

# Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO

Bento Gonçalves, RS  
Dezembro, 2006

## Autor

**Marco Antônio  
Fonseca Conceição**

Embrapa Uva e Vinho,  
Estação Experimental  
de Viticultura Tropical,  
Caixa Postal 241,  
CEP 15700-000  
São Paulo, SP

## Introdução

A evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é utilizada em diversos estudos agrometeorológicos, tais como em modelos de produção, balanços hídricos e zoneamentos agroclimáticos, bem como no manejo e no dimensionamento de sistemas de irrigação. Atualmente o método considerado padrão para se estimar a ET<sub>o</sub> é o de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998). Para a sua utilização são necessários dados de temperatura do ar (T), velocidade do vento a 2 m de altura (U<sub>2</sub>), umidade relativa do ar (UR) e do saldo de radiação (R<sub>n</sub>). Entretanto, nem sempre essas informações estão disponíveis, havendo a necessidade, muitas vezes, da estimativa de uma ou mais variáveis, conforme metodologias sugeridas por Allen et al. (1998).

O presente trabalho apresenta o roteiro de cálculo de ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET<sub>o</sub>PMF), tanto para situações em que todos os dados meteorológicos necessários estão disponíveis, quanto para condições em que eles precisam ser estimados.

## Metodologia

Para a estimativa de ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET<sub>o</sub>PMF) utiliza-se a seguinte expressão (ALLEN et al., 1998):

$$ET_{oPMF} = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \bar{\alpha} 900 U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \bar{\alpha}(1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

em que:

- ♣ “Δ” é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa°C<sup>-1</sup>);
- ♣ “R<sub>n</sub>” é o saldo de radiação diário (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);
- ♣ “G” é o fluxo total diário de calor no solo (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);
- ♣ “γ<sup>\*</sup>” é o coeficiente psicrométrico (kPa°C<sup>-1</sup>);

- ♣ "U<sub>2</sub>" é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);
- ♣ "e<sub>s</sub>" é a pressão de saturação de vapor (kPa);
- ♣ "e<sub>a</sub>" é a pressão atual de vapor (kPa);
- ♣ "T" é a temperatura média do ar (°C).

Quando os valores de "Rn", "G", "U<sub>2</sub>" e "T" são medidos na estação meteorológica necessita-se calcular os valores de "Δ", "γ", "e<sub>s</sub>" e "e<sub>a</sub>".

O valor de "Δ" é calculado pela seguinte expressão:

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (2)$$

em que "exp" refere-se à base do logaritmo natural "e" (2,71828) elevada ao valor que está entre parêntesis.

O coeficiente "γ" é calculado empregando-se a expressão:

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \text{ Patm} \quad (3)$$

em que "Patm" é a pressão atmosférica local (kPa) que, por sua vez, pode ser calculada com base na altitude do local (z):

$$\text{Patm} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26} \quad (4)$$

onde "z" é a altitude do local (m).

A diferença entre "e<sub>s</sub>" e "e<sub>a</sub>" é denominado déficit de saturação. Esses valores podem ser calculados utilizando-se as expressões:

$$e_s = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27 T}{T + 237,3}\right] \quad (5)$$

$$e_a = \frac{e_s \cdot \text{UR}}{100} \quad (6)$$

em que UR é a umidade relativa média do ar (%), que também é fornecida pela estação meteorológica.

A seguir, um exemplo de cálculo com dados meteorológicos obtidos no portal da internet referente à Área de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), que pertence à Universidade Estadual Paulista (UNESP)

a) Local: Ilha Solteira, SP - Latitude 20° 25'S; Altitude (z) 335 m

b) Dia 15/10/2004 - Rn=12,3 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>; G=0,6 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>; T=25,6° C; UR=81,6%; U<sub>2</sub>=1,6 ms<sup>-1</sup>

$$c) \quad \Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

$$= \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 * 25,6}{25,6 + 237,3}\right) \right]}{(25,6 + 237,3)^2}$$

$$= 0,195 \text{ kPa}^\circ \text{ C}^{-1}$$

$$d) \quad \text{Patm} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

$$= 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 * 335}{293} \right)^{5,26} = 97,402 \text{ kPa}$$

