

## DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO DOSEL DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*) PARA UTILIZAÇÃO NO MODELO DE PENMAN-MONTEITH

### EVALUATION OF SUGARCANE (*Saccharum spp*) CANOPY RESISTANCE FOR UTILIZATION IN THE PENMAN-MONTEITH MODEL

José Geanini Peres<sup>1</sup>, Antonio Roberto Pereira<sup>2</sup> e Marcos Vinícius Folegatti<sup>3</sup>

#### RESUMO

Determinou-se a resistência do dossel da cana-de-açúcar, para a situação climática de Araras - SP, pela aplicação do método do balanço de energia. A resistência do dossel foi obtida para condições ótimas de umidade no solo, mantida sempre próxima à capacidade de campo. Na escala decendial, a resistência do dossel média foi da ordem de  $43,5 \pm 4,5 \text{ s m}^{-1}$  com uma variação de 3 a  $82 \text{ s m}^{-1}$ . Na mensal, observou-se um valor médio de  $41,7 \pm 7,1 \text{ s m}^{-1}$ , com uma variação entre 8 a  $74 \text{ s m}^{-1}$ . Nas duas escalas de tempo analisadas, foram observados valores inconsistentes (negativos) para a resistência do dossel.

**Palavras-chave:** resistência do dossel, método do balanço de energia, modelo de Penman-Monteith.

#### SUMMARY

The sugarcane canopy resistance was estimated for the climatic conditions of Araras - SP by application of the energy balance method. The canopy resistance was obtained under optimal available soil water kept around its field capacity. The average values of the canopy resistance for the ten-day and monthly time scales were, respectively,  $43.5 \pm 4.5 \text{ s m}^{-1}$  and  $41.7 \pm 7.1 \text{ s m}^{-1}$ . For the ten-day scale, the canopy resistance varied from 3 to  $82 \text{ s m}^{-1}$ ; while in the monthly scale the was from 8 to  $74 \text{ s m}^{-1}$ . Inconsistent values (negative) of canopy resistance were obtained for both situations.

**Key words:** canopy resistance, energy balance method, Penman-Monteith model.

#### INTRODUÇÃO

A estimativa da resistência do dossel ( $r_c$ ) pode ser feita a partir de medidas diretas da resistência estomática, através de porômetros de difusão, e do índice de área foliar. No entanto, esta é uma tarefa complexa e demorada e, por esta razão, dentro dos limites dos erros experimentais, a resistência do dossel pode ser determinada como resíduo da aplicação do modelo de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), desde que se conheça a evapotranspiração e as variáveis climáticas envolvidas no processo, assegurando-se, ainda, que a evaporação do solo seja desprezível (MONTEITH, 1985; LUCHIARI Jr. & RIHA, 1991; OKE, 1992).

MONTEITH (1985) sugere que se adote  $r_c = 50 \text{ s m}^{-1}$  para a determinação da evapotranspiração potencial das plantas cultivadas. Este valor concorda com aqueles apresentados por OKE (1992): grama  $70 \text{ s m}^{-1}$ , culturas agrícolas  $50 \text{ s m}^{-1}$  e florestas  $80$  a  $150 \text{ s m}^{-1}$ .

Trabalhando com nove culturas irrigadas, O'TOOLE & REAL (1986) encontraram valores de  $r_c$  variando de  $14 \text{ s m}^{-1}$  (arroz inundado) até  $69 \text{ s m}^{-1}$  (figueira), sendo que sete das culturas estudadas apresentaram  $r_c$  entre 32 e  $69 \text{ s m}^{-1}$ .

THOMPSON & BOYCE (1972), trabalhando com cana-de-açúcar, após o fechamento da cultura, encontraram para  $r_c$  um valor médio de  $75 \pm 2,90 \text{ s m}^{-1}$ , com uma variação de 50 a  $100 \text{ s m}^{-1}$ .

