



Método da Razão de Bowen

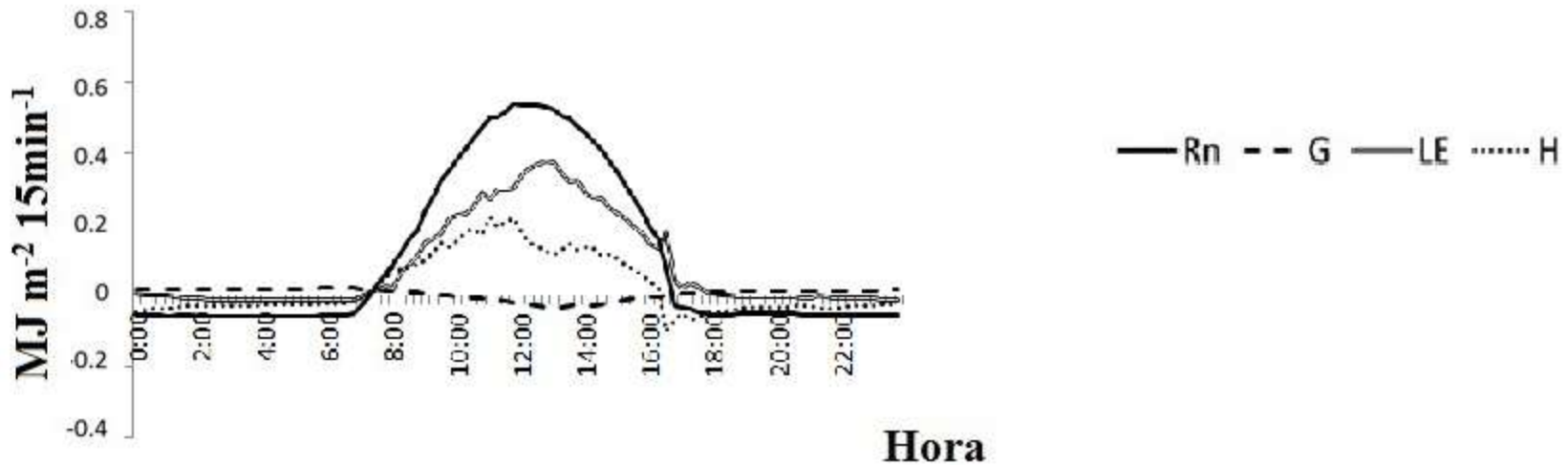
Daniel Nassif

LEB/ESALQ/USP

Lab. de Mod. de Sistemas Agrícolas Tropicais - LMA

Introdução

- Um dos principais métodos
- Aplicações
 - Balanço de energia em culturas ou áreas



Introdução

- Um dos principais métodos
- Aplicações
 - Balanço de energia em culturas ou áreas
 - Determinação da perda de água
 - Evapotranspiração
 - Coeficiente de cultura (K_c)
 - Relações hídricas em plantas

