

BALANÇO DE ENERGIA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN EM CAFEIROS var. OBATÃ EM PLANTIO ADENSADO E ORIENTADO ¹

A.R. CUNHA², C.A. VOLPE³

¹ Parte integrante de Pós-doutoramento pela FAPESP (processo nº 05/59535-4)

² Eng. Agr. Dr. Pós-Doutorando pela FAPESP, Depto. de Ciências Exatas, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: arcunha@fca.unesp.br

³ Prof. Adjunto Depto. de Ciências Exatas, FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: cavolpe@fcav.unesp.br

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju - SE

RESUMO: Utilizou-se o método do balanço de energia através da razão de Bowen (β) para a determinação dos fluxos de calor latente (LE) e sensível (H), a partir de medidas do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor no solo (G) e gradientes psicrométricos com termopares em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) var. Obatã adensado e orientado em função do azimute do sol às 9 horas da manhã dos dias 15/janeiro (vegetação plena), 15/maio (indução floral) e 15/setembro (florescimento). Selecionaram-se dois dias sem restrição de água, levando-se em conta a razão de Bowen para analisar a partição da energia disponível. Há diferenças nos componentes do balanço de energia em função da orientação da linha de plantio em cafeeiro var. Obatã.

PALAVRAS-CHAVE: fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível, *Coffea Arabica* L.

ENERGY BALANCE IN COFFEE PLANTS IN HIGH DENSITY POPULATION AND ORIENTED ROWS USING BOWEN RATIO METHOD

ABSTRACT: The method of energy balance was used through the Bowen ratio (β) for the determination of the sensitive (H) and latent (LE) heat fluxes, by means of measures of the net radiation (Rn), heat flux into the soil (G) and of psychrometers gradients with thermocouples in coffee crop var. Obatã in high density population and oriented rows in function of the azimuth of the sun at the 9:00 AM of the January 15 (full vegetation), May 15 (flower induction) and September 15 (flowering). Two days were selected being taken into account the Bowen ratio to analyze the partition of the energy, without restriction of water. There are differences in the components of energy balance in function of oriented rows in coffee crop var. Obatã.

KEYWORDS: sensitive heat flux, latent heat flux, *Coffea Arabica* L.

INTRODUÇÃO

Atualmente, é imprescindível novas tecnologias e sistemas sustentáveis mais produtivos com base em novas cultivares, melhor distribuição espacial das plantas, e principalmente uma melhor exploração da cultura em função da radiação solar disponível. Portanto, o estudo das interações microclimáticas com a cultura do cafeeiro ganha importância, destacando-se a radiação solar que em função de sua disponibilidade, e associada ao regime de vento, influencia na temperatura e umidade do ar, alterando o balanço de energia nos plantios adensados.

O balanço de energia em uma superfície é determinado através da razão entre os fluxos de calor latente e sensível, em função dos gradientes da pressão de vapor e da temperatura observada sobre a superfície, denominada razão de Bowen (BOWEN, 1926). Esse método é considerado um processo racional de estimativa de evapotranspiração de uma superfície, o qual mede a energia disponível em um sistema natural e separa as frações usadas nos diferentes processos (VILLA NOVA, 1973), principalmente quando utilizado na

determinação da evapotranspiração máxima de culturas, ou seja, culturas crescendo sem restrição de água (TEIXEIRA et al., 2002).

Assim surge a necessidade de quantificar os componentes do balanço de energia em condições especiais de plantio, assim como em plantios adensados e orientado em função do movimento aparente do sol. Com esse objetivo, determinou-se os componentes do balanço de energia em três orientações de plantio de cafeeiro var. Obatã.

MATERIAL E MÉTODOS

O local do ensaio fica próximo à Estação Agroclimatológica pertencente à área de Agrometeorologia do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Campus de Jaboticabal, SP (latitude: 21° 14' 05" S; longitude: 48° 17' 09" W; e altitude: 615,01 m).

