

EQUAÇÃO DE THORNTHWAITE PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA DIÁRIA NO AMBIENTE SEMI-ÁRIDO DO VALE DO GURGUÉIA-PI

**JOSÉ ORLANDO PIAULINO FERREIRA¹; LUIS CARLOS PAVANI²;
EDSON ALVES BSATOS³**

¹Engenheiro Agrônomo MSc, Doutorando em Agronomia área de concentração produção vegetal. UNESP/Jaboticabal-SP, e-mail: zopiaui@yahoo.com.br

²Engenheiro Agrônomo, DSc Professor Assistente, Dpto de Engenharia Rural, UNESP/ Jaboticabal

³Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem, Embrapa Meio Norte. Terresina-PI

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 evapotranspiração de referência (ET_o) é importante na determinação do consumo de água por uma cultura em agricultura irrigada. O método de Penman-Montheith-(PM-FAO56) é considerado o mais adequado para determinar ET_o; porém exige um grande número de variáveis meteorológicas. O método de Thornthwaite é simples, exigindo apenas dados de temperatura do ar. Este trabalho objetivou estimar a ET_o pelo método de Thornthwaite na versão original e em quatro outras versões, comparando-os com o método PM-FAO56. A versão do método de Thornthwaite com correção para a temperatura efetiva com diferentes fotoperíodos e fator K=0,72 mostrou-se adequada para estimar ET_o no ambiente semi-árido do vale do Gurguéia –PI.

PALAVRAS-CHAVE: evapotranspiração, equação de Thornthwaite.

THORNTHWAITE EQUATION FOR ESTIMATING DAILY REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN SEMI-ARID ENVIRONMENTS IN THE GURGUÉIA –PI VALLEY

ABSTRACT: The determination of the reference evapotranspiration is important to determine the use water by a crop in irrigated agriculture. The Penman-Montheith-FAO56 (PM-FAO56) method is considered more suitable to compute ET_o; however, demand great number of climatological variables. The Thornthwaite method is simple, demanding temperature data only. This work had as objective to estimate ET_o by Thornthwaite method in original version and at other four versions, confronting it with PM-FAO56 method. The version of the Thornthwaite method with correction to effective temperature with different photoperiods and K = 0,72 factor showed to be suitable to estimate ET_o in semi-arid environments in the Gurguéia-PI valley.

KEY-WORDS: evapotranspiration, Thornthwaite equation.

INTRODUÇÃO: A evapotranspiração de referência ET_o quando multiplicada pelo coeficiente de cultivo, de uma determinada cultura, é na verdade uma quantificação do volume de água a ser aplicado por planta, suprimindo-a das perdas hídricas devido à demanda atmosférica. A FAO-56 no boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 recomenda adotar o modelo de Penman-Monteith como o método padrão para estimativa da ET_o por ser o mais adequado (ALLEN et al, 2006). Esse método necessita de um grande número de variáveis meteorológicas, encontradas apenas nas estações agrometeorológicas, que por sua vez, na grande maioria dos casos, pertencem aos centros de pesquisa. Com isso, este trabalho objetivou avaliar o método simplificado de Thornthwaite na versão e original e em outras quatro versões, por se tratar de um método que necessita apenas da temperatura média do ar PEREIRA e PRUITT (2004).

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados foram coletados na base física da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Alvorada do Gurguéia-Piauí, cujas coordenadas geográficas são: 8° 26' s e 43° 47' w e 251 m de altitude, numa estação agrometeorológica automática com um sistema de coleta de dados (modelo CR 23x, Campbell Scientific), composta por sensores de temperatura do ar; umidade relativa do ar (UR); radiação solar global (Rs); velocidade do vento e precipitação pluviométrica. Os sensores de temperatura, umidade relativa e radiação solar foram instalados na estação a 2,0 metros de altura enquanto que o pluviômetro foi a 1,5 metro. Tais dados foram coletados de 15 em 15 minutos e armazenados os valores médios, de hora em hora. Para a comparação entre métodos de estimativa da ET_o escolheu-se como padrões, o “método combinado” de Penman-Monteith - padrão FAO-56 - PM-FAO56 por apresentar em sua formulação uma combinação de efeitos do balanço de energia com os do poder evaporante do ar (PEREIRA et al., 1997).