Vantagens

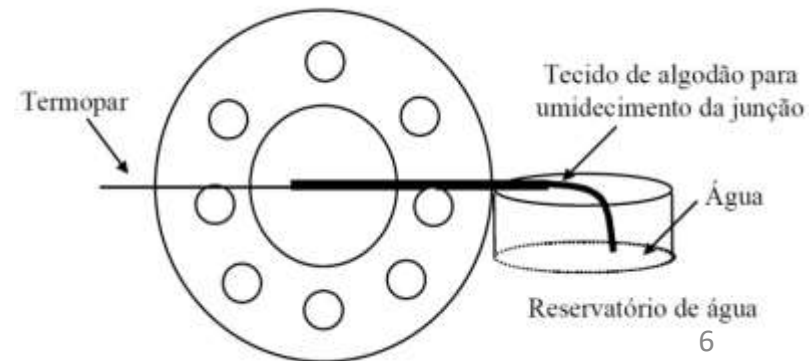
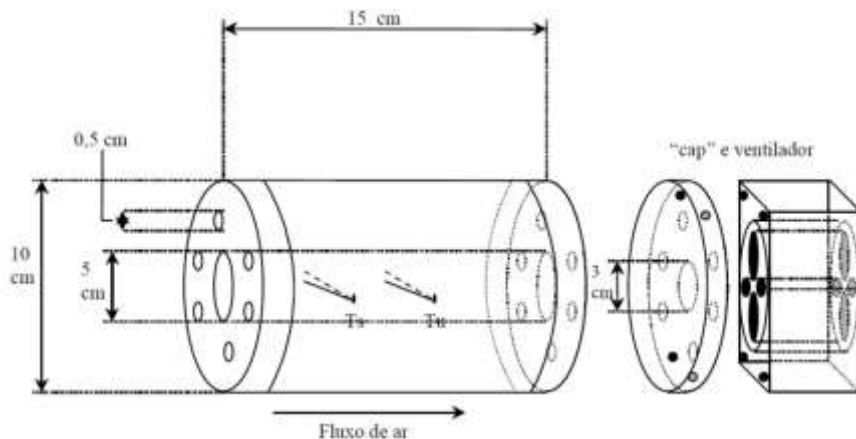
- Método indireto, prático e simples
- Determinações precisas e contínuas de ET
- Não é necessário informações sobre características aerodinâmicas
- Medidas em pequena escala de tempo

Limitações

- Grande influência da sensibilidade dos instrumentos
- Descontinuidade do β quando ~ -1
- Necessidade de bordadura (fetch)
- Menor precisão em condições muito secas
 - β positivo de valor elevado

Equipamentos utilizados

- Psicrômetro aspirado de termopar (Marin et al., 2001)
 - Ao menos 2 psicrômetros
 - Termopar tipo T (cobre-constantan) – ideal para a faixa de temperatura avaliada



Equipamentos utilizados

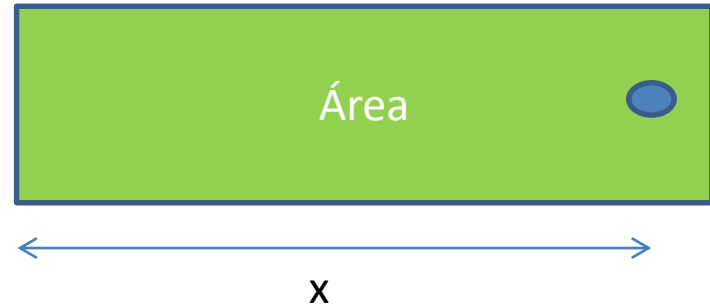
- Saldo radiômetro
- Fluxo de calor no solo
- Datalogger



