

# AJUSTE DO MODELO DE PENMAN-MONTEITH PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NA ZONA CANAVIEIRA DE ALAGOAS<sup>1</sup>

Manoel da Rocha TOLEDO FILHO<sup>2</sup>, Moacir Antonio BERLATO<sup>3</sup>, Roberto Fernando da Fonseca LYRA<sup>4</sup>,  
Homero BERGAMASCHI<sup>3</sup> & João Ito BERGONCI<sup>3</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

Em regiões onde o problema hídrico afeta o desempenho produtivo das culturas agrícolas, o conhecimento da evapotranspiração é, sem dúvida, primordial para o adequado gerenciamento das atividades agrícolas. Este parâmetro é um dos principais componentes do balanço de água, sendo de grande utilidade na quantificação das disponibilidades hídricas regionais, nos vários campos científicos que tratam dos problemas do manejo da água (Bergamaschi, 1992; Berlato & Molion, 1981). Tem particular importância em regiões áridas e semi-áridas, sobretudo quando se considera a expansão da irrigação suplementar. Assim, o conhecimento da quantidade de água consumida nas diversas etapas de desenvolvimento das plantas cultivadas é fundamental na administração de uma irrigação racional.

Embora apresentando algumas limitações, o método do balanço de energia, também conhecido como método da razão de Bowen, tem sido adotado como padrão, por inúmeros pesquisadores, na estimativa da evapotranspiração de culturas para fins de monitoramento agrícola. Sedyama (1996) cita que este método exige uma área tampão uniforme a barlavento para garantir que os fluxos horizontais não sejam significativos no processo. De acordo com Heilman & Brittin (1989), a principal exigência do método é que os gradientes de umidade do ar e temperatura sejam medidos dentro da camada limite ajustada.

Por sua vez, ao estimar a perda de água em um sistema cultivado, o método de Penman-Monteith concilia aspectos aerodinâmicos e energéticos envolvidos, bem como as resistências aerodinâmica e da própria cultura na transferência de vapor para a atmosfera. É um dos modelos mais avançados para a estimativa da evapotranspiração e que necessita informações meteorológicas coletadas em apenas um único nível.

O objetivo deste trabalho foi ajustar a equação de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração da cana-de-açúcar e compará-la com o método do balanço de energia, sendo este último considerado como método padrão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo teve início com a coleta de dados micrometeorológicos, dentro do Projeto "Micrometeorologia da Mata Atlântica Alagoana" (MICROMA), do Departamento de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas. Os dados foram obtidos em uma estação micrometeorológica automática, instalada em uma área comercial de 12,5 ha de cultivo contínuo de cana-de-açúcar, em Pilar, Alagoas (9°36'S, 35°53'W, 107m de altitude), no ano de 1999.

<sup>1</sup> Parte da tese de doutorado do primeiro autor. Curso de Pós-graduação em Fitotecnia - Área de concentração Agrometeorologia - UFRGS

<sup>2</sup> Dep. Meteorologia, Univ. Fed. Alagoas. mrtf@terra.com.br

<sup>3</sup> Univ. Fed. do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS

<sup>4</sup> Dep. Meteorologia, Univ. Fed. Alagoas. Maceió, AL

A estimativa do fluxo de calor latente de evaporação (LE), pelo método do balanço de energia, utilizando-se da razão de Bowen, é dada por:

$$LE = \frac{-(Rn + S)}{1 + \beta} \quad (1)$$

sendo Rn o saldo de radiação sobre a cultura medido a 9,63m, S o fluxo de calor no solo em 2 pontos, a 0,05m de profundidade (MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>) e  $\beta$  a razão de Bowen dada por:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (2)$$

onde H é o fluxo de calor sensível. Usando as equações básicas do transporte de calor sensível e latente e considerando igualdade dos coeficientes de transporte turbulento ( $K_h = K_w$ ), resulta a expressão de cálculo da razão de Bowen:

$$\beta = \gamma \left( \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1} \right) \quad (3)$$

sendo  $T_1$  e  $T_2$  as temperaturas do ar e  $e_1$  e  $e_2$  as pressões de vapor, ambos em dois níveis observados nas alturas 1,75 e 4,73m, respectivamente e  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico (0,66mb.°C<sup>-1</sup>).

A fórmula do método combinado de Penman-Monteith é:

$$LE = \frac{\Delta(Rn - S) + 86400C_{pp} \frac{\Delta e}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (4)$$

sendo  $\Delta$  a inclinação da curva da pressão de saturação de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>),  $\rho$  a densidade do ar (1,275kg.m<sup>-3</sup>),  $C_p$  o calor específico do ar a pressão constante (1,04.10<sup>-3</sup>.MJ.kg<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>),  $\Delta e$  o déficit de saturação de vapor d'água no ar (kPa),  $r_a$  a resistência aerodinâmica para difusão de calor e vapor (s.m<sup>-1</sup>) e  $r_c$  a resistência do dossel vegetativo (s.m<sup>-1</sup>). O valor 86400 converte o tempo da resistência, de segundos para dia.

A evapotranspiração (ET) (mm.dia<sup>-1</sup>) é obtida dividindo LE pelo calor latente de evaporação ( $L = 2,356$  MJ.kg<sup>-1</sup>) (Allen et al., 1989).

