

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que condicionam o manejo da irrigação de qualquer cultura, pode-se afirmar que a evapotranspiração é um dos mais estudados em razão das dificuldades para sua medida.

Diante disso, inúmeros são os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), variando desde a utilização de um simples tanque de evaporação até complexos métodos micrometeorológicos. Para Pereira (1990), as dificuldades inerentes a cada método e a necessidade de previsão induzem ao desenvolvimento de novos modelos de estimativa, já que cada usuário tem necessidades específicas e dispõem de recursos diferenciados.

Pela sua rapidez, alta capacidade de processamento e um custo relativamente baixo, os computadores vêm se tornando ferramentas ideais para se analisar grande quantidade de dados, com grande rapidez e precisão nos cálculos, além de permitir a implantação de sistemas de manejo automatizados.

Apesar disso, atualmente, a utilização de recursos computacionais para a estimativa da ET<sub>o</sub> ainda é uma opção pouco explorada.

Nesse sentido, propõe-se neste trabalho um algoritmo computacional para determinação da ET<sub>o</sub>, baseado na determinação da temperatura foliar por um método iterativo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O programa foi desenvolvido em linguagem Microsoft Quick Basic®, adaptado para processar dados de estações meteorológicas automáticas.

Os dados meteorológicos podem ser gravados em intervalos de tempo de 30 minutos ou menor, com arquivo em formato texto (.prn) com as variáveis devendo ser ordenadas em colunas com a seguinte formação: temperatura do ar (T<sub>a</sub>, em °C); umidade relativa do ar (UR, em %); velocidade do vento (U<sub>2m</sub> m s<sup>-1</sup>); saldo de radiação (R<sub>n</sub>, em W m<sup>-2</sup>).

O programa, utilizando o método iterativo de Newton-Raphson, escolhe uma determinada temperatura foliar que satisfaça a equação do balanço de energia da superfície (Equação 1). Este mesmo método foi utilizado também por Kurata (1989) para calcular a temperatura do dossel e do ar, e a umidade específica no interior de uma estufa plástica.

$$R_n - \frac{\rho C_p (e_{s_{T_f}} - e_{a_{T_a}})}{\gamma (r_c + r_a)} - \frac{\rho C_p (T_f - T_a)}{r_a} = 0 \quad (1)$$

em que:  $\rho$  é a densidade do ar (kg m<sup>-3</sup>);  $e_{s_{T_f}}$  é a pressão de saturação de vapor do ar à temperatura da folha (kPa);  $e_{a_{T_a}}$  é a pressão atual de vapor do ar (kPa);  $r_c$  é a resistência da cobertura à difusão de vapor (69 s m<sup>-1</sup>);  $r_a$  é a resistência aerodinâmica (s m<sup>-1</sup>);  $T_f$  é a temperatura da folha (°C);  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>).

Satisfeita a condição da equação 1, o fluxo de calor latente é calculado pela equação (2):

$$LE = \frac{\rho C_p (e_{s_{T_f}} - e_{a_{T_a}})}{\gamma (r_c + r_a)} \quad (2)$$

Para sua inicialização a temperatura foliar foi considerada igual à temperatura do ar subtraída de 4°C, de acordo com os estudos de Sentelhas et al. (1995).

O passo de tempo do programa é de 1s, calculando assim a evapotranspiração a cada segundo e com totalização diária. O processamento dos dados ocorre somente nos momentos em que R<sub>n</sub> é positiva, desconsiderando-se, portanto, o período noturno.

O desempenho do algoritmo foi avaliado para as condições de Piracicaba, SP (22° 42' S, 47° 38' W, 546 m), comparando suas estimativas com dados de lisímetro de pesagem utilizados por Sentelhas (1998). Foram utilizados 12 dias de medidas entre 17/09/96 a 12/11/96 (Tabela 1). Por análise de regressão linear verificou-se a exatidão e a precisão das estimativas.

**Tabela 1.** Valores diários das variáveis meteorológicas utilizadas nas estimativas

Dia	Tar °C	UR (%)	Vento (m.s <sup>-1</sup> )	Rn (MJ.m <sup>-2</sup> .d <sup>-1</sup> )
17/09/96	18,25	80,61	2,55	8,3
18/09/96	16,88	72,57	2,97	12,3
19/09/96	19,70	66,62	1,49	12,9
20/09/96	20,92	65,23	0,95	12,7
21/09/96	22,59	58,21	1,28	12,6
22/09/96	23,69	52,30	1,24	12,5
07/11/96	25,09	67,26	0,90	17,7
08/11/96	25,69	63,91	1,37	13,7
09/11/96	25,31	59,67	0,94	17,5
10/11/96	25,79	52,42	1,13	16,7
11/11/96	24,54	68,21	2,10	14,2
12/11/96	23,62	75,23	0,94	9,6

As variáveis climáticas foram medidas no Posto Agrometeorológico, do Departamento de Ciências Exatas, pertencente a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. A temperatura e umidade do ar foram medidas com sensor fabricado pela VAISALA; a velocidade do vento, medida a 2 m, com anemômetro de caneca YOUNG e, a radiação líquida foi medida a 1m da superfície gramada, com saldo radiômetro da REBS.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode ser observado na Figura 1, os valores estimados tenderam a subestimar as medidas lisimétricas. Entretanto, o ajuste dos dados pode ser considerado satisfatório, já que a precisão (R<sup>2</sup> = 0,90) e a exatidão (b = 0,92) das estimativas foram elevadas.