As medidas de saldo de radiação (R_n) com sensor modelo NR-Lite (Kipp & Zonen), fluxo de calor no solo (G) com sensor modelo HFT3 (REBS), e de gradientes psicrométricos com termopares de Cu-Co em dois níveis conforme MARIN et al. (2001), efetuadas em superfície de cafeeiro var. Obatã IAC 1669-20 com 5 anos de idade, com altura média de 2 metros, em 3 diferentes orientações de plantio, considerando o azimute do Sol das 9 horas dos dias 15/set (floração e enchimento de grãos), 15/mai (maturação dos frutos e pré-florescimento) e 15/jan (vegetação plena).

Analisaram-se dois dias dados de 10 em 10 minutos, levando-se em conta a razão de Bowen para analisar a partição da energia disponível, para um dia do período seco com céu límpido, para um dia do período úmido com céu límpido, e para um dia do período úmido com céu parcialmente nublado.

O balanço de energia foi determinado através da razão de BOWEN (1926), segundo a equação geral do balanço de energia:

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

em que R_n é o saldo de radiação sobre a superfície da cultura em $W m^{-2}$; G o fluxo de calor no solo em $W m^{-2}$; H o fluxo de calor sensível em $W m^{-2}$; LE o fluxo de calor latente em $W m^{-2}$.

A razão de Bowen (β) foi determinada pela expressão (2), conforme sugere PEREIRA et al. (1997):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \left[\frac{\Delta T_u}{(1 - W)\Delta T_s} - 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

em que ΔT_u é a diferença de temperatura do bulbo úmido entre as dois níveis de medida ($^{\circ}C$); ΔT_s é a diferença de temperatura do bulbo seco entre as dois níveis de medida ($^{\circ}C$) e W é o fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo úmido, ou seja:

$$W = 0,407 + 0,0145T_u, \text{ para } 0 < T_u < 16^{\circ}C \quad (3)$$

$$W = 0,483 + 0,0100T_u, \text{ para } 16,1 < T_u < 32^{\circ}C \quad (4)$$

Os fluxos H e LE serão estimados utilizando-se as seguintes expressões:

$$LE = \frac{(Rn - G)}{(1 + \beta)} \quad (5)$$

$$H = LE * \beta \quad (6)$$

em que LE é o fluxo de calor latente ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), e H o fluxo de calor sensível ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, dia sem restrição hídrica (13/11/06), observou-se que Rn contribuiu em 99%, 90% e 98% para LE, de 6%, 12% e 13% para H, respectivamente nas orientações 15/set, 15/mai e 15/jan, em 5% para G nas orientações 15/set e 15/mai, e em 6% para G na orientação 15/jan. A razão de Bowen (β) nas três orientações apresentou-se negativa com valores de -0,06 para 15/set, de -0,14 para 15/mai, e de -0,14 para 15/jan indicando que a superfície evaporante estava umedecida. Isto permitiu uma maior utilização da fração de Rn pelo LE nas três orientações, o que resultou percentagens de LE/Rn maiores em relação aos demais componentes do balanço de energia, indicando predominância do efeito convectivo. O H positivo mostra que houve transporte de calor sensível do ar para a superfície das plantas de cafeeiro. A Figura 1 mostra a variação dos componentes do balanço de energia ao longo do dia a cada 10 minutos para o dia 13/11/06.

Tabela 1. Partição diária do balanço de energia em cafeeiro var. Obatã para o dia 13/11/06 (n/N=0,7), para as três diferentes orientações.

Partição	15/set $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$	15/mai $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$	15/jan $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$
Rn	10,34	11,05	9,65
G	-0,48	-0,58	-0,60
LE	-10,24	-9,91	-9,50
H	0,65	1,36	1,30
G/Rn	-0,05	-0,05	-0,06
LE/Rn	-0,99	-0,90	-0,98
H/Rn	0,06	0,12	0,13

Pela Tabela 2, dia sem restrição hídrica (06/12/06), observou-se que Rn contribuiu em 96%, 97% e 94% para LE, de 3%, 2% e 5% para H, respectivamente nas orientações 15/set, 15/mai e 15/jan, e em 1% para G nas três orientações. Notou-se também que LE suplantou Rn em função de um adicional de energia, que provavelmente pode ter sido devido ao efeito convectivo. Quando isso ocorre, indica um aporte de energia do meio para o sistema, comprovando presença de constante advecção (LEMON et al., 1971; ALVES et al., 1998; CUNHA et al., 2001). Isto pode ser comprovado pelos valores baixos e negativos de H cedidos pelo Rn, indicando que essa pequena parcela está sendo utilizada no transporte de calor da superfície da cultura para o aquecimento do ar. A Figura 2 mostra a variação dos componentes do balanço de energia ao longo do dia a cada 10 minutos para o dia 06/12/06.

