

## **Ajuste do método da radiação para estimativa da evapotranspiração de referência na região de Urussanga, SC.**

### **Adjust the radiation method to estimate reference evapotranspiration in the region of Urussanga, SC.**

Álvaro José Back<sup>1</sup>

#### **Resumo**

Tendo como base os valores de evapotranspiração de referência calculados pelo método de Penman-Monteith para Urussanga (SC), foram ajustados os coeficientes do método da radiação solar. São apresentados os valores mensais e médio anual dos coeficientes “c” de ajuste para a evapotranspiração de referência estimado em intervalos mensais, de dez e cinco dias e intervalos diários. Os erros padrões de estimativa aumentam com a diminuição do intervalo de cálculo, sendo obtidos valores de erro padrão de estimativa inferiores a 0,260 mm para a estimativas de evapotranspiração de referencia em intervalos de 5 dias ou mais.

**Palavras Chave:** Irrigação, balanço hídrico, evapotranspiração.

#### **Abstract**

With the values of reference evapotranspiration calculated by the method of Penman-Monteith for Urussanga(SC) had been adjusted the coefficients of the radiation method. The monthly values and average annual of coefficients “c” are presented for the reference evapotranspiration are calculated in monthly intervals, ten and five days and daily intervals. The standards errors estimate increase with the reduction of the calculation interval, and values of standard error below 0,260 mm was found for estimation in intervals of 5 days or more.

**Words Key:** Irrigation, water budget, evapotranspiration.

#### **Introdução**

A estimativa da evapotranspiração é importante no dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação. Existem diversos métodos de estimativa da evapotranspiração, sendo largamente difundido o emprego de métodos empíricos, resultantes de correlações com fatores meteorológicos. Penman (1948) apresentou um método de estimativa de evapotranspiração com base física, combinado os processos de balanço de energia e de transferência turbulenta, utilizando dados de radiação solar, temperatura, umidade relativa e vento. O método de Penman foi aperfeiçoado derivando no método de Penman-Monteith, detalhadamente descrito por Allen et al (1998), Smith (1991). A escolha de um método depende da precisão desejada e dos dados meteorológicos

---

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Dr. Engenharia, Pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina -Epagri, Professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense –Unesc; E-mail [ajb@unesc.net](mailto:ajb@unesc.net).

disponíveis. Vários trabalhos (Allen, 1986; Allen et al. 1989; Peres, 1994; Sedyama, 1996; Pereira 1998) mostram que o método de Penman-Monteith (PM) é mais confiável para as estimativas de ETo. Segundo Sedyama (1996), o método de Penman-Monteith apresenta a vantagem de proporcionar bons resultados tanto em termos horários quanto em diários e também é preferível utilizar o método de Penman-Monteith aos dados lisimétricos quando estes são de qualidade duvidosa. A desvantagem dos métodos combinados é a exigência de dados meteorológicos nem sempre disponíveis. Segundo Pereira et al. (1997) muitos métodos empíricos desenvolvidos e calibrados localmente produzem melhores resultados do que aqueles mais genéricos e fisicamente mais reais. Doorembos e Pruitt (1977) recomendam os métodos de Penman, de Blaney Cridlle, método da radiação e o método do Tanque Classe A.

As equações empíricas para estimativa de ETo utilizam dados de radiação solar, temperatura do ar, umidade do ar e velocidade do vento. Dado que a radiação solar é o principal elemento meteorológico que afeta evapotranspiração, os métodos empíricos baseados na radiação solar tendem a dar bons resultados. Doorembos e Pruitt (1977) fizeram uma adaptação no método de Makkink e apresentaram um método que ficou conhecido com o método da FAO-Radiação. Neste método a evapotranspiração e estimada por:

$$E_{To} = c W R_s \quad [1]$$

em que: ETo = Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);

W = fator em de ponderação dependente da temperatura média do ar e da a latitude;

R<sub>s</sub> = radiação solar média, expressa em equivalente de evaporação (mm dia<sup>-1</sup>);

c = um coeficiente de ajuste.

O método da radiação é recomendado para locais em que existem observações de temperatura, insolação ou radiação e ausência de observação de vento e umidade do ar.

