

BALANÇO DE ENERGIA EM MILHO¹

ROGÉRIO R. ALFONSI², BENEDITO G. DOS SANTOS FILHO³, MÁRIO JOSÉ PEDRO JÚNIOR,
ORIVALDO BRUNINI e MARCELO B.P. DE CAMARGO²

RESUMO - Pelo método do balanço de energia estimou-se a partição da energia líquida disponível entre os processos de evapotranspiração e fluxo de calor sensível e no solo, para a cultura do milho (*Zea mays* L.). São apresentados resultados dessa distribuição em dias típicos com e sem advecção.

Termos para indexação: evapotranspiração, calor sensível, razão de Bowen, advecção, *Zea mays*.

ENERGY BALANCE IN MAIZE

ABSTRACT - The energy balance method was used to estimate the partition of the available energy into the processes of evapotranspiration, soil heat flux and sensible heat flux for maize (*Zea mays* L.). Results for typical days with and without advection are presented.

Index terms: evapotranspiration, sensible heat flux, Bowen ratio, advection, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Vários são os métodos de medida direta ou indireta da perda de água ou evapotranspiração de diferentes superfícies vegetadas. Dentre eles, o método do balanço de energia tem sido utilizado para tal determinação. Esse método permite estimar as necessidades em água de comunidades vegetais, medindo a energia disponível e separando-a em diferentes processos, destacando-se a evapotranspiração.

No presente trabalho são apresentados dados sobre a partição da energia solar disponível, recebida por uma cultura de milho (*Zea mays* L.), entre os processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e aquecimento do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental foi instalada no Centro Experimental de Campinas, do Instituto Agrônômico, situada a 22°53'S e 47°04'W, a uma altitude de 700 m, num solo classificado como Latossolo Roxo de textura argilosa. A área total do experimento, de 12.000 m², foi dividida em parcelas de 10 m x 5 m, em que foram distribuídas

as variedades de milho. As determinações foram feitas em parcela com o híbrido IAC 8222 situada no centro da área experimental. Os tratos culturais convencionais e as adubações recomendadas foram realizadas em toda a área plantada.

O balanço de energia de uma superfície vegetada, expresso em termos verticais, pode ser determinado através da equação:

$$R_n + G + LE + H = 0 \quad (1)$$

onde R_n é a radiação líquida disponível à superfície; G , o fluxo de calor no solo; H , o fluxo convectivo de calor sensível, e LE , o fluxo convectivo de calor latente.

A radiação líquida foi medida através de um radiômetro líquido (Middleton & Co. Pty. Ltd. - Austrália), instalado no centro da parcela, mantido sempre a 1,5 m do topo da cultura, acoplado a um potenciômetro. O fluxo de calor no solo foi medido através de duas placas medidoras de fluxo de calor (Middleton & Co. - Austrália), montadas em série, colocadas a 1 cm de profundidade no solo, sendo uma placa na linha, e outra, na entrelinha. Essas placas também estavam acopladas a um registrador de milivoltagem. Os parâmetros H e LE foram determinados através da razão de Bowen (1926) e de acordo com a teoria descrita por Villa Nova et al. (1975).

A razão de Bowen é dada pelas expressões:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (\text{Bowen 1926}) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{1}{\left(\frac{s + \gamma}{\gamma}\right) \left(\frac{\Delta TU}{\Delta T}\right) - 1} \quad (\text{Webb 1965}) \quad (3)$$

¹ Aceito para publicação em 6 de fevereiro de 1986. Trabalho apresentado no XV Simpósio de Milho e Sorgo, Maceió, AL. Convênio FINEP, Colaboração Fundação Cargill.

² Eng. - Agr., Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), Seção de Climatologia Agrícola, Caixa Postal 28, CEP 13100 Campinas, SP, Bolsista CNPq.

³ Eng. - Agr., Prof., Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Dep. de Botânica, Caixa Postal 354, CEP 96100 Pelotas, RS.

onde s é a tangente à curva de saturação de vapor sobre a água no ponto da temperatura média úmida entre os níveis de medida; γ , a constante psicrométrica reduzida; ΔT , a diferença de temperatura do bulbo seco e ΔT_U a diferença de temperatura do bulbo úmido entre os níveis de medida (Z_1 e Z_2).