Em ambos os dias analisados, a maior fração de Rn foi utilizada pelo LE, indicando que nesses dias a demanda evaporativa foi muito alta, com uma predominância do efeito convectivo em relação ao efeito advectivo, independente de valores positivos ou negativos de H, pois a condição hídrica era adequada, tendo em vista que antecedendo a esses dias selecionados, não houve restrição de água para as plantas de cafeeiro, pois a precipitação pluviométrica no mês de outubro/06 totalizou 169,4 mm distribuídos em 16 dias, e no mês de novembro/06 totalizou 153,7 mm distribuídos em 15 dias. Isto também é apoiado em função do bom desenvolvimento da área foliar do cafeeiro, com valores de índice de área foliar em pleno desenvolvimento vegetativo entre 5,5 e 6,8.

Tabela 2. Partição diária do balanço de energia em cafeeiro var. Obatã para o dia 06/12/06 (n/N=0,4), para as três diferentes orientações.

Partição	15/set MJ m ⁻² d ⁻¹	15/mai MJ m ⁻² d ⁻¹	15/jan MJ m ⁻² d ⁻¹
Rn	12,02	13,12	11,86
G	-0,07	-0,08	-0,12
LE	-12,45	-13,54	-12,56
H	-0,36	-0,30	-0,64
G/Rn	-0,01	-0,01	-0,01
LE/Rn	-1,04	-1,03	-1,06
H/Rn	-0,03	-0,02	-0,05

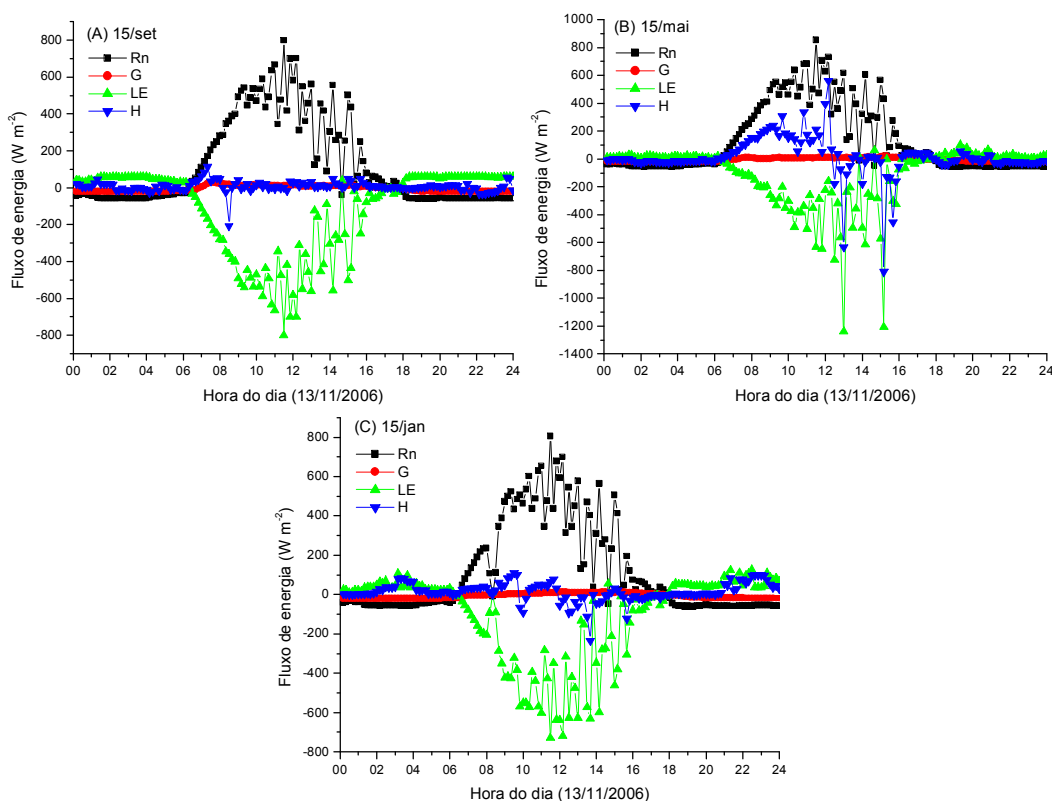


Figura 1. Variação a cada 10 minutos, do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) em cafeeiro var. Obatã para o dia 13/11/06, para as três diferentes orientações de plantio.