Instalação em Campo

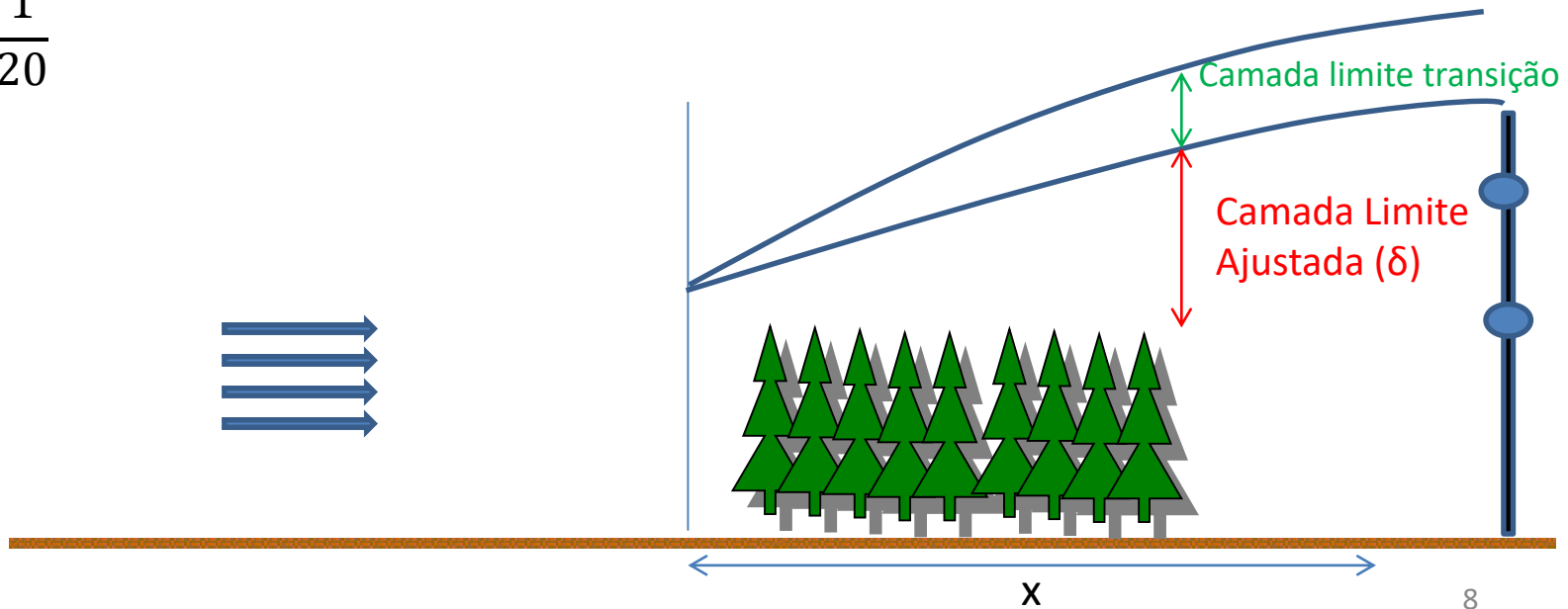
- Bordadura “fetch”