$$e) \quad \gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} \text{ Patm} = 0,665 \cdot 10^{-3} \cdot 97,402 = 0,065 \text{ kPa}^\circ \text{ C}^{-1}$$

$$f) \quad e_s = 0,6108 \exp\left[\frac{17,27 T}{T + 237,3}\right]$$

$$= 0,6108 \exp\left[\frac{17,27 * 25,6}{25,6 + 237,3}\right] = 3,283 \text{ kPa}$$

$$g) \quad e_a = \frac{e_s \cdot \text{UR}}{100} = \frac{3,283 * 81,6}{100} = 2,679 \text{ kPa}$$

$$\text{EToPMF} = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \check{\alpha} 900 U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \check{\alpha} (1 + 0,34 U_2)}$$

h)

$$EToPMF = \frac{0,408 * 0,195 * (12,3 - 0,6) + 0,065 * 900 * 1,6 * (3,283 - 2,679)}{0,195 + 0,065 * (1 + 0,34 * 1,6)} = 3,79 \text{ mm}$$

Os cálculos podem ser feitos utilizando uma planilha eletrônica, como mostra a Figura 1.

|          |         |              |          |                      |                       |                                  |          |                                  |             |
|----------|---------|--------------|----------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|----------|----------------------------------|-------------|
| Latitude | 20°25'S | Altitude (m) | 335      | Patm (kPa)           | 97,402                | $\gamma$ (kPa °C <sup>-1</sup> ) | 0,065    |                                  |             |
| Dia      | T (°C)  | UR (%)       | Vv (m/s) | G MJ m <sup>-2</sup> | Rn MJ m <sup>-2</sup> | es (kPa)                         | ea (kPa) | $\Delta$ (kPa °C <sup>-1</sup> ) | EToPMF (mm) |
| 15/out   | 25,6    | 81,6         | 1,6      | 0,6                  | 12,3                  | 3,283                            | 2,679    | 0,195                            | 3,79        |

**Fig. 1:** Exemplo de planilha eletrônica para cálculo de EToPMF (os valores em branco são fornecidos e os em amarelo são calculados).

### 1. Estimativa do saldo de radiação (Rn)

Poucas estações meteorológicas dispõem de sensores para a determinação de "Rn". Por isso, é comum a estimativa de "Rn" com base em outras variáveis. O saldo de radiação (Rn) pode, assim, ser estimado pela expressão:

$$Rn = Rns - Rnl \quad (7)$$

em que "Rns" é o saldo de radiação de ondas curtas (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>) e "Rnl" é o saldo de radiação de ondas longas (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>).

#### 1.1 Cálculo do saldo de radiação de ondas curtas (Rns)

$$Rns = (1 - \alpha) Rs \quad (8)$$

onde "Rs" é a radiação solar incidente (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>), medida na estação meteorológica, e " $\alpha$ " é o coeficiente de reflexão da vegetação (albedo), sendo considerado igual a 0,23 para a cultura de referência (grama). A equação 8 pode, assim, ser escrita da seguinte forma:

$$Rns = 0,77 Rs \quad (9)$$

#### 1.2 Cálculo do saldo de radiação de ondas longas (Rnl)

$$Rnl = \sigma \left[ \frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right] \left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1,35 \frac{Rs}{Rso} - 0,35 \right) \quad (10)$$

em que:

- " $\sigma$ " é a constante de Stefan-Boltzmann (4,903 10<sup>-9</sup> MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);
- "Tmax" e "Tmin" são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima do dia (°C);
- "Rs" é a radiação solar incidente (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);
- "Rso" é a radiação solar incidente na ausência de nuvens (MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>);
- "ea" é a pressão atual de vapor (kPa), calculada pela equação 6.

