

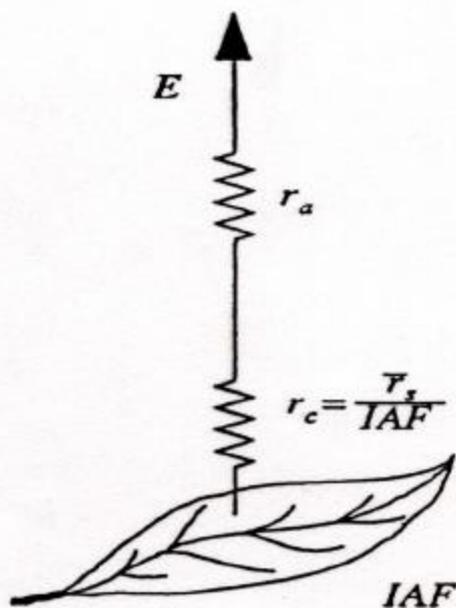
Evapotranspiração de referência. Fórmula FAO Penman-Monteith

[Link para a publicação FAO 56](#)

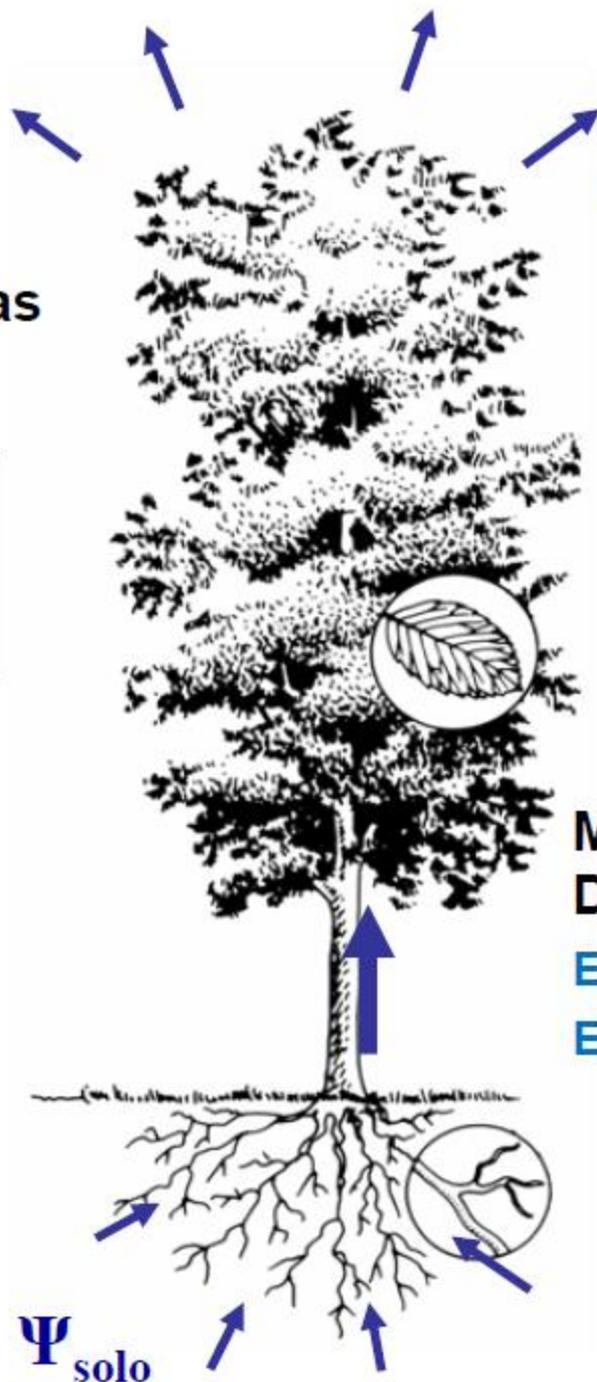
Durante o dia

Modelo de Penman-Monteith com as resistências activas ($r_c + r_a$)

$$g E_T = \frac{\Delta R_n + \rho c_p D / r_a}{\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)}$$



slide1



Ψ_{folha} diminui

O resto do sistema começa então a responder ao gradiente de potencial criado: sentido do solo para as folhas

Modelo Hidráulico, Lei de Darcy:

$$E_t = G_{\text{solo-folha}} (\Psi_{\text{solo}} - \Psi_{\text{folha}})$$

$$E_t = (1/r_{\text{solo-folha}}) (\Psi_{\text{solo}} - \Psi_{\text{folha}})$$

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)}$$

- ET = Transpiração ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 R_n = Radiação líquida ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 G = Densidade do fluxo de calor do solo ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)
 λ = Calor latente de vaporização da água (MJ Kg^{-1})
 ρ = Massa volúmica do ar
 c_p = Calor específico do ar ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
 e_s = Pressão do vapor de saturação (kPa)
 e_a = Pressão actual do vapor de água (kPa)
 $e_s - e_a$ = Defice de saturação (kPa)
 Δ = Declive da curva da saturação do vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
 γ = Constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
 r_a = Resistência aerodinâmica (s m^{-1})
 r_c = Resistência do copado (s m^{-1})

Metodologia da FAO para a determinação dos consumos hídricos das culturas

A resistência aerodinâmica varia com as condições climáticas e a rugosidade da superfície

A resistência do copado varia com o tipo e coberto vegetal e não é directamente conhecida para cada cultura.