Doorembos e Kassan (1994) apresentam tabelas com os valores do coeficiente “c” em função da velocidade média do vento e da umidade relativa do ar. Frevert et al (1983) desenvolveram um sistema de equações para a estimativa de ETo em função da umidade relativa do ar, velocidade média do vento para períodos diurnos. Pereira et al. (1997) afirmam que devido a dificuldade de se obter os valores velocidade do vento e pelo fato de que os dados normalmente disponíveis se referem à velocidade do vento média das 24 horas, e não do vento diurno, torna difícil a utilização das equações de Frevert et al. (1983). Segundo esses autores são necessários estudos mais detalhados para as regiões tropicais com objetivo de determinar a variação do vento durante o dia.

Back e Rosso (2006) avaliando diversos métodos de estimativa de evapotranspiração baseados na radiação solar por meio de índice de desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997) observaram que o método da FAO radiação é classificado como muito bom para intervalos diários, e é classificado como ótimo para intervalos quinidiais ou maiores. Também observaram que este método tende a superestimar os valores de ETo, o que pode ser corrigido com calibrações locais. Dessa forma este trabalho teve como objetivo o ajuste do método da radiação para a região de Urussanga, SC.

## Material e Métodos

Foram utilizados os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação registrados na estação meteorológica de Urussanga-SC (Latitude 28°31'S, longitude 49°19'W) do período de 1981 a 2005.

Foram calculadas as médias das variáveis meteorológicas para intervalos diários, quinquidiais, decendiais e mensais. Nos meses com 31 dias o último período do mês foi calculado com um dia a mais, e no mês de fevereiro com um ou dois dias a menos, conforme se o ano era bissexto ou não. Com as médias das variáveis meteorológicas para cada período considerado calculou-se da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith de acordo com a equação:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad [2]$$

em que:  $ET_o$  = evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);

$R_n$  = saldo de radiação a superfície (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

$G$  = fluxo de calor sensível no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>);

$T$  = temperatura média do ar a 2 m de altura (°C);

$U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);

$e_s$  = pressão de saturação de vapor (kPa);

$e_a$  = pressão atual e vapor (kPa);

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>);

Os cálculos foram realizados conforme descrito por Allen et al. (1998), sendo que a temperatura média diária foi estimada como a média entre a temperatura máxima e mínima no dia.

Para a estimativa da estimativa do coeficiente “c” da equação 1 foram realizadas regressões com os valores de  $ET_o$  estimados pelo método de Penman-Monteith e os valores de  $WR_s$ , utilizando os modelo de regressão linear como:

$$ET_o = a + bW R_s \quad [3]$$

Também foi adotado o modelo linear forçando a linha de regressão passar pela origem ( $a = 0$ ), isto é:

$$ET_o = cWR_s. \quad [4]$$

O termo  $W$  foi estimado como:

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad [5]$$

em que:  $\Delta$  é a declividade da curva que relaciona a pressão de saturação e a temperatura (mb °C<sup>-1</sup>) estimada por:

$$\Delta = 2,00(0,00738T + 0,8072)^2 - 0,00116 \quad [6]$$

sendo  $T$  = temperatura média do ar (°C);

$\gamma$  = constate psicrométrica (mb °C<sup>-1</sup>), estimada com por:

$$\gamma = 0,368 P/L \quad [7]$$

em que:  $P$  = pressão barométrica média (mb)

$$L = \text{calor latente de vaporização (cal/g) estimado por:} \\ L = 595,9 - 0,55 T \quad [8]$$

A radiação solar que atinge a superfície foi estimada por:

$$R_s = \left( 0,25 + 0,50 \frac{n}{N} \right) R_a \quad [9]$$

em que:  $R_s$  = radiação solar que atinge a superfície ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$n$  = insolação horária (h)

$N$  = duração máxima do brilho solar (h)

$R_a$  = Radiação solar no topo da atmosfera ( $\text{mm d}^{-1}$ ).

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera ( $R_a$ ) e a duração máxima do brilho solar ( $N$ ) foram calculadas conforme Smith (1991), para o dia compreendido no meio do intervalo ( $3^\circ$ ,  $5^\circ$  e  $15^\circ$  dia para os intervalos de quinquídios, decendios e mensal, respectivamente).