O valor de "Rso" pode ser calculado pela expressão:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad (11)$$

em que "z" é a altitude (m) e "Ra" é a radiação solar no topo da atmosfera ( $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ), calculada por:

$$R_a = \frac{118,08}{\pi} \text{dr} [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (12)$$

O valor de "φ" representa a latitude do local em radianos. Para converter graus para radianos multiplica-se por "π" (3,14159) e divide-se por 180. Por exemplo (os valores para o hemisfério sul são considerados negativos):

$$20^\circ 25'S = 20^\circ + \frac{25}{60} = 20,417^\circ = \frac{-20,417 \pi}{180} = -0,356 \text{rad}$$

A distância inversa relativa entre a Terra e o Sol "dr" (rad) é calculada por:

$$\text{dr} = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (13)$$

sendo "J" o dia do ano (de 1 a 365 ou 366, para bissexto).

A declinação solar "δ" (rad) é dada por:

$$\delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) \quad (14)$$

O ângulo horário ao nascer do sol "ωs" (rad) é calculado por:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi) \tan(\delta)}{X^{0,5}}\right] \quad (15)$$

em que  $X = (1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2)$ . Quando X for  $\leq 0$ , utiliza-se um valor igual a 0,00001.

A seguir é dado um exemplo de cálculo de "Rn":

a) Local: Ilha Solteira, SP - Latitude  $20^\circ 25'S$ ;  
Altitude (z) 335 m

b) Dia 15/10/2004 = Dia do ano (J) 288;  $R_s = 17,6 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ;  $T = 25,6^\circ \text{C}$ ;  $T_{\text{max}} = 32,3^\circ \text{C}$ ;  
 $T_{\text{min}} = 22,3^\circ \text{C}$ ;  $UR = 81,6\%$

c)  $R_{ns} = 0,77 R_s = 0,77 \cdot 17,6 = 13,55 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$

$$\text{d) } \text{dr} = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) =$$

$$1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} 288\right) = 1,008 \text{ rad}$$

$$\text{e) } \delta = 0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) =$$

$$0,409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} 288 - 1,39\right) = -0,169 \text{ rad}$$

$$\text{f) } X = (1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2) =$$

$$(1 - [\tan(-0,356)]^2 [\tan(-0,169)]^2)$$

$$= X = 0,9960 \text{ rad}$$

$$\text{g) } \omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi) \tan(\delta)}{X^{0,5}}\right] =$$

$$\frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(-0,356) \tan(-0,169)}{0,9960^{0,5}}\right] = 1,634 \text{ rad}$$

$$\text{h) } R_a = \frac{118,08}{\pi} \text{dr} \left[ \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right] =$$

$$\frac{118,08}{\pi} 1,008 \left[ 1,634 \sin(-0,356) \sin(-0,169) + \cos(-0,356) \cos(-0,169) \sin(1,634) \right]$$

$$R_a = 38,565 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

$$\text{i) } R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a =$$

$$(0,75 + 2 \cdot 10^{-5} 335) 38,565 = 29,182 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$$

$$\text{j) } e_s = 3,283 \text{ kPa } ^\circ \text{C}^{-1}; e_a = 2,679 \text{ kPa } ^\circ \text{C}^{-1}$$

(calculados no exemplo anterior)

$$k) \quad R_{nl} = \sigma \left[ \frac{(T_{max} + 273,16)^4 + (T_{min} + 273,16)^4}{2} \right]$$

$$\left( 0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left( 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

$$= 4,903 \cdot 10^{-9} \left[ \frac{(32,3 + 273,16)^4 + (22,3 + 273,16)^4}{2} \right]$$

$$\left( 0,34 - 0,14 \sqrt{2,679} \right) \left( 1,35 \frac{17,6}{29,18} - 0,35 \right)$$

$$R_{nl} = 2,06 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

$$l) \quad R_n = R_{ns} - R_{nl} = 13,55 - 2,06 = 11,49 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Na Figura 2 está apresentada uma planilha para cálculo de "Rn".