O objetivo desta pesquisa foi determinar a resistência do dossel para a cultura da cana-de-açúcar para utilização no modelo de Penman-Monteith.

<sup>1</sup>Prof. Adjunto. Departamento Recursos Naturais e Proteção Ambiental. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de São Carlos. CP 153, CEP 13600-970, Araras - SP. e-mail: jopepe@cca.ufscar.br

<sup>2</sup>Professor Associado. Departamento de Física e Meteorologia. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". CP 9, CEP 13.418-900, Piracicaba - SP. e-mail: arpereir@carpa.ciagri.usp.br

<sup>3</sup>Professor Associado. Departamento de Engenharia Rural. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". CP 9, CEP 13.418-900, Piracicaba - SP. e-mail: mvfolega@carpa.ciagri.usp.br

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de evapotranspiração da cana-de-açúcar (ETc), ciclo de cana-planta, foram coletados em um lisímetro de lençol freático constante instalado na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos - CCA / UFSCar, localizado em Araras - SP (22°18'S; 47°23'W; 717m).

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos (Cwa). O solo predominante é um latossolo vermelho-escuro, distrófico, de textura argilosa. A variedade de cana-de-açúcar estudada foi a NA56-79, conduzida no ciclo de cana-planta. O plantio da cultura no lisímetro se deu em 07/12/79 e a colheita em 18/05/81.

A ETc foi obtida de forma contínua em um lisímetro de nível freático constante, medindo 6,7m de comprimento, 4,5m de largura e 1,5m de profundidade. O lisímetro era dotado de uma cobertura metálica móvel, que era mantida fechada no período noturno e durante as chuvas. Para assegurar as condições ótimas de umidade no solo, o teor de água no solo do lisímetro e da bordadura era continuamente monitorado por tensiômetros. Maiores detalhes sobre o plantio e o manejo da cultura da cana-de-açúcar, bem como sobre o lisímetro e seu funcionamento, podem ser encontrados em BARBIERI (1981).

Os valores medidos de ETc foram processados em bases decenal e mensal, satisfazendo as condições de período mínimo de análise recomendado por JENSEN et al. (1990) para o modelo de Penman-Monteith. Todas as informações meteorológicas utilizadas neste estudo foram coletadas no posto meteorológico padrão do CCA/UFSCar, situado cerca de 200m do lisímetro.

Segundo MONTEITH (1965), a evapotranspiração de uma dada cultura pode ser estimada pela expressão:

$$ETc_{PM} = \frac{1}{I} \left[ \frac{\Delta(R_n - G) + f\rho c_p(e_s - e_a)/r_a}{\Delta + g \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \right] \quad (1)$$

em que  $Etc_{PM}$  = estimativa da evapotranspiração da cana-de-açúcar pelo modelo de Penman-Monteith ( $mm\ dia^{-1}$ );  $\lambda$  = calor latente de vaporização da água ( $2,45MJ\ kg^{-1}$ );  $\Delta$  = tangente à curva de pressão de saturação do vapor d'água em função da temperatura no ponto dado pela temperatura média do ar ( $kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $R_n$  = densidade de fluxo de radiação líquida ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ );  $G$  = densidade de fluxo de calor no solo ( $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ );  $\rho$  = massa específica do ar ( $1,10kg\ m^{-3}$ );

$c_p$  = calor específico do ar à pressão constante ( $1,01\ 10^{-3}\ MJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ );  $e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água (kPa);  $e_a$  = pressão atual do vapor d'água (kPa);  $\gamma$  = constante psicrométrica ( $0,066\ kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $r_c$  = resistência do dossel ( $s\ m^{-1}$ );  $r_a$  = resistência aerodinâmica ( $s\ m^{-1}$ ) e  $f$  = fator de conversão ( $86.400s\ dia^{-1}$ ).