$$ET_{o_{PMFAO56}} = \frac{0,408 \Delta (Rn_{hr} - G_{hr}) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} U_2 (e^o(T_{hr}) - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad \text{Eq. 1}$$

ET_o evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Rn saldo de radiação na superfície do cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G fluxo do calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s pressão de vapor de saturação (kPa); e_a pressão real de vapor (kPa); $e_s - e_a$ déficit de pressão de vapor (kPa); Δ pente da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Para comparar com o método PM-FAO-56 optou-se pelo método simplificado de Thornthwaite de estimativa da ET_o na versão original e em mais quatro versões.

a) Original ($ET_{o_{THW}}$):

$$ET_{o_{THW}} = 16 \left(10 \frac{T}{I} \right)^a, \quad 0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 26^{\circ}\text{C} \quad \text{Eq. 2}$$

T - temperatura média do ar para o dia específico ($^{\circ}\text{C}$), calculada $T = 0,5 (T_{máx} + T_{mín})$; I - índice térmico em função da temperatura normal climatológica local (T_n), sendo calculado pela expressão:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_n)^{1,514}, \quad T_n > 0^{\circ}\text{C} \quad \text{Eq. 3}$$

a - expoente em função de I , expresso como:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \quad \text{Eq. 4}$$

Para T acima de $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, Willmott et al. (1985), citados por PEREIRA e PRUITT (2004), representou ET_{OTHW} pela seguinte expressão:

$$ET_{OTHW} = -415,85 + 32,24T - 0,43T^2, \quad T > 26\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Eq. 5}$$

Como o método de Thornthwaite considera um mês padrão de 30 dias em que cada dia tem 12 horas de fotoperíodo (N), para converter ET_{OTHW} da escala mensal para a diária, aplicou-se o seguinte fator de correção à expressão (4) ou à (5):

$$C = \frac{N_{i,n}}{12} \frac{ND}{30} \quad \text{Eq. 6}$$

Em que: ND - número de dias do período considerado; $N_{i,n}$ - fotoperíodo (h) para um dado dia i do mês n , calculado como:

$$N_{i,n} = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad \text{Eq. 7}$$

ω_s - ângulo horário ao pôr-do-sol, calculado segundo a expressão $\omega_s = \arccos[-\text{tg}(\varphi) \text{tg}(\delta)]$ em função da latitude do local (φ ; rad) e da declinação solar (δ ; rad).

b) Com substituição da temperatura média mensal (T) pela temperatura “efetiva” (T_{ef}): de acordo com PEREIRA e PRUITT (2004), Camargo et al. (1999) substituíram a temperatura média T pela temperatura “efetiva” T_{ef} encontrando estimativas de ET_o melhores. A T_{ef} foi computada empiricamente como uma função de T e da amplitude térmica diária A ($A = T_{máx} - T_{mín}$) segundo a expressão:

$$T_{ef} = K(T + A) = \frac{1}{2} K(3T_{máx} - T_{mín}) \quad \text{Eq. 8}$$

b.1.) $ET_{OTHW2(0,69)}$ e $ET_{OTHW2(0,72)}$: Camargo et al. (1999), citados por PEREIRA e PRUITT (2004), encontraram que o valor de K da expressão (8) estatisticamente melhor para a estimativa de ET_o em escala mensal foi 0,72 quando comparados com dados lisimétricos, enquanto que PEREIRA e PRUITT (2004), testando diversos valores de K para estimativa de ET_o em escala diária, encontraram o valor 0,69 como o melhor. Dessa forma foram estabelecidos mais dois modelos derivados do modelo original de Thornthwaite com a temperatura “efetiva” diária expressa pela (8) substituindo a temperatura média diária (T) expressa por $T = 0,5(T_{máx} + T_{mín})$ e utilizando esses dois valores de K : 0,69 ($ET_{OTHW2(0,69)}$) e 0,72 ($ET_{OTHW2(0,72)}$)