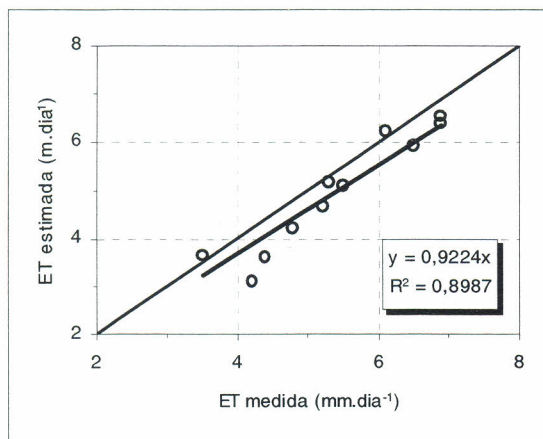
A análise de regressão linear foi significativa a 1% de probabilidade, com a regressão completa diferindo muito pouco daquela apresentada na Figura 2. Na regressão completa o coeficiente linear foi igual a -0,62 e o angular igual a 1,03, com o mesmo valor de R<sup>2</sup>.

Outro aspecto interessante é que o erro encontrado foi sistemático, mantendo-se constante desde os dias com

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Exatas, Setor de Agrometeorologia. CP 09, CEP 13418-900, Piracicaba-SP. E-mail: santiago@esalq.usp.br



menores valores de Rn (17/09), até aqueles de maior demanda evaporativa da atmosfera (07/11).

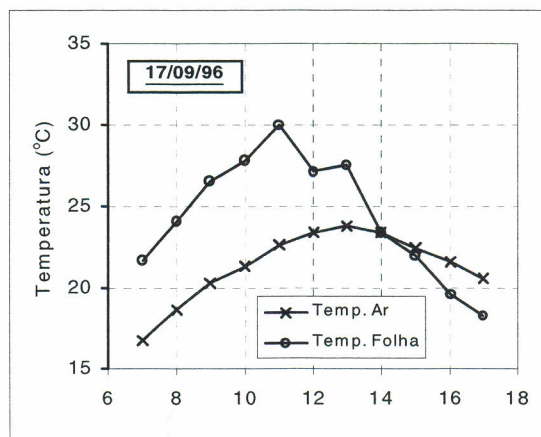


**Figura 1** - Relação entre a evapotranspiração de referência estimada pelo programa e a medida no lisímetro de pesagem

O fato dos valores calculados subestimarem os valores medidos pode ser atribuído a condição de desconsiderar-se uma possível evapotranspiração noturna, já que o programa considera somente o período com Rn positivo.

Esses erros podem estar relacionados, também, com a questão de nas primeiras horas dos dias avaliados, a temperatura da folha calculada ter superado a temperatura do ar, denotando certa incoerência nas estimativas. Essa tendência pode ser atribuída ao fato de nesses momentos a umidade relativa do ar estar muito próxima da saturação, o que induz o programa a assumir que todo o saldo de radiação é dissipado na forma de calor sensível (H).

Ainda com referência à temperatura foliar, valores extremamente altos foram detectados em alguns períodos de diversos dias de medida, sem que isso refletisse em estimativas de ET proporcionalmente altas (Figura 2). Essas discrepâncias podem ser devidas à adoção de valores fixos de  $r_c$ , por exemplo, o que faz com que todos os erros de medida sejam acumulados na determinação da  $T_f$ .



**Figura 2** - Variação diurna da temperatura do ar (medida) e da temperatura da folha (estimada pelo programa) para o dia 17/09/96

#### 4. CONCLUSÕES

Embora podendo ainda ser aprimorado, o algoritmo proposto mostrou-se como uma ferramenta útil e confiável para a estimativa da evapotranspiração de referência, principalmente quando há necessidade de se analisar grande quantidade de dados obtidos em estações meteorológicas automáticas.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KURATA, K. Simulation of inside air temperature, humidity and crop temperature in energy conserving greenhouse. *Acta horticulturae*, v. 245, p. 339-345. 1989.
- PEREIRA, A. R. Análise do modelo de Priestley-Taylor para estimativa da evapotranspiração potencial. Piracicaba, ESALQ/USP. (Tese de Livre-Docência) 68p. 1990.
- SENTELHAS, P. C.; ORTOLANI, A. A.; PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. *Bragantia*, v.54, n.2, p.437-445. 1995.
- SENTELHAS, P. C. Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba, ESALQ/USP. (Tese de Doutorado). 97p. 1998.