A resistência aerodinâmica ( $r_a$ ) à transferência de calor sensível e latente foi obtida pela expressão a seguir (MONTEITH, 1965; SZEICS & LONG, 1969):

$$r_a = \frac{\left( \ln \left[ \frac{z-d}{z_0} \right] \right)^2}{k^2 U_z} \quad (2)$$

na qual  $r_a$  = resistência aerodinâmica ( $s\ m^{-1}$ );  $\ln$  = logaritmo neperiano;  $z$  = altura de medição da velocidade do vento (m);  $d$  = deslocamento do plano zero do perfil do vento (m);  $z_0$  = parâmetro de rugosidade aerodinâmica (m);  $k$  = constante de von Karman ( $k = 0,41$ ) e  $U_z$  = velocidade do vento medida à altura  $z$  ( $m\ s^{-1}$ ).

Na parametrização da resistência aerodinâmica, foram utilizadas as relações experimentais obtidas por THOMPSON & BOYCE (1972) para a cana-de-açúcar:  $(z-d) = 2,66m$  e  $z_0 = 0,126m$ , válidas para a condição  $z = h_c + 2$ , em que  $h_c$  = altura média das plantas (m).

A restrição anterior significa que a velocidade do vento deve ser medida 2m acima do dossel médio da cultura. Como nesta pesquisa a velocidade do vento foi medida à altura  $z = 2m$ , houve necessidade de sua correção para atender a restrição acima, o que foi feito através de uma equação potencial (JENSEN, 1973):

$$U_{hc+2} = U_2 \left( \frac{h_c + 2}{2} \right)^{0,2} \quad (3)$$

onde  $U_{hc+2}$  é a velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ ) extrapolada para a altura  $z = h_c + 2m$ .

Substituindo-se os valores conhecidos de  $(z-d)$ ,  $z_0$  e  $k$  em (2), se obtém a expressão utilizada para estimar a resistência aerodinâmica da cana-de-açúcar:

$$r_a = \frac{55,3}{U_{hc+2}} \quad (4)$$

cujos termos e unidades foram anteriormente definidos.

A densidade de fluxo de radiação líquida foi estimada pelas expressões desenvolvidas por OMETTO (1981) para as condições climáticas médias do Estado

de São Paulo. A densidade de fluxo de calor no solo ( $G$ ) foi desconsiderada nos cálculos, uma vez que, para períodos iguais e superiores a 10 dias, a ordem de grandeza da sua variação é muito pequena (JENSEN, 1973).

O déficit de pressão do vapor d'água foi obtido a partir de valores diários de temperatura e umidade relativa coletados em um termohigrógrafo de rotação semanal. Nesta pesquisa, ele foi calculado como sendo a diferença entre a pressão de saturação do vapor d'água à temperatura média diária e a pressão atual do vapor d'água, estimada a partir da umidade relativa média diária.

SZEICZ & LONG (1969) propuseram três métodos para determinação de  $r_c$ : do perfil, residual e do balanço de energia. A aplicação dos dois primeiros é dificultada pela necessidade de se conhecer a temperatura da superfície foliar; a do terceiro método é bastante simples, bastando conhecer o balanço de energia da cultura e sua resistência aerodinâmica. Neste caso,  $r_c$  pode ser calculada a partir da razão entre a evapotranspiração potencial e a real, no caso  $ET_c$ , por meio da expressão:

$$r_c = r_a \left( 1 + \frac{\Delta}{g} \right) \left( \frac{ET_p}{ET_c} - 1 \right) \quad (5)$$

em que  $ET_p$ , a evapotranspiração potencial, pode ser calculada através da equação (1), tomando-se  $r_c = 0$  (zero), ou medindo-se a evapotranspiração que ocorre quando a cultura apresentar suas folhas molhadas pela chuva e/ou irrigação.

O método do balanço de energia para determinar  $r_c$  tem sido utilizado por autores como MONTEITH (1965), SZEICZ & LONG (1969), THOMPSON & BOYCE (1972), LUCHIARI Jr. & RIHA (1991).