| Latitude |            | 20°25'S | Altitude  |           | 335    |                         |          |         |         |                      |                          |                           |          |          |                           |                           |                          |
|----------|------------|---------|-----------|-----------|--------|-------------------------|----------|---------|---------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------|----------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| (rad)    |            | -0,356  | (m)       |           |        |                         |          |         |         |                      |                          |                           |          |          |                           |                           |                          |
| Dia      | Dia do ano | T (°C)  | Tmax (°C) | Tmin (°C) | UR (%) | Rs (MJ/m <sup>2</sup> ) | dr (rad) | δ (rad) | X (rad) | α <sub>s</sub> (rad) | Ra (MJ m <sup>-2</sup> ) | Rso (MJ m <sup>-2</sup> ) | es (kPa) | ea (kPa) | Rns (MJ m <sup>-2</sup> ) | Rnl (MJ m <sup>-2</sup> ) | Rn (MJ m <sup>-2</sup> ) |
| 14/out   | 287        | 23,3    | 28,7      | 21,5      | 90,2   | 0,7                     | 1,007    | -0,163  | 0,9963  | 1,632                | 38,444                   | 29,091                    | 2,861    | 2,580    | 0,5                       | 1,4                       | 2,0                      |
| 15/out   | 288        | 25,6    | 32,3      | 22,3      | 81,6   | 17,6                    | 1,008    | -0,169  | 0,9960  | 1,634                | 38,565                   | 29,182                    | 3,283    | 2,679    | 13,6                      | -2,1                      | 11,5                     |
| 16/out   | 289        | 27,3    | 35,3      | 22,9      | 69,1   | 23,3                    | 1,009    | -0,175  | 0,9956  | 1,637                | 38,683                   | 29,271                    | 3,629    | 2,507    | 17,9                      | -3,5                      | 14,4                     |

**Fig. 2:** Exemplo de planilha eletrônica para cálculo de "Rn" (os valores em branco são fornecidos e os em amarelo são calculados).

As colunas que se referem aos cálculos de "Rns" e "Rnl" podem ser ocultadas, ficando a planilha na forma apresentada na Figura 3.

| Latitude |            | 20°25'S | Altitude  |           | 335    |                         |                          |
|----------|------------|---------|-----------|-----------|--------|-------------------------|--------------------------|
| (rad)    |            | -0,356  | (m)       |           |        |                         |                          |
| Dia      | Dia do ano | T (°C)  | Tmax (°C) | Tmin (°C) | UR (%) | Rs (MJ/m <sup>2</sup> ) | Rn (MJ m <sup>-2</sup> ) |
| 14/out   | 287        | 23,3    | 28,7      | 21,5      | 90,2   | 0,7                     | 2,0                      |
| 15/out   | 288        | 25,6    | 32,3      | 22,3      | 81,6   | 17,6                    | 11,5                     |
| 16/out   | 289        | 27,3    | 35,3      | 22,9      | 69,1   | 23,3                    | 14,4                     |

**Fig. 3:** Exemplo de planilha simplificada para cálculo de "Rn" (os valores em branco são fornecidos e os em amarelo são calculados).

### 1.3 Método alternativo para estimativa do saldo de radiação (Rn)

Em algumas regiões foram desenvolvidas equações empíricas para a determinação de "Rn" com base na radiação solar incidente (Rs). Pereira et al. (1998) observaram em Piracicaba, SP, que "Rn" pode ser obtida pela expressão  $R_n = 0,574 R_s$ . Conceição (2006), com base nos dados da UNESP/FEIS obtidos em Ilha Solteira (SP) obteve a expressão  $R_n = 0,653 R_s$ . Utilizando-se essa expressão no exemplo anterior:

$$R_n = 0,653 * 17,6 = 11,49 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Observa-se que esse valor foi igual ao obtido pelo método proposto por Allen et al. (1998), descrito nos itens 1.1 e 1.2.

## 2. Estimativa do fluxo de calor no solo (G)

A exemplo do que ocorre com o saldo de radiação, poucas estações meteorológicas possuem registros do fluxo de calor no solo. Devido, entretanto, aos baixos valores de "G" normalmente registrados em escala diária, pode-se considerá-lo como sendo igual a zero, quando não houver medições disponíveis (ALLEN et al., 1998).

## 3. Estimativa da radiação solar incidente (Rs)

Como se observou no item 1, o valor de "Rs" é necessário para a estimativa de "Rn". Algumas estações meteorológicas convencionais ou automáticas, contudo, não dispõem de registros de "Rs", havendo a necessidade, assim, de estimá-la.

