

ISSN 0104-1347

## Balanço de energia em pimenteiro sob cultivo protegido e a campo

Energy balance in sweet pepper in protected cultivation and field

Antonio Ribeiro da Cunha<sup>1</sup>, João Francisco Escobedo<sup>2</sup> e Élcio Silvério Klosowski<sup>3</sup>

**Resumo** - O método do balanço de energia através da razão de Bowen foi utilizado para a estimativa dos fluxos de calor latente e sensível, a partir de medidas do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e gradientes psicrométricos com termopares em pimenteiro conduzido em ambiente protegido e a campo, em Botucatu, SP. O cultivo protegido apresentou menor disponibilidade do saldo de radiação, menor variação do fluxo de calor no solo e maiores fluxos de calor sensível, o que favoreceu maior crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura nessa condição. O saldo de radiação na cultura ficou dividido em 88%, 10% e 2% para o cultivo protegido e em 98%, 5% e 7% para o cultivo de campo, respectivamente para os fluxos de calor latente, sensível e do solo, com maiores perdas de energia para o cultivo de campo.

**Palavras-chave:** balanço de energia, *Capsicum annum* L., ambiente protegido, saldo de radiação.

**Abstract** - The energy balance method through the Bowen ratio was used to estimate the latent and sensitive heat fluxes. These estimates was made to leave of the net radiation, heat flux into the soil and of psychrometers gradients with termocouples in sweet pepper in protected cultivation and field in Botucatu, SP, Brazil. The protected cultivation presented smaller net radiation balance and variation in the heat flux into the soil with larger sensitive heat flux. This favored larger growth and productivity of this culture in this condition. The net radiation was divided in 88%, 10% and 2% for the protected cultivation and 98%, 5% and 7% for the field cultivation, respectively for latent, sensitive and into the soil heat fluxes, presented larger losses of energy in field cultivation.

**Key words:** *Capsicum annum* L., energy balance, net radiation, protected environment.

### Introdução

No Brasil, o cultivo em ambientes protegidos tem crescido intensivamente devido às exigências de melhor qualidade do produto, sobretudo nas regiões Sudeste e Sul. Essa expansão tem-se restringido a algumas poucas espécies de hortaliças, entre elas o pimenteiro, visando protegê-las das adversidades meteorológicas, e visando a

obtenção de produtos de melhor qualidade com uma maior produtividade.

Diversos autores mostraram aumento na produção agrícola em função das modificações microclimáticas causadas pelo uso do ambiente protegido, como TAPIA (1981), MOUGON et al. (1989), MILLS et al. (1990), ANDRIOLO et al. (1991), REIS et al. (1991), BURIOL et al.

<sup>1</sup>Engº Agrº, Doutor, Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Campus de Botucatu, SP, Cx. Postal 237, CEP 18603-970. E-mail: [arcunha@fca.unesp.br](mailto:arcunha@fca.unesp.br)

<sup>2</sup>Prof. Adjunto, Departamento de Recursos Naturais, FCA/UNESP, Botucatu, SP. E-mail: [escobedo@fca.unesp.br](mailto:escobedo@fca.unesp.br)

<sup>3</sup>Prof. Doutor, CCA/UNIOESTE, Mal. Cândido Rondon, PR.

(1993), FARIAS *et al.* (1993) e HELDWEIN *et al.* (1995).

A produção média do pimenteiro em ambiente protegido chega a 40t/ha, enquanto que ao ar livre alcança 20 t/ha (ROBLEDO DE PEDRO & MARTIN VICENTE, 1988). Já segundo SERRANO CERMEÑO (1990), de 80 a 150t/ha, no cultivo protegido, e de 40 a 60 t/ha ao ar livre. FILGUEIRA (1982) e PEREIRA (1990) afirmam que os dados de produtividade encontram-se na faixa de 15 a 30t/ha, para o pimenteiro em condições de campo.

O balanço de energia determinado através da razão de Bowen é utilizado para a quantificação dos fluxos de calor latente e sensível na camada de ar próxima à superfície do solo, particularmente em análises micrometeorológicas em sistemas cultivados. BOWEN (1926) foi o pioneiro nos estudos de balanço de energia, determinando a razão entre os fluxos de calor sensível e latente emitidos por uma superfície de água, durante o processo de evaporação, em função da pressão de vapor e temperaturas do ar observadas sobre uma superfície, sendo essa razão denominada de “Razão de Bowen”.