Vento predominante



$$\delta = 0,1 * x^{0,8} * z_0^{0,2}$$

$$\frac{\delta}{x} = \frac{1}{100} a \frac{1}{20}$$

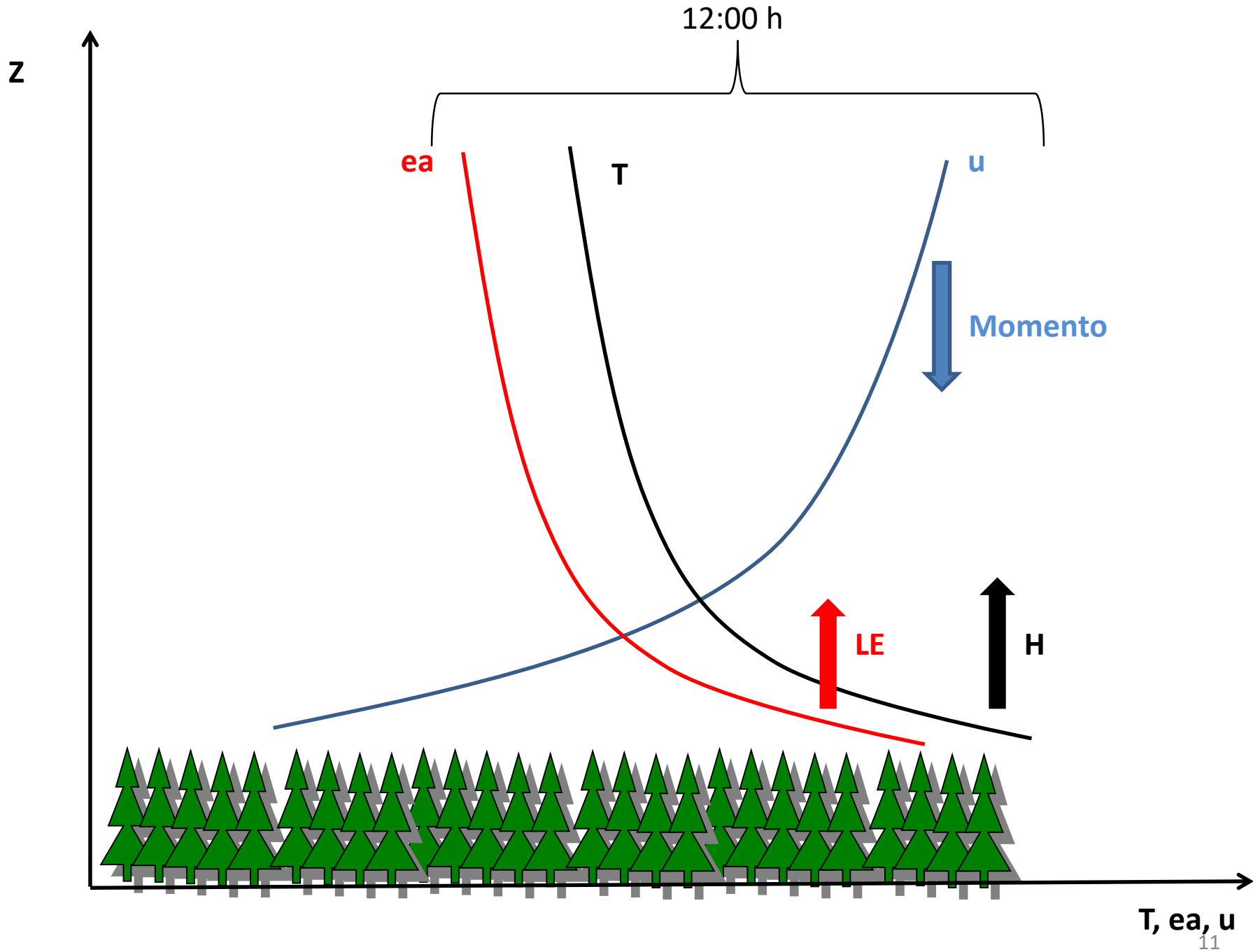


Princípio de Funcionamento

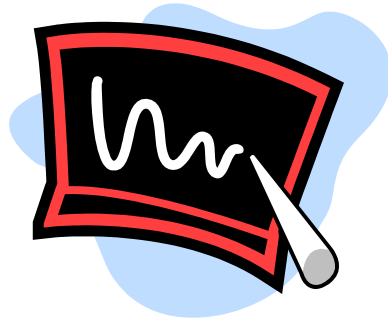
- Estimativa do fluxo de calor latente (LE)
 - Gradiente de temperatura
 - Gradiente de umidade
 - Saldo de radiação
 - Fluxo de calor no solo

Pressupostos

- Transporte de massa unidimensional (sem gradiente horizontal)
- Sensores dentro de subcamada de equilíbrio (camada limite ajustada)
- Superfície homogênea (fontes e drenos de calor, vapor d'água e momento)
- Razão entre coef. Difusividade de calor sensível e latente é igual a 1 ($K_h/K_e = 1$)