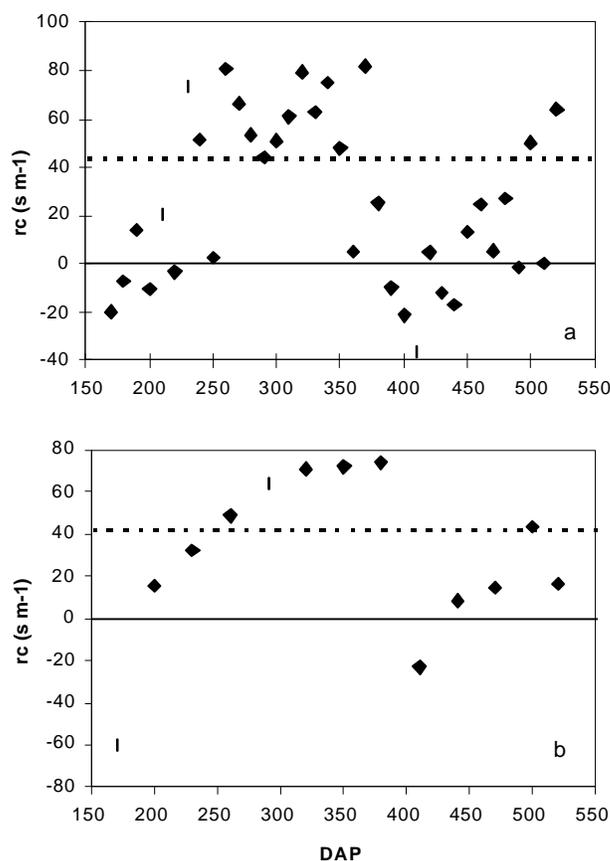
THOMPSON & BOYCE (1972) verificaram que a resistência do dossel da cana-de-açúcar se estabilizou somente quando ocorreu o fechamento da cultura. PERES et al. (1997), também trabalhando com cana-de-açúcar, observaram que o modelo de Priestley-Taylor (PRIESTLEY & TAYLOR, 1972), que é a simplificação mais conhecida da fórmula de Penman (PENMAN, 1948) e, por consequência, do modelo de Penman-Monteith, se aplicou somente após o fechamento da cultura, que ocorreu entre 160-170 dias após o plantio (DAP). Assim, pelo exposto, esta pesquisa foi conduzida com as informações lisimétricas e climatológicas coletadas no período compreendido entre maio/80 e maio/81, correspondente a 170-520 DAP, período em que a cana-de-açúcar cobria totalmente o solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 estão representados os valores de  $r_c$  determinados segundo a equação (5). Pela observação dos dados decendiais (Figura 1a) podem ser detectadas duas regiões de dados inconsistentes (valores negativos) para  $r_c$  nos períodos compreendidos entre 170-220 DAP (20-31 de maio - 10-20 de julho) e 390-440 DAP (1-10 de janeiro - 20-28 de fevereiro). Em bases mensais (Figura 1b), estas inconsistências ocorreram nos meses de maio (170 DAP) e janeiro (410 DAP).

Uma explicação possível para a ocorrência de valores negativos para  $r_c$  pode ser obtida a partir da estrutura da equação (5), na qual se verifica que  $r_c$  será negativa somente quando  $ET_c > ET_p$ , ou seja, na hipótese de haver ocorrido advecção de calor sensível para o lisímetro. Esta hipótese poderia justificar os valores negativos de  $r_c$  no período de 170-220 DAP, porém falharia no caso do período de 390-440 DAP, uma vez que neste período ocorreram 27 dias de chuva, num total de 363 mm.