A **metodologia da FAO** para a determinação dos consumos hídricos das culturas consiste em calcular a evapotranspiração para uma cultura fictícia, semelhante a um relvado extenso, sempre bem abastecido de água e mantido permanentemente com 12 cm de altura. Para estas condições define-se um valor de r_a e outro de r_c .

A ET calculada para esta referência denomina-se **EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA** (ET_o) e depende apenas das condições climáticas.

A **Evapotranspiração da paisagem** (ET_L) calcula-se introduzindo o conceito de Coeficiente da paisagem (k_L), através da expressão

$$ET_L = ET_o \times k_L$$

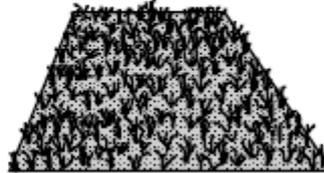
climate



Radiation
Temperature
Wind speed
Humidity

+

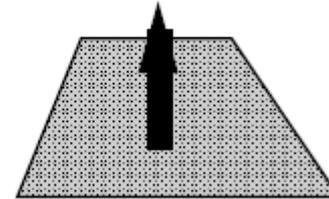
grass
reference
crop



well watered
grass

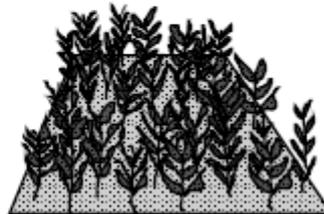
=

ET_0



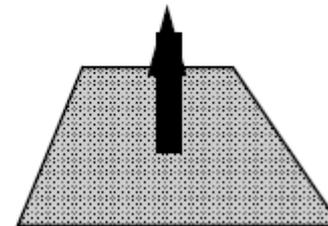
K_L factor

ET_0 x



=

ET_L



CONDIÇÕES PARA A SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

RESISTÊNCIA DO COPADO

$$r_c = \frac{R_e}{0.5 \times LAI} \approx \frac{200}{LAI}$$

R_e = resistência estomática, considerada aproximadamente igual a 200 s m^{-1}

LAI= Índice de área foliar.

Para a relva tem-se

$$LAI = 24 h_c$$

em que h_c , em metros, é a altura da relva.

No caso da situação de referência ($h_c=0,12 \text{ m}$)

$$LAI = 2,88$$

$$r_c = \frac{200}{2.88} = 70$$

RESISTÊNCIA AERODINÂMICA

Considerando a medição das variáveis meteorológicas à altura standard de 2 metros e a altura da cultura de 0,12 m, tem-se:

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

Considerando o valor anteriormente calculado da resistência do copado

$$\frac{r_c}{r_a} = \frac{70}{\frac{208}{U_2}} = 0,34 U_2$$

A fórmula de Penman-Monteith pode ser analisada como a soma de duas componentes, radiação e aerodinâmica.

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} + \frac{\rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}$$

Componente aerodinâmica

Na componente aerodinâmica, substituindo r_c e r_a pelos seus valores para a cultura de referência e considerando que 86.4 é um fator de conversão de $\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para mm d^{-1} , fica:

$$ET_{0\text{aero}} = \frac{86.4}{\lambda} \times \frac{1}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{\rho C_p}{r_a} (e_s - e_a)$$

Considerando que c_p (calor específico) pode ser estimado por

$$C_p = \gamma \frac{0.622}{P} \lambda \times 10^3$$

em que P é a pressão atmosférica e λ é o calor latente de vaporização

$$ET_{\text{aero}} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{\rho 0.622 \lambda}{P} \times \frac{86400}{\lambda} \times \frac{(e_s - e_a)}{r_a}$$

Considerando que ρ (massa volúmica do ar) pode ser estimada em função da pressão e da temperatura, a partir da equação:

$$\rho = 3.486 \frac{P}{1.01(T + 273)}$$

e substituindo a resistência aerodinâmica (r_a) pelo seu valor estimado para a cultura de referência

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

em que U_2 é a velocidade do vento medida à altura de 2 metros, resulta:

$$ET_{0aero} = \frac{\gamma}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 \times U_2)} \times \frac{900}{T + 273} \times U_2(e_a - e_d)$$

Que é a componente aerodinâmica do método FAO-Penmam_Monteith

EQUAÇÃO FAO-PENMANN-MONTEITH

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

- ET_o = Evapotranspiração de referência (mm dia-1)
 R_n = Radiação líquida (Mj m-2 dia-1)
 G = Densidade do fluxo de calor do solo (Mj m-2 dia-1)
 T = Temperatura média do ar (° C)
 U_2 = Velocidade média do vento à altura de 2 m (m s-1)
 e_s = Pressão do vapor de saturação (kPa)
 e_a = Pressão actual do vapor de água (kPa)
 $e_s - e_a$ = Defice de saturação (kPa)
 Δ = Declive da curva da pressão do vapor (kPa °C-1)
 γ = Constante psicrométrica (kPa °C-1)