2.1 Estimativa de "Rs" utilizando-se o número diário de horas de sol ("n")

Se a estação apresentar registros do número diário de horas de sol ("n"), o valor de "Rs" pode ser obtido empregando-se a expressão:

$$Rs = \left( a + b \frac{n}{N} \right) Ra \quad (16)$$

em que "a" e "b" são coeficientes empíricos determinados para cada região; "N" é o número máximo de horas de sol, que pode ser obtido por:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (17)$$

Os valores de "Ra" e " $\omega_s$ " foram definidos anteriormente (equações 12 e 15). Se os valores de "a" e "b" não foram determinados para a região estudada, pode-se utilizar, respectivamente, valores iguais a 0,25 e 0,50. Para Ilha Solteira a FEIS/UNESP indica os valores respectivos de 0,24 e 0,52.

Exemplo de cálculo de "Rs".

a) Dia 15/10/2004 - "n" = 4,8 h

b) 
$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s = \frac{24}{\pi} * 1,634 = 12,48 \text{ h}$$

c) 
$$Rs = \left( a + b \frac{n}{N} \right) Ra = \left( 0,24 + 0,52 * \frac{4,8}{12,48} \right) * 38,565 = 16,97 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$$

Um exemplo de planilha para cálculo de "Rs" está apresentado na Figura 4.

| Latitude |            | 20° 25' S |          | Altitude       |         | 335              |        |                       |                       |
|----------|------------|-----------|----------|----------------|---------|------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| (rad)    |            | -0,356    |          | (m)            |         |                  |        |                       |                       |
| Dia      | Dia do ano | n (h)     | dr (rad) | $\delta$ (rad) | X (rad) | $\omega_s$ (rad) | N (h)  | Ra MJ m <sup>-2</sup> | Rs MJ m <sup>-2</sup> |
| 14/out   | 287        | 0,1       | 1,007    | -0,163         | 0,9963  | 1,632            | 12,467 | 38,444                | 9,4                   |
| 15/out   | 288        | 4,8       | 1,008    | -0,169         | 0,9960  | 1,634            | 12,486 | 38,565                | 17,0                  |
| 16/out   | 289        | 8,4       | 1,009    | -0,175         | 0,9956  | 1,637            | 12,504 | 38,683                | 22,8                  |

Fig. 4: Exemplo de planilha eletrônica para cálculo de "Rs" com base em "n" (os valores em branco são fornecidos e os em amarelo são calculados).

2.2 Estimativa de "Rs" utilizando-se os valores de "Tmax" e "Tmin"

Quando não se dispõe dos valores de "n", pode-se utilizar os valores da temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) para a estimativa de "Rs":

$$Rs = k_{Rs} Ra \sqrt{(Tmax - Tmin)} \quad (18)$$

em que "k<sub>Rs</sub>" é um coeficiente empírico igual a 0,16 para regiões continentais e 0,19 para regiões costeiras.

Exemplo de cálculo de "Rs".

a) Local: Ilha Solteira (SP)

b) "k<sub>Rs</sub>" = 0,16; Tmax=32,3° C; Tmin=22,3° C

$$c) \quad Rs = k_{Rs} Ra \sqrt{(Tmax - Tmin)} = 0,16 * 38,565 * \sqrt{(32,3 - 22,3)} = 19,51 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$$

Esse valor de "Rs" foi bem superior ao medido (17,6 MJm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>), indicando que o coeficiente "k<sub>Rs</sub>" deve ser ajustado às condições regionais. Na Figura 5 está apresentado um exemplo de planilha para cálculo de "Rs" com base em "Tmax" e "Tmin".