Dedução do Método



Cálculo ET

$$ET(mm) = \frac{LE}{\lambda} = \frac{LE}{2,45}$$

- Sabe-se que

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta}$$

Temos

$$ET(mm) = \frac{Rn - G}{(1 + \beta) * 2,45}$$

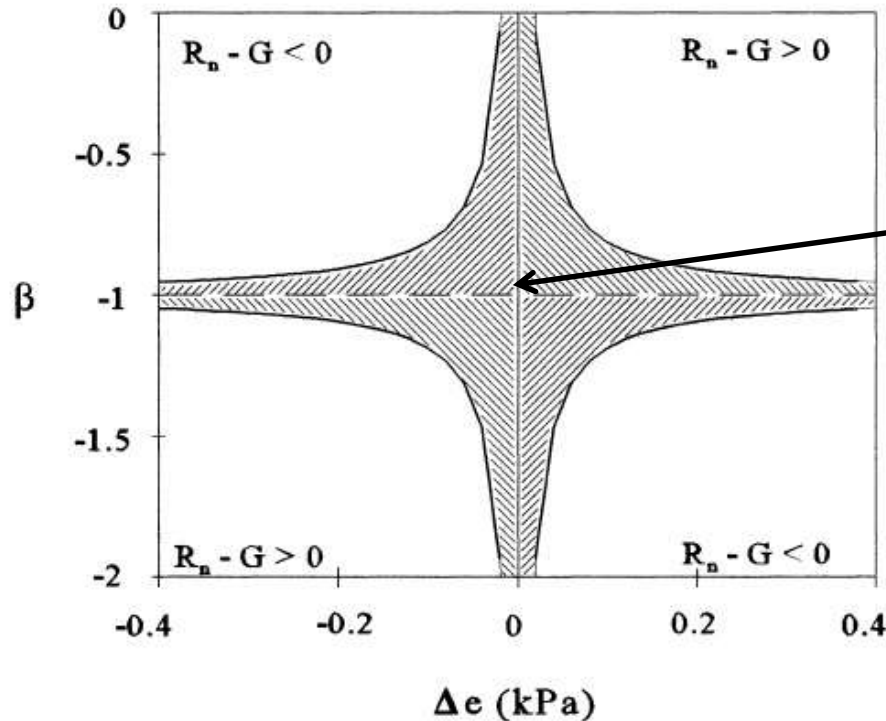
Dados coletados em campo

- Temperatura bulbo seco 1 (inferior) e 2(superior)
- Temperatura bulbo úmido 1 e 2
- Saldo de radiação (R_n)
- Fluxo de calor no solo (G)

Avaliação dos dados

- Metodologia proposta por Perez et al., 1999
 - Avaliar a incoerência física dos fluxos
 - Normalmente ocorrem na transição Rn-G de positivo para negativo e vice-versa (início da manhã e final da tarde), ou por erro dos sensores
 - Avaliar a ocorrência de advecção
 - Pode-se desconsiderar alguns dados
 - Interpolação com os dados anteriores e posteriores (até 2h)

Perez et al., 1999



Descarte de dados com erro

Fig. 2. Excluded interval of Bowen ratio (β) values around -1 (shaded area), where the energy fluxes obtained by the Bowen ratio-energy balance (BREB) method are invalid. Each quadrant defines the valid β values corresponding to the indicated available energy $R_n - G$, and the solid line bounds the interval $[-1 \pm |\epsilon|]$, where ϵ is the error interval defined by Eq. (11) and Δe the vapor pressure difference between the two measurement levels.

Condicionais Perez et al., 1999

Energia disponível	Diferença de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxos de calor
$R_n - G > 0$	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	$\lambda E > 0$ e $H \leq 0$ para $1 - \beta \leq 0$ ou $H > 0$ para $\beta > 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	$\lambda E < 0$ e $H > 0$
$R_n - G < 0$	$\Delta e > 0$	$\beta < -1$	$\lambda E > 0$ e $H < 0$
	$\Delta e < 0$	$\beta > -1$	$\lambda E < 0$ e $H \geq 0$ para $1 - \beta \leq 0$ ou $H < 0$ para $\beta > 0$

Exemplo de utilização

- Dados de gramado
 - Dados Rn estação Esalq (15 min)
 - Valor em $W m^{-2}$
 - Transformação em $MJ m^{-2} 15min^{-1}$
- $W m^{-2} * 900 = J m^{-2} 15min^{-1}$
- 900 segundos em 15 minutos**
- $J m^{-2} 15min^{-1} / 1.000.000 = MJ m^{-2} 15min^{-1}$

Exemplo de utilização

- Dados coletados equipamento no campo
 - T_{s1} , T_{u1}
 - T_{s2} , T_{u2}
 - G (fluxo calor solo)