Os valores das temperaturas de bulbo seco (T) e úmido (TU) foram obtidos através de quatro termômetros de resistência de platina (Yokogawa & Co. - Japan), colocados dois a dois, distanciados verticalmente de 1 m. Esses termômetros foram acoplados a um registrador próprio, da mesma procedência, e protegidos por abrigos de tubos de PVC, de forma cilíndrica, envolvidos internamente por isopor, e externamente por uma camada de papel-alumínio. Através de um pequeno exaustor, fazia-se circular nos tubos um fluxo de ar (170 l/s). Através da equação (3) foi determinada a razão de Bowen, e calculados os valores de LE e H utilizando-se a equação (2) e a expressão:

$$LE = - \frac{R_n + G}{1 + \beta} \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As determinações do balanço de energia foram realizadas na cultura de milho nos dias 9.11.83, 18.11.83 e 1.12.83, correspondentes a 54, 63 e 76 dias após o plantio.

Os resultados da variação horária dos componentes do balanço de energia (R_n , G, H e LE) estão representados na Fig. 1. Na Tabela 1 são apresentados os valores horários da razão de Bowen (β) e da relação LE/Rn.

Durante os dias 9.11.83 e 18.11.83, notou-se uma inversão do gradiente de temperatura após as 11 h da manhã, resultando em valores de β

negativos, significando uma adição de calor sensível (H positivo) do ar para a superfície evaporante.

No dia 1.12.83, notou-se que essa inversão ocorreu praticamente durante todo o dia, com valores do fluxo de calor sensível (H) sempre positivos e de β negativos, com valores de LE (evapotranspiração) superiores à radiação líquida disponível à superfície evaporante (R_n). Segundo Tanner (1960), valores de β entre -0,5 e -1,5 levam à obtenção de valores de LE, não considerados consistentes. Nas condições do presente experimento, os valores de β próximos aos limites mencionados só ocorreram no dia 1.12.83 (Tabela 1). O balanço de energia desse dia apresentou forte contribuição de energia pelo processo advectivo. Verificaram-se, a partir das 11 h do dia 18.11.83 e durante todo o dia 1.12.83, valores de LE superiores aos de R_n (Fig. 1). A evapotranspiração diária foi maior do que a radiação líquida. Nos dias 18.11.83 e 1.12.83, a relação LE/Rn foi, respectivamente, 1,04 e 1,33. Tanner (1960) detectou valores da relação LE/RN próximos a 2, em dias de forte advecção em cultura de milho, e Villa Nova et al. (1975) obtiveram uma relação igual a 1,97 em cultura de arroz nas mesmas condições.

Para o dia 9.11.83, o valor da relação foi 0,86, semelhante aos valores obtidos por Villa Nova et al. (1975) para arroz (0,68 a 0,86) e por Pedro Júnior & Villa Nova (1981) para soja (0,62 a 0,81).

TABELA 1. Valores médios horários da razão de Bowen (β) e da relação (LE/Rn), para os dias 9 e 18.11 e 1.12, em cultura de milho - Centro Experimental de Campinas (IAC).

D H	9.11.83		18.11.83		1.12.83	
	β	LE/Rn	β	LE/Rn	β	LE/Rn
7 - 8	0,107	0,82	0,083	0,90	-0,091	1,11
8 - 9	0,166	0,78	0,421	0,67	-0,068	1,05
9 - 10	0,194	0,76	0,218	0,79	-0,102	1,08
10 - 11	0,034	0,81	0,052	0,82	-0,217	1,24
11 - 12	-0,130	1,04	-0,291	1,13	-0,478	1,72
12 - 13	+0,026	0,74	-0,371	1,40	-0,332	1,35
13 - 14	-0,019	0,85	-0,160	1,10	-0,314	1,42
14 - 15	-0,058	0,96	-0,152	1,12	-0,363	1,61
15 - 16	-0,025	0,93	-0,254	1,23	-0,225	1,42
16 - 17	-0,098	0,96	-0,196	1,25	—	—
	$\bar{M} = 0,86$		$\bar{M} = 01,04$		$\bar{M} = 1,33$	