| Latitude |            | 20° 25'   | Altitude  |          | 335     |         |                      |                       |                       |
|----------|------------|-----------|-----------|----------|---------|---------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| (rad)    |            | -0,356    | (m)       |          |         |         |                      |                       |                       |
| Dia      | Dia do ano | Tmax (°C) | Tmin (°C) | dr (rad) | δ (rad) | X (rad) | ω <sub>s</sub> (rad) | Ra MJ m <sup>-2</sup> | Rs MJ m <sup>-2</sup> |
| 14/out   | 287        | 28,7      | 21,5      | 1,007    | -0,163  | 0,9963  | 1,632                | 38,444                | 16,5                  |
| 15/out   | 288        | 32,3      | 22,3      | 1,008    | -0,169  | 0,9960  | 1,634                | 38,565                | 19,5                  |
| 16/out   | 289        | 35,3      | 22,9      | 1,009    | -0,175  | 0,9956  | 1,637                | 38,683                | 21,8                  |

Fig. 5: Exemplo de planilha eletrônica para cálculo de "Rs" com base em "Tmax" e "Tmin" (os valores em branco são fornecidos e os em amarelo são calculados).

#### 4. Estimativa da pressão atual de vapor (e<sub>a</sub>) e da velocidade do vento (U<sub>2</sub>)

Quando não se dispõe de valores de "UR" para a estimativa de "e<sub>a</sub>" (equação 6), ela pode ser calculada empregando-se a expressão:

$$e_a = 0,61 \exp\left(\frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) \quad (19)$$

Exemplo de cálculo de "e<sub>a</sub>".

a) "Tmin" = 22,3° C

$$b) \quad e_a = 0,61 \exp\left(\frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right) =$$

$$0,61 \exp\left(\frac{17,27 * 22,3}{22,3 + 237,3}\right) = 2,689 \text{ kPa}$$

Observa-se que esse valor foi bem próximo ao obtido empregando-se a equação 6 (2,679kPa).

Quando o valor de "U<sub>2</sub>" não estiver disponível, Allen et al. (1998) sugerem um valor médio fixo igual a 2,0 m s<sup>-1</sup>, que é a média obtida em 2000 estações ao redor do mundo. Esse valor, entretanto, é mais representativo para escalas mensais, já que para valores diários a utilização

de um valor fixo de "U<sub>2</sub>" pode resultar em erros significativos.

Para a estimativa de ETo em casos em que se disponha somente de dados de temperatura, Allen et al. (1998) apresentam o método de Hargreaves-Samani. Esse método foi descrito por Conceição e Mandelli (2005).

Na página da internet da Embrapa Uva e Vinho ([www.cnpuv.embrapa.br](http://www.cnpuv.embrapa.br)) estão disponíveis planilhas eletrônicas para cálculo de ETo pelo método de Penman-Monteith-FAO (EToPMF) e de Hargreaves-Samani (EToHS). Nas planilhas de estimativas de EToPMF são consideradas as diferentes situações apresentadas anteriormente, isto é, com e sem todos os valores necessários medidos.

## Bibliografia

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/XO49OE/XO49OE00.htm>. Acesso em: 17 out. 2006.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Modelos de estimativa do saldo de radiação na região noroeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006, Goiânia. **Anais...** Juazeiro: ABID, 2006. 1 CD-ROM.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Planilha para cálculo diário da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006. ? p. No prelo.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. **Cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. 4 p. (Embrapa Uva e Vinho. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/comunicado/cot061.pdf>. Acesso em: 17 out. 2006.

PEREIRA, A. B.; SENTELHAS, P. C.; VILLA NOVA, N. A. Estimativa do balanço de energia radiante em função de elementos climáticos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 201-206, 1998.

**Circular Técnica, 65** Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Uva e Vinho**  
Rua Livramento, 515 – Caixa Postal 130  
95700-000 Bento Gonçalves, RS  
**Fone:** (0xx)54 3455-8000  
**Fax:** (0xx)54 3451-2792  
<http://www.cnpuv.embrapa.br>



1ª edição  
1ª impressão (2006): on-line

**Comitê de Publicações** **Presidente:** Lucas da Ressurreição Garrido  
**Secretária-Executiva:** Sandra de Souza Sebben  
**Membros:** Jair Costa Nachtigal, Kátia Midori Hiwatashi, Osmar Nickel, Viviane Maria Zanella Bello Fialho

**Expediente** **Normatização bibliográfica:** Kátia Midori Hiwatashi