Segundo ALVES et al. (1998), valores negati-



**Figura 1: Resistência do dossel da cana-de-açúcar em função do número de dias após o plantio (DAP). Escalas decendial (a) e mensal (b).**

vos de  $r_c$  não têm sido relatados na literatura, embora eles próprios tenham obtido valores negativos para  $r_c$  trabalhando com alface e trigo irrigados. De acordo com estes pesquisadores, se  $r_c$  fosse uma resistência puramente fisiológica, a existência destes valores negativos não teria sentido. Entretanto, como ela não é uma resistência puramente fisiológica, estes valores negativos possuiriam um significado físico, indicando que a superfície virtual de evaporação estaria acima do nível presumido ( $d + z_0$ ) para a localização da "big leaf", como proposto por MONTEITH (1965). Estes autores sugerem que "big leaf" deveria se situar no topo da planta ( $h_c$ ).

Se os valores negativos forem eliminados, a  $r_c$  média da cana-de-açúcar seria da ordem de  $43,5 \pm 4,5 \text{ s m}^{-1}$  (variação de 3 a  $82 \text{ s m}^{-1}$ ) na escala decendial e de  $41,7 \pm 7,1 \text{ s m}^{-1}$  (variação de 8 a  $74 \text{ s m}^{-1}$ ) na periodicidade mensal. Estes valores são mais baixos que os obtidos por THOMPSON & BOYCE (1972), porém muito próximos aos propostos por MONTEITH (1985), O'TOOLE & REAL (1986) e OKE (1992).

### CONCLUSÕES

1. a utilização do método do balanço de energia para determinação da resistência do dossel pode levar à obtenção de valores inconsistentes, na forma de valores negativos.
2. a resistência do dossel da cana-de-açúcar, na escala decendial, variou de 3 a  $82 \text{ s m}^{-1}$ , para um valor médio de  $43,5 \pm 4,5 \text{ s m}^{-1}$ ; enquanto na escala mensal a variação foi de 8 a  $74 \text{ s m}^{-1}$ , para uma média geral de  $41,7 \pm 7,1 \text{ s m}^{-1}$ .

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALVES, I., PERRIER, A., PEREIRA, L.S. Aerodynamic and surfaces resistances of complete cover crop: how good is the "big leaf". **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 2, p. 345-351, 1998.
- BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar**. Piracicaba, 1981. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. 1981.
- JENSEN, M.E., BURMAN, R.D., ALLEN, R.G. (ed). **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York : ASCE, 1990. 330 p.
- (Manuals land Reports on Engineering Practice, 70).
- JENSEN, M.E., ed. **Consumptive use of water and irrigation water requirement**, New York : ASCE, 1973. 215 p.
- LUCHIARI Jr., A., RIHA, S.J. Bulk surface resistance and its effect on evapotranspiration rates in irrigated wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 8, p. 888-895, 1991.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symp. Soc. Exp. Biology**, London, v. 19, p. 205-234, 1965.
- MONTEITH, J.L. Evaporation from land surfaces: progress in analysis and prediction since 1948. In: NACIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION, 1985, Chicago. **Proceedings**, St. Joseph : ASAE, 1985, p. 4-12.
- OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2. ed. London : Routledge, 1992, 435 p.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo : CERES, 1981. 425 p.
- O'TOOLE, J.C., REAL, J.G. Estimation of aerodynamic and crop resistances from canopy temperature. **Agronomy Journal**, Madison, v. 78, p. 305-310, 1986.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. Royal Society of London, Serie A**, London, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PERES, J.G., PEREIRA, A.R., FRIZZONE, J.A. et al. Calibração do modelo de Priestley-Taylor para estimar a evapotranspiração potencial da cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 77-82, 1997.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evapotranspiration using large scale para meters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, p. 81-92, 1972.
- SZEICZ, G., LONG, I.F. Surface resistance of crop canopies. **Water Resources Research**, v. 5, n. 2, p. 622-633, 1969.
- THOMPSON, G.D, BOYCE, J.P. Estimating water use by sugarcane from meteorological and crop parameters. In: CONGRESS OF THE ISSCT, 14., New Orleans, 1971. **Proceedings**. Baton Rouge : ISSCT, p. 813-826, 1972.