Para avaliar o desempenho da equação ajustada foram considerados os coeficientes de determinação  $R^2$  e o erro padrão de estimativa (Epe).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos coeficientes da regressão ajustados para os valores mensais bem como do valor médio anual. Pelos valores do coeficiente de determinação  $R^2$  observa-se que as melhores equações são obtidas nos meses novembro a abril e piores nos meses de maio a outubro ( $R^2 < 0,85$ ). Na comparação dos dois modelos observa-se que para o ajuste anual a regressão ajustada pelo modelo forçando a reta passar pela origem apresentou maior erro padrão de estimativa ( $E_p = 0,210 \text{ mm}$ ) comparado com o modelo com os coeficientes a e b ( $E_p = 0,128 \text{ mm}$ ), embora esses valores sejam relativamente pequenos e menores que o valor de erro padrão de estimativa ( $E_p = 0,251 \text{ mm}$ ), obtido por Back e Rosso (2006). Para todas as regressões mensais observa-se que o erro padrão de estimativa dos dois modelos estão muito próximos, com diferenças inferiores a  $0,01 \text{ mm}$ . Dessa forma pode-se optar pelo modelo com a reta passando pela origem, adotando os coeficientes “c” dados indicados na Tabela 1.

Observa-se que os valores do coeficiente c nas Tabelas 1 a 4 são inferiores a 0,72, e menores que os valores tabelados por Doorembos e Kassan (1994). Com a adoção desses valores corrige-se a tendência observada por Back e Rosso (2006) de superestimativa de  $E_{To}$  pelo Método FAO-Radiação. Nas Tabelas 2, 3 e 4 estão os resultados das regressões para valores de  $E_{To}$  calculado em intervalos decendiais, quinquidiais e diários, onde se observa um aumento do valor do erro padrão de estimativa a medida que diminui o intervalo de dados. Isto se deve as flutuações dos valores pontuais, que é suavizada com a média dos dados nos maiores intervalos. Jensen (1974) afirma que apesar de ter sido proposto originalmente para estimativas diárias, o emprego deste método deve limitar-se a intervalos de cinco dias, exceto quando o saldo de radiação for medido diretamente, quando poderá ser adotado intervalo diário.

Tabela 1. Coeficientes de regressão e determinação da regressão linear e erro padrão de estimativa para evapotranspiração de referência (ETo) estimada em intervalos mensais.

Período	ETo= aWRs + b				ETo = cW Rs		
	a	b	R <sup>2</sup>	Ep	c	R <sup>2</sup>	Ep
anual	0,799	-0,576	0,984	0,128	0,674	0,995	0,210
Jan.	0,673	0,155	0,962	0,058	0,700	0,960	0,058
Fev.	0,736	0,242	0,958	0,087	0,691	0,955	0,089
Mar.	0,646	0,177	0,904	0,082	0,669	0,903	0,081
Abr.	0,532	0,388	0,921	0,059	0,633	0,888	0,069
Mai	0,532	0,136	0,790	0,084	0,578	0,784	0,084
Jun.	0,485	0,163	0,672	0,073	0,552	0,659	0,073
Jul.	0,461	0,255	0,706	0,081	0,560	0,671	0,083
Ago.	0,493	0,401	0,750	0,091	0,620	0,699	0,098
Set.	0,632	0,113	0,696	0,119	0,662	0,695	0,117
Out.	0,580	0,482	0,824	0,144	0,680	0,799	0,151
Nov.	0,684	0,101	0,927	0,118	0,702	0,927	0,116
Dez.	0,694	0,120	0,853	0,114	0,715	0,853	0,112

Tabela 2. Coeficientes de regressão e determinação da regressão linear e erro padrão de estimativa para evapotranspiração de referência (ETo) estimada em intervalos decendiais.

Período	ETo= aWRs + b				ETo = cW Rs		
	a	b	R <sup>2</sup>	Ep	c	R <sup>2</sup>	Ep
anual	0,788	-0,499	0,976	0,170	0,676	0,994	0,228
Jan.	0,687	0,083	0,978	0,087	0,701	0,989	0,087
Fev.	0,740	-0,257	0,954	0,132	0,693	0,975	0,137
Mar.	0,672	-0,065	0,946	0,114	0,671	0,973	0,113
Abr.	0,605	0,115	0,935	0,103	0,635	0,966	0,104
Mai	0,583	-0,004	0,840	0,117	0,581	0,917	0,117
Jun.	0,443	0,275	0,732	0,096	0,553	0,828	0,103
Jul.	0,501	0,167	0,759	0,119	0,565	0,864	0,121
Ago.	0,617	0,023	0,828	0,145	0,624	0,910	0,144
Set.	0,621	0,158	0,866	0,152	0,663	0,928	0,153
Out.	0,664	0,092	0,903	0,187	0,683	0,950	0,187
Nov.	0,702	0,017	0,948	0,153	0,705	0,974	0,152
Dez.	0,696	0,110	0,920	0,139	0,715	0,959	0,139

Tabela 3. Coeficientes de regressão e determinação da regressão linear e erro padrão de estimativa para evapotranspiração de referência (ETo) estimada em intervalos quiniduais.