A resistência aerodinâmica foi calculada conforme Monteith & Unsworth (1975):

$$r_a' = \frac{\ln \left[ \frac{(z-d)}{z_o'} \right]}{k u'} = \frac{\ln \left[ \frac{(z-d)}{z_o'} \right]}{k u'} + \frac{\ln \left[ \frac{z_o}{z_o'} \right]}{k u'} \quad (5)$$

$$r_a' = r_a'' + r_b \quad (6)$$

sendo  $r_a''$  a resistência aerodinâmica à transferência de momento e  $r_b$  uma resistência adicional para transporte de

calor e vapor d'água. Valores de  $r_b$  foram estimados segundo Monteith & Unsworth (1975) por:

$$r_b = 6,2 u^*^{-0,67} \quad (7)$$

onde  $u^*$  é a velocidade de fricção (m.s-1).

A resistência da cultura ( $r_c$ ) foi estimada pela divisão da resistência mínima da superfície, para uma única folha, considerada igual a  $100 \text{ s.m}^{-1}$ , pela metade do índice de área foliar (IAF) do dossel (Jensen et al., 1975):

$$r_c = \frac{100}{0,5 \text{ IAF}} \quad (8)$$

Valores diários e quinquidiais de evapotranspiração determinados pelos métodos de Penman-Monteith e do balanço de energia, este último considerado padrão, foram comparados durante todo o ciclo da cultura, incluindo períodos úmidos e secos, bem como para um período denominado "período potencial", cujo critério de escolha foi a cobertura completa do solo, com IAF entre 4 e 8 e sem deficiência hídrica no solo. O chamado período potencial esteve compreendido entre 14/04/1999 e 03/07/1999, respectivamente 200 e 280 dias após o corte.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período potencial, em escala diária, os métodos produziram estimativas de evapotranspiração da cana-de-açúcar aproximadas, com coeficiente de correlação igual a 0,91, significativo a 1% (Figura 1A). Nota-se que houve pequena dispersão dos pontos em torno da linha 1:1, indicando que a estimativa da evapotranspiração se aplica bem em todas condições de demanda atmosférica. Observa-se que, com o aumento da escala temporal do nível diário para quinquidial, houve um aumento no grau de correlação entre os métodos, no período potencial ( $R=0,93$ , significativo a 1%) (Figura 1B).

Quando a análise foi feita considerando todo ciclo da cultura, incluindo períodos secos e úmidos, obteve-se uma menor correlação entre os métodos, de 0,73, embora também significativa a 1%. Isso evidencia que os métodos, mesmo os mais elaborados, como é o caso do de Penman-Monteith, apresentam melhores resultados em condições potenciais (cobertura completa do solo e sem deficiência de água no solo).

Ao considerar o método do balanço de energia como padrão para a obtenção de dados confiáveis de evapotranspiração, em condições potenciais, os resultados permitem inferir que a ET da cana-de-açúcar pode ser estimada pelo método de Penman-Monteith, com os ajustes feitos neste trabalho, válidos para as condições de cultivo da zona canavieira de Alagoas. Por outro lado, este método apresenta a vantagem de exigir (tão somente) dados meteorológicos medidos em apenas um nível, facilmente obtidos em estações meteorológicas convencionais.

### 4. CONCLUSÃO

Na ausência de limitação hídrica e com a cana-de-açúcar cobrindo totalmente o solo, as estimativas de evapotranspiração pelos métodos de Penman-Monteith e

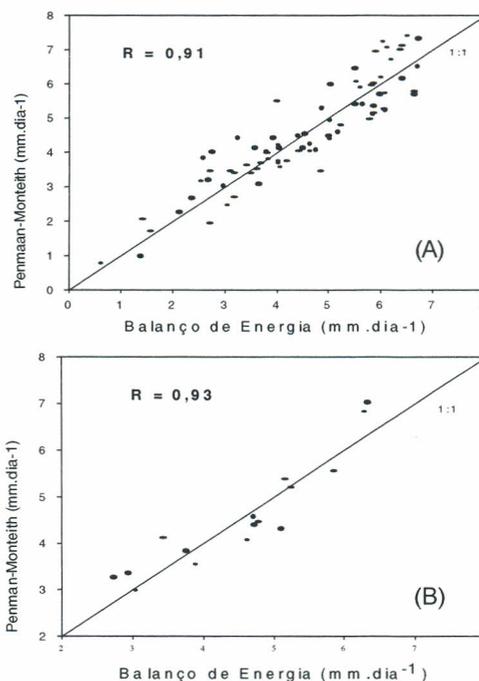


Figura 1 – Relação entre totais diários de evapotranspiração de cana-de-açúcar (A) e quinquidiais, (B), durante o período potencial, obtidos pelos métodos de Penman-Monteith e pelo balanço de energia. Pilar, AL, 1999

balanço de energia apresentaram alta correlação. O grau de associação entre os métodos aumentou quando a escala temporal passou de diária para quinquidial. Portanto, estimativas adequadas da evapotranspiração dessa cultura podem ser obtidas através do método de Penman-Monteith, ajustado neste trabalho, para as condições da região canavieira de Alagoas.

### 5. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G., JENSEN, M.E., WRIGHT, J.L. et al. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, p.650-662, 1989.
- BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. Porto Alegre. Editora da Universidade UFRGS. 125 p., 1992.
- BERLATO, M. A., MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre. Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1981 95 p. ( Boletim Técnico, 7 ).
- HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, n. 1, p. 261-273, 1989.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York, American Society of Civil Engineers. 1989.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. **Principles of environmental physics**. 2nd. ed, London: Edward Arnold, 1990. 219 p.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.1, p. i - xii, 1996.