ALFONSI *et al.* (1986), BERGAMASCHI *et al.* (1988), FONTANA *et al.* (1991), CUNHA & BERGAMASCHI (1994), CUNHA *et al.* (1996), ALVES *et al.* (1998), SILVA *et al.* (1999) e LOPES *et al.* (2001) quantificaram no Brasil os componentes do balanço de energia através da razão de Bowen. O ambiente protegido com cobertura plástica utilizado no cultivo de culturas de interesse econômico, altera o balanço de energia desse meio, sendo importante o estudo do balanço de energia para quantificar os fluxos de energia nesse ambiente (CRITTEN, 1993).

O objetivo do trabalho foi de quantificar os fluxos de energia com aplicação do método do balanço de energia pela razão de Bowen em pimenteiro conduzido em ambiente protegido e a campo.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido no período de 20/04/99 a 03/11/99, na área experimental do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP (latitude: 22°51'S, longitude: 48°26'W e altitude: 786m).

O cultivo foi conduzido em uma estufa tipo túnel alto não-climatizado com 7,0 m de largura por

40,0m de comprimento, laterais de 2,2m acima do nível do solo, arco central de 4,0m e orientado no sentido NNW-SSE. O túnel foi constituído de uma estrutura de ferro galvanizado e coberto com polietileno de baixa densidade de 120µm e tela plástica preta nas laterais com 50% de transparência para a radiação solar. Para o cultivo de campo foi definida uma área externa com as mesmas dimensões da área experimental do túnel.

A cultivar de pimenteiro utilizada foi a Elisa, a qual apresenta frutos vermelhos quando maduros. O transplante foi efetuado aos 33 dias após a sementeira para os dois cultivos, em 20/04/99, com uma planta por cova e espaçamento de 0,30m na linha por 1,00m de canteiro, constituindo de três canteiros de 1,00m de largura por 36,00m de comprimento, com apenas uma linha de cultura por canteiro, representando um total de 120 plantas por canteiro, totalizando 360 plantas em cada cultivo.

O preparo do solo para os dois cultivos foi realizado na forma de canteiros, mediante a recomendação de adubação feita à partir da análise química de solo, incorporando-se os adubos no canteiro numa profundidade de 0,25 a 0,30m. Os adubos incorporados nos canteiros foram 3,0kg/m<sup>2</sup> de esterco bovino decomposto, 100g/m<sup>2</sup> da fórmula N-P-K (04-14-08), e 150g/m<sup>2</sup> de termofosfato Boro-Zinco. A adubação de cobertura para os dois cultivos foi efetuada mediante a recomendação de adubação, aplicando-se 8,0g por planta de nitrocálcio a partir dos 20 dias após o transplante, repetindo-se por mais quatro vezes com um intervalo de 20 dias entre cada aplicação.

O controle de plantas daninhas para os dois cultivos foi feito por capinas manuais, e o controle de pragas e de doenças foi efetuado mediante exame visual do agente, inseto ou patógeno, e de acordo com recomendações técnicas do produto químico indicado.

O sistema de irrigação utilizado foi o de tubos gotejadores, com espaçamento na linha de plantio de 0,30m entre os gotejadores. A quantidade de água utilizada na irrigação do pimenteiro foi determinada baseando-se na aplicação do balanço de energia, efetuando diariamente a estimativa do fluxo de calor latente do dia anterior para a sua posterior reposição. Para isso, correlacionou-se a vazão dos tubos gotejadores em milímetros (mm) com o tempo em minutos, para estimar o tempo de irrigação (Tempo) em função da vazão dos tubos gotejadores, e através dos valores de fluxo de calor latente equivalente em milímetros de evaporação (ET) estimados do dia anterior, foi

possível repor a lâmina de água evaporada do sistema, através da expressão:

$$\text{Tempo} = 9,461 (\text{ET}) \quad (1)$$

onde Tempo é o intervalo de tempo de irrigação em minutos; e ET o fluxo de calor latente equivalente em milímetros de evaporação.