Período	ETo= aWRs + b				ETo = cW Rs		
	a	b	R <sup>2</sup>	Ep	c	R <sup>2</sup>	Ep
anual	0,756	-0,377	0,965	0,219	0,677	0,993	0,253
Jan.	0,673	0,163	0,978	0,114	0,701	0,977	0,119
Fev.	0,706	-0,069	0,855	0,163	0,694	0,955	0,164
Mar.	0,666	0,033	0,957	0,140	0,672	0,957	0,140
Abr.	0,593	0,161	0,933	0,125	0,635	0,928	0,129
Mai	0,549	0,102	0,854	0,144	0,582	0,850	0,145
Jun.	0,452	0,263	0,774	0,128	0,555	0,732	0,139
Jul.	0,512	0,152	0,744	0,178	0,569	0,735	0,181
Ago.	0,619	0,034	0,828	0,201	0,629	0,828	0,201
Set.	0,634	0,127	0,880	0,198	0,666	0,877	0,200
Out.	0,669	0,082	0,978	0,236	0,685	0,907	0,236
Nov.	0,691	0,865	0,950	0,197	0,706	0,950	0,197
Dez.	0,683	0,187	0,942	0,176	0,715	0,940	0,179

Tabela 4. Coeficientes de regressão e determinação da regressão linear e erro padrão de estimativa para evapotranspiração de referência (ETo) estimada em intervalos diários.

Período	ETo= aWRs + b				ETo = cW Rs		
	a	b	R <sup>2</sup>	Ep	c	R <sup>2</sup>	Ep
anual	0,702	-0,118	0,965	0,368	0,675	0,986	0,372
Jan.	0,658	0,271	0,972	0,210	0,701	0,968	0,226
Fev.	0,668	0,164	0,959	0,250	0,695	0,957	0,255
Mar.	0,632	0,212	0,955	0,217	0,672	0,951	0,226
Abr.	0,565	0,297	0,895	0,249	0,635	0,880	0,266
Mai	0,497	0,276	0,797	0,246	0,582	0,771	0,261
Jun.	0,738	0,329	0,564	0,330	0,559	0,516	0,347
Jul.	0,486	0,254	0,648	0,329	0,574	0,624	0,339
Ago.	0,596	0,156	0,755	0,392	0,640	0,750	0,395
Set.	0,631	0,184	0,859	0,369	0,674	0,855	0,375
Out.	0,645	0,240	0,907	0,379	0,689	0,902	0,388
Nov.	0,676	0,206	0,939	0,349	0,709	0,936	0,356
Dez.	0,674	0,274	0,940	0,320	0,717	0,936	0,332

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R. G . Penman for all seasons. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.112, n.4, p.348-368, 1986.

- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agron. j.*, Madison, v. 81, n4. p.650-662. 1989.
- ALLEN, R. G. PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Rome, 1998. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- BACK, A. J; ROSSO, J. C. Avaliação do desempenho de métodos empíricos baseados na radiação solar para a estimativa da evapotranspiração de referência. Criciúma, *Revista Tecnologia e Ambiente*. 2006 (no prelo)
- 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.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1977. 179p. (FAO Irrig. and Drainage Paper 24)
- DOOREMBOS, J.; KASSAN, A. H. Efeitos da água no rendimento dos cultivos. *Estudos FAO, Irrigação e Drenagem*, 33. Tradução de GHEYI, H. R. e outros. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. FAO.306p.1994.
- FREVERT. D.K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *J. Irrig. Drain. Eng. Am. Soc. Civ. Eng.*1983. 109(2): 265-270.
- JENSEN, M. E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York, ASCE, 1974. 215p.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London*, A193:120-146. 1948.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA, F. A. C. Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em relação a um lisímetro de pesagem. Piracicaba, 1998. 87p. Tese (doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.4, n.1. p.1-12. 1996
- SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome, FAO. 45p. 1991.