b.2.) $ET_{OTHW3(0,69)}$ e $ET_{OTHW3(0,72)}$: PEREIRA e PRUITT (2004) propuseram a inclusão de um fator de correção na expressão (8) em função da razão entre o fotoperíodo (N) e as horas sem luz de um mesmo dia, tendo em vista que pela expressão (8) dois dias com a mesma T_{ef} mas com fotoperíodos muito diferentes terão, provavelmente, taxas de evapotranspiração diferentes. Assim a nova temperatura “efetiva” (T^*_{ef}) tem a seguinte apresentação:

$$T^*_{ef} = T_{ef} \frac{N}{24 - N} \quad \text{Eq. 9}$$

Em que $N/(24 - N)$ é a razão entre as horas de luz ou o fotoperíodo (N) e as sem luz ($24 - N$) de um dia. Da mesma forma que em (b.1.) foram aplicados na equação (8) os valores de K iguais a 0,69 ($ET_{OTHW3(0,69)}$) e a 0,72 ($ET_{OTHW3(0,72)}$).

RESULTADOS E DISCUSSÕES: a Figura 1 apresenta a comparação entre os valores diários de evapotranspiração de referência ET_o medidos pelo método $ET_{oPMFAO56}$ e estimados com diferentes versões dos métodos de Thornthwaite.