Exemplo de utilização

- G – em mV
 - Transformar em MJ m⁻² 15min⁻¹
 - $(\text{mV} * 1000) / 63,4 = \text{W m}^{-2}$
 - 1000 mV por V**
 - 63,4 V por W (calibração do equipamento utilizado)**

 - $\text{W m}^{-2} * 900 = \text{J m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$
 - 900 segundos em 15 minutos**
 - $\text{J m}^{-2} 15\text{min}^{-1} / 1.000.000 = \text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$

Exemplo de utilização

- Cálculo de Rn-G
- Cálculo de β
- Cálculo de LE
- Cálculo de H ($H = LE * \beta$)
- Avaliação por Perez, 1999

Exemplo de utilização

- Dados
 - Inferior ($T_{s1} = 26,65 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{u1} = 22,78 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - Superior ($T_{s2} = 25,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{u2} = 21,01 \text{ }^{\circ}\text{C}$)
 - $R_n = 230,54 \text{ W m}^{-2}$
 - $G = 1,374 \text{ mV}$

Exemplo de utilização

- 1º - Rn de $W m^{-2}$ para $MJ m^{-2} 15min^{-1}$

$$(230,54 * 900)/10^6$$

$$**0,207 MJ m^{-2} 15min^{-1}**$$

Exemplo de utilização

- 2º - G em MJ m⁻² 15min⁻¹

$$(1,374 * 1000)/63,4 = 21,67 \text{ W m}^2$$

$$(21,67 * 900)/10^6$$

$$\mathbf{0,0195 \text{ MJ m}^{-2} \text{ 15min}^{-1}}$$

Exemplo de utilização

- 3º - Cálculo de B

$$\beta = \left[\left(\frac{s + \gamma}{\gamma} \right) \frac{\Delta T u}{\Delta T s} - 1 \right]^{-1}$$

$$\beta = 0,25348$$

Nota: calcular s com base em Tu média das duas alturas.

Exemplo de utilização

- 4º - Cálculo LE

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta}$$

$$LE = \frac{0,207 - 0,0195}{1 + (0,25348)} = \mathbf{0,1499}$$

Exemplo de utilização

- 5º - Cálculo H

$$H = LE * \beta$$

$$H = 0,1499 * 0,25348$$

$$H = 0,03801$$

- 6º - Cálculo Δe (Para aplicação no método de Perez et al. 1999)

$$\Delta e = e_{baixo} - e_{cima}$$

$$\Delta e = 2,528 - 2,236 = 0,292 \text{ kPa}$$

Exemplo de utilização

- 7º Avaliação por Perez et al., 1999

Energia disponível	Diferença de pressão de vapor	Razão de Bowen	Fluxos de calor
$R_n - G > 0$	$\Delta e > 0$ $\Delta e < 0$	$\beta > -1$ $\beta < -1$	$\lambda E > 0$ e $H \leq 0$ para $1 - \beta \leq 0$ ou $H > 0$ para $\beta > 0$ $\lambda E < 0$ e $H > 0$
$R_n - G < 0$	$\Delta e > 0$ $\Delta e < 0$	$\beta < -1$ $\beta > -1$	$\lambda E > 0$ e $H < 0$ $\lambda E < 0$ e $H \geq 0$ para $1 - \beta \leq 0$ ou $H < 0$ para $\beta > 0$

Dados aceitos pela metodologia Perez et al., 1999

Exemplo de utilização

- 8º - cálculo evapotranspiração

$$ET(mm) = \frac{LE}{\lambda} = \frac{0,1499}{2,45} = 0,0612 \text{ kg } 15\text{min}^{-1}$$

= 0,0612 litros em 15 min

extrapolando,

$$0,0612 * 48 = \mathbf{2,93 \text{ mm dia}^{-1}}$$

48 períodos de 15 min em um dia de 12 horas