuais das estimativas da ETP derivadas de cada um dos métodos avaliados, relativos ao método de PM. Os maiores valores de EMA foram observados para os métodos de Camargo-71 (11%) e Thornthwaite (18%). De fato, os métodos de Thornthwaite e Camargo-71 na sua concepção são bastante semelhantes, pois o Camargo-71 trata-se de uma adaptação da equação original de Thornthwaite. Esse comportamento foi semelhante ao encontrado por SOUZA (1998) para localidades do Estado do Ceará. O método de Camargo-Tef, cuja temperatura (índices térmicos) foi corrigida, o desempenho é superior. Para métodos de Hargreaves-Samani (HS) e Camargo-Tef (Tef), o EAM foi de aproximadamente 5%. Apesar das magnitudes semelhantes, o HS superestima enquanto o Camargo-Tef subestima os valores de ETP. Quando se comparam os

métodos ao longo dos meses (Figura 3), verifica-se que o desempenho de Camargo-Tef foi melhor nos meses úmidos (estação chuvosa) e Hargreaves-Samani foi melhor nos meses mais secos e quentes da região Nordeste.

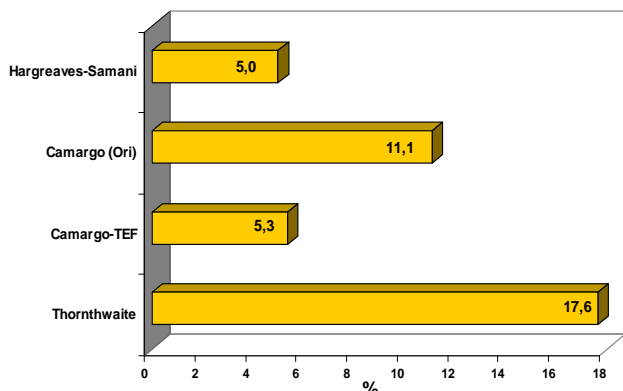


Figura 2 - Erros médios absolutos (%) anuais das estimativas de ETP dos métodos avaliados, comparados ao método de PM

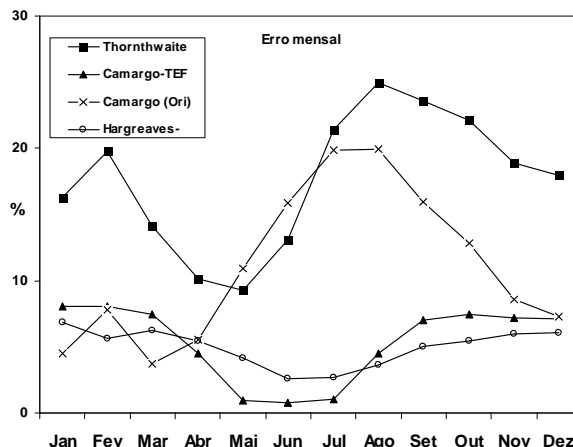


Figura 3 - Erros médios absolutos (%) mensais das estimativas de ETP dos métodos avaliados, comparados ao método de PM

A tabela 1 mostra os índices de concordância ( $c$ ) calculados mensalmente para a região Nordeste. As médias anuais dos índices  $c$  para os métodos de Camargo-Tef e de Hargreaves-Samani foram 0,80 (muito bom) e 0,90 (ótimo), respectivamente. Observa-se que o desempenho de HS foi superior a 0,80 em todos os meses do ano, provavelmente, devido ao fato desse método ter sido desenvolvido em condições climáticas similares às do Nordeste Brasileiro.

Tabela 1. Valores do índice de concordância ( $c$ ) entre o método de Penman-Monteith (PM) e os métodos de Thornthwaite, Camargo, Camargo (TEF) e Hargreaves-Samani para a região Nordeste.

Meses/Métodos	Thornthwaite	Camargo	Camargo Tef	Hargreaves-Samani
Jan	0,12	0,16	0,65	0,84
Fev	0,18	0,18	0,79	0,88
Mar	0,10	0,10	0,75	0,85
Abr	0,14	0,18	0,8	0,87
Mai	0,30	0,32	0,89	0,93
Jun	0,38	0,37	0,87	0,95
Jul	0,42	0,41	0,88	0,96
Ago	0,43	0,44	0,9	0,96
Set	0,43	0,48	0,88	0,95
Out	0,39	0,45	0,86	0,93
Nov	0,29	0,35	0,76	0,88
Dez	0,15	0,17	0,64	0,83
Média	0,27	0,29	0,8	0,90

O método de Camargo-Tef apresentou índices  $c$  inferiores a 0,70 em alguns meses. Como todos os métodos foram avaliados utilizando temperaturas estimadas via modelos de regressão, é provável que as diferenças, principalmente entre PM, Hargreaves-Samani e TEF representem apenas o termo energético das equações, sendo necessário testar os termos aerodinâmicos.

CONCLUSÕES: Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo-Tef são mais adequados que os de Thornthwaite e Camargo-71 para estimar a ETP na Região Nordeste.

#### REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome: F.A.O., 1998. 300p. Paper 56
- BURMAN. R.; POCHOP, L.O. Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Elsevier, Amsterdam, 1994. 278p
- CAMARGO, A. P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas, 3ª edição. Instituto Agrônomo, 24 p., 1971. (Boletim Técnico nº 116).
- CAMARGO, A. PAES; PICINI, A.G. Modelo para estimativa de ET<sub>p</sub> considerando a advecção regional em climas áridos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995. Campina Grande, *Anais...* Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 407-408
- 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, p. 89-97, 1997.
- HARGREAVES, G. H., SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the Irrigation and Drainage Division of the ASCE*, New York, v. 108, n. IR3, p. 223-230, 1982.
- PEREIRA, A.R.; CAMARGO, A. PAES. An analysis of the criticism of the Thornthwaite's equation for estimating potential evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.46, p.149-157, 1989
- PEREIRA. A.R. Introdução a micrometeorologia. Piracicaba: ESALQ. Departamento de Ciência Exatas. 2002. 74 p.
- SEDYIAMA, G.C, VILLA NOVA, N.A, PEREIRA, A.R., 1997, *Evapo(transpi)ração*. 1 ed., Piracicaba, Editora Universitária ESALQ.
- 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.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. (Versão Digital). Recife, 2005 ([http://www.agritempo.gov.br/tmp/Meteorologia\\_Climatologia.pdf](http://www.agritempo.gov.br/tmp/Meteorologia_Climatologia.pdf)).
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical Geography*, v. 2, p. 184-194, 1981.