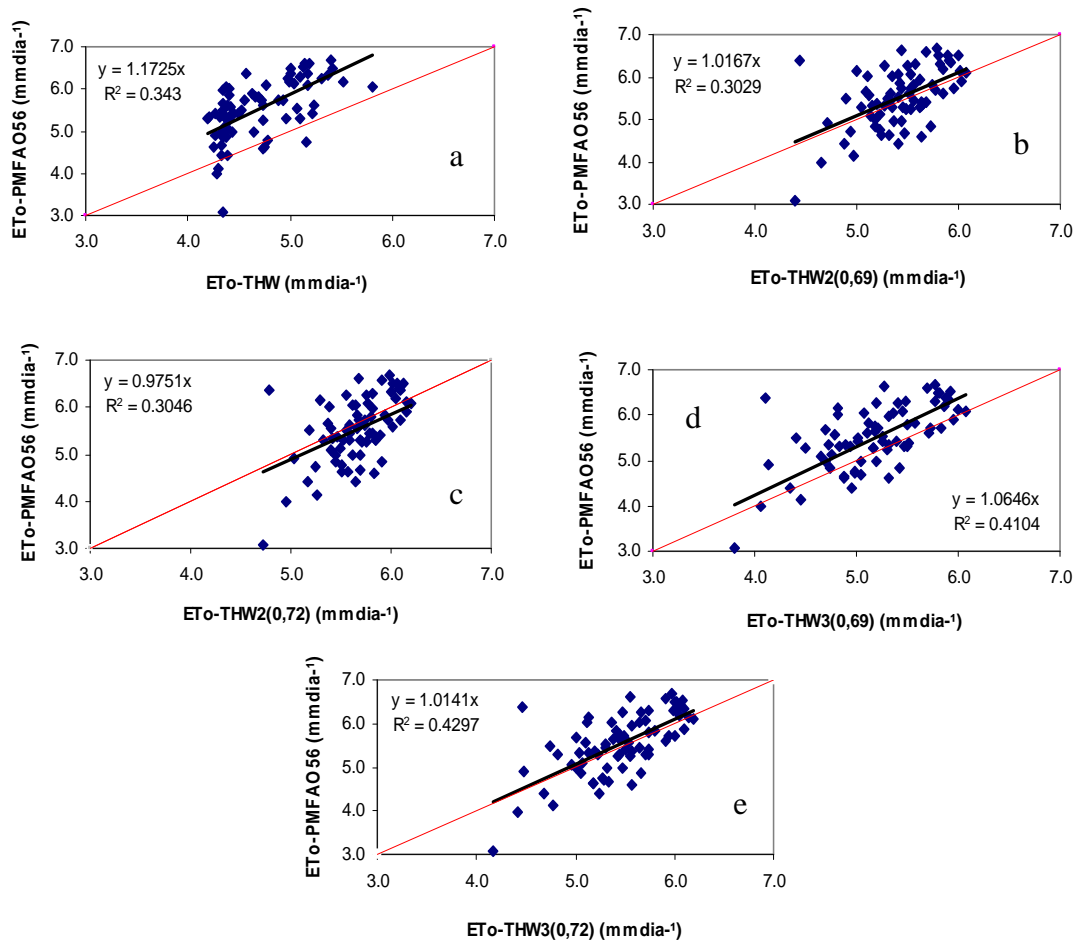


Figura 1: Evapotranspiração de referência medida pelo método de Penman-Montheith e estimada por diversas versões do método de Thornthwaite.

Equação de Regressão	Método	α	R^2	d	RMES	MAPE
$ET_o_{PMFAO56} = \alpha \text{Método}$	ET_o_{THW}	1,1725	0,34	0,54	0,99	18,90
	$ET_o_{THW2(0,69)}$	1,0167	0,30	0,67	0,59	8,77
	$ET_o_{THW2(0,72)}$	0,9751	0,30	0,64	0,60	8,50
	$ET_o_{THW3(0,69)}$	1,0646	0,41	0,73	0,63	9,84
	$ET_o_{THW3(0,72)}$	1,0141	0,43	0,77	0,53	8,02

α = coeficiente angular; R^2 = coeficiente de determinação; d = índice de concordância; RMES = raiz quadrada do erro médio quadrático (mm dia^{-1}); RMES (%) = raiz quadrada do erro médio quadrático relativo (mm dia^{-1}) MAPE = erro percentual absoluto médio. THW = ET_o estimada pelo método de Thornthwaite sem correção para temperatura; THW2(0,69) e THW2(0,72) = ET_o estimadas pelo método de Thornthwaite com temperatura efetiva calculada em função da temperatura média e da amplitude diária e fator $K = 0,69$ e $K = 0,72$; THW3(0,69) e THW3(0,72) = ET_o estimada pelo método de Thornthwaite com a mesma temperatura efetiva mas com diferentes fotoperíodos e fator $K = 0,69$ e $K = 0,72$;

Para os modelos $ET_o_{THW2(0,69)}$ e $ET_o_{THW3(0,72)}$, Figura 1 (d) e (e), as linhas de regressão se encontram paralelas e bem próximas da linha 1:1, mas os pontos em torno delas encontram-se dispersos, apresentando, respectivamente, $RMES = 0,59 \text{ mm dia}^{-1}$, $R^2 = 0,30$, $d = 0,67$ e $MAPE = 8,77\%$; $RMES = 0,53 \text{ mm dia}^{-1}$, $R^2 = 0,43$, $d = 0,77$ e $MAPE = 8,027\%$. A versão do

modelo de Thornthwaite que apresentou melhor resultado foi aquela com correção para a temperatura efetiva com diferentes fotoperíodos e fator $K = 0,72$. Pela Figura um observa-se esta versão subestima os valores de ET_o , medido pelo método de Penman-Montheith-FAO56, entre aproximadamente 4,0 mm e 6,0 mm em torno de 1,4%.

CONCLUSÕES: a versão do método de Thornthwaite com correção para a temperatura efetiva com diferentes fotoperíodos e fator $K=0,72$ mostrou-se adequada para estimar a ET_o na região semi-árida do vale do Gurguéia –PI. É necessário, porém, a realização de ajustes locais para este método de determinação de ET_o .

REFERÊNCIAS:

ALLEN R, G.; PEREIRA L. S.; RAES D.; SMITH M.; *Crop evapotranspiration, guidelines or computing crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper, nº 56, Rome, 2006.

PERREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, B. C. *evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 183 p. 1997.

PEREIRA, A. R.; PRUIT, W. O. **Adaptation of the Thornthwaite scheme for estimating daily reference evapotranspiration**. Agricultural water management. 66, p. 251 – 257, 2004.