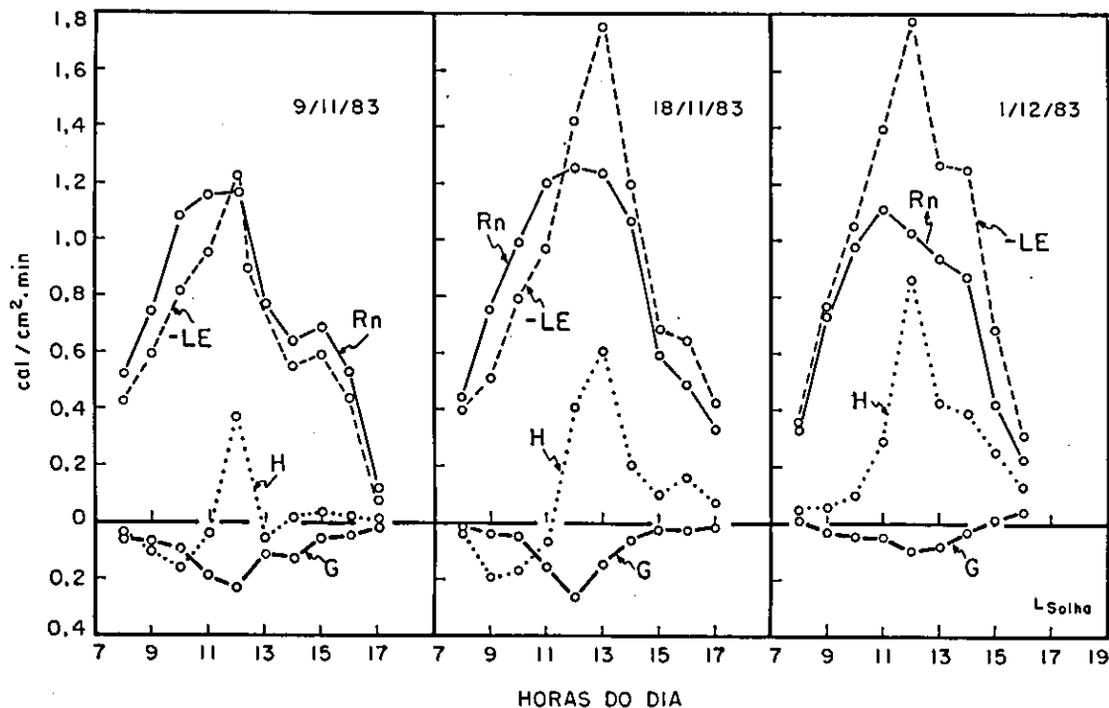


FIG. 1. Variação horária dos fluxos de radiação líquida (Rn), de calor no solo (G), de calor sensível (H) e de calor latente (LE), para cultura de milho, em diferentes datas - Centro Experimental de Campinas, SP.

CONCLUSÕES

1. Para o dia 9.11.83, quando não houve contribuição de calor advectivo, os componentes do balanço de energia obtidos permitiram determinar a distribuição da radiação solar disponível, para a cultura do milho, nos seguintes processos: 84% para a evapotranspiração; 2% para o fluxo de calor sensível e 14% para o aquecimento do solo.

2. Nos dias com advecção, os valores da evapotranspiração (LE) foram superestimados em relação aos da radiação líquida (Rn), mostrando a relação LE/Rn valores superiores à unidade.

REFERÊNCIAS

- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Phys. Rev. Ser. 2*, 27:779-87, 1926.
- PEDRO JÚNIOR, M.J. & VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia em soja (*Glycine max* (L.) M). *Turrialba*, 31:309-12, 1981.
- TANNER, C.B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24: 1-9, 1960.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Balanço de energia numa cultura de arroz, em condições de sequeiro. *Bragantia*, 34:171-6, 1975.
- WEBB, E.K. Aerial microclimate. *Meteorol. Monogr.*, 6:27-58, 1965.