CONCLUSÕES

Há diferenças nos componentes do balanço de energia em função da orientação da linha de plantio em cafeeiro var. Obatã.

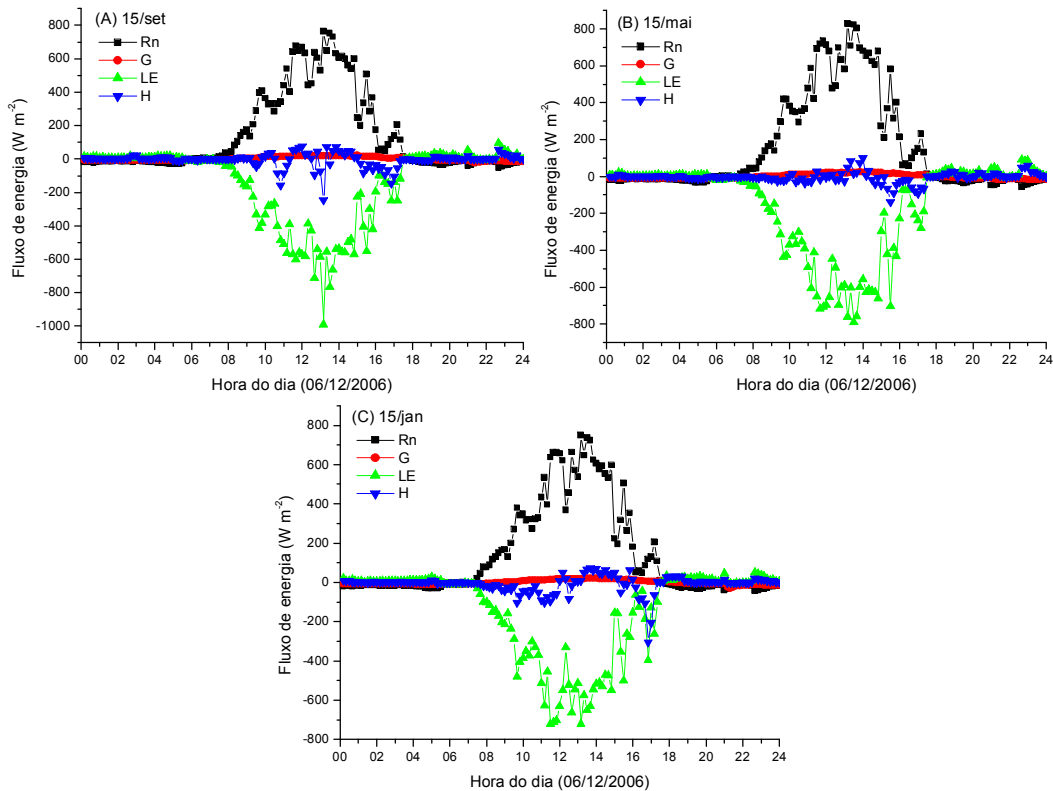


Figura 2. Variação a cada 10 minutos, do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G) em cafeeiro var. Obatã para o dia 06/12/06, para as três diferentes orientações de plantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.V., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.6, n.2, p.139-146, 1998.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v.27, p.779-787, 1926.
- CUNHA, A.R., ESCOBEDO, J.F., KLOSOWSKI, E.S. Balanço de energia em pimenteiro sob cultivo protegido e a campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.9, n.2, p.159-167, 2001.
- LEMON, E., STEWART, D.W., SHAWCROFT, R.W. The sun's work in a corn field. **Science**, Washington, v.174, p.371-378, 1971.
- MARIN, F.R. et al. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.839-844, 2001.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- TEIXEIRA, A.H.C. et al. Consumo hídrico da bananeira no Vale São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria v.10, n.1, p.45-50, 2002.
- VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. Piracicaba, 1973. 77p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.