Nos dois cultivos a duração do ciclo da cultura foi de 195 dias após o transplântio (d.a.t.), definido pelo final da fase de produção de frutos. A colheita dos frutos foi feita semanalmente em seis plantas marcadas no cultivo protegido e seis em campo, no período de 07/09/99 a 03/11/99, totalizando nove semanas.

As análises de crescimento foram feitas extraíndo-se quatro plantas da área experimental a cada 15 dias, sendo duas do cultivo protegido e duas de campo, com início em 20/04/99, momento do transplântio. As análises constaram da altura, índice de área foliar e matéria seca total da planta (folhas, caules, raízes e frutos), sendo os resultados originados da média de duas plantas e convertidos para 1 m<sup>2</sup> em cada cultivo.

A produtividade foi obtida a partir da produção média de frutos de seis plantas em kg/planta, e convertida para kg/m<sup>2</sup> através da expressão:

$$\text{Produtividade} = (\text{kg/planta}) 3,33 \quad (2)$$

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

$$Rn = H + LE + G \quad (3)$$

em que  $Rn$  é o saldo de radiação sobre a superfície;  $H$  o fluxo de calor sensível;  $LE$  o fluxo de calor latente; e  $G$  o fluxo de calor no solo.

No cálculo do balanço de energia, os fluxos que chegavam ao sistema (dossel da cultura) foram considerados positivos, e os que saíam negativos, sendo o ápice da cultura e a superfície do solo considerados os limites superior e inferior do sistema, respectivamente. Assim, os fluxos ascendentes acima do dossel da cultura são considerados negativos e do interior do solo para o sistema positivos, e vice-versa.

Utilizou-se da razão de Bowen para a estimativa dos valores de  $H$  e  $LE$ , através de medições de gradientes psicrométricos na cultura em níveis 1 e 2 constituídos de psicômetros de termopar, com uma distância de 0,50m entre os níveis, sendo o nível 1

instalado a 1,00m da superfície do solo e o nível 2 a 1,50m, e segundo as equações:

$$b = \frac{H}{LE} = \frac{1}{\left(\frac{s+g}{g}\right)\left(\frac{\Delta T_U}{\Delta T}\right) - 1} \quad (4)$$

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

$$H = Rn - (LE + G) \quad (6)$$

onde  $\beta$  é a razão de Bowen;  $s$  a tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água em função da temperatura do ar (mmHg), dada pela expressão:

$$s = 0,317 \cdot 10^{0,05979 T_s}$$

$T_s$  a temperatura média do bulbo seco entre os dois níveis (°C);  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico igual a 0,544 mmHg/°C, para uma pressão atmosférica de 680 mmHg e constante psicrométrica de 80.10<sup>-5</sup>/°C;  $\Delta T_U$  a diferença das temperaturas dos termopares úmidos instalados entre os dois níveis; e  $\Delta T$  a diferença das temperaturas dos termopares secos instalados entre os dois níveis.

Para as medições das temperaturas de bulbo seco e úmido foram utilizados termopares de cobre-constantan, utilizando-se a temperatura referência medida em um sensor resistivo Vaisala modelo HMP45C, constando-se ao todo de 4 conjuntos psicrométricos, sendo 2 instalados em ambiente protegido e 2 em campo. Esses conjuntos psicrométricos foram introduzidos em microabrigos de acrílico com boa aeração natural e protegido da radiação direta e parte da difusa. O funcionamento desses conjuntos psicrométricos de termopar foi verificado através de correlação de suas medidas com as de um sensor Vaisala modelo HMP45C (CUNHA et al., 2001).

O saldo de radiação ( $Rn$ ) foi medido através de dois sensores modelo REBS Q7.1 instalados à 2m de altura, um em ambiente protegido e outro em campo. O fluxo de calor no solo ( $G$ ) foi medido por dois fluxímetros modelo HFT-3 instalados a 0,02m de profundidade da superfície do solo próximos à linha de plantio da cultura, um em ambiente protegido e outro em campo.

Os sensores que mediram o  $Rn$ , o  $G$  e as temperaturas com psicômetros de termopar, foram

conectados a um sistema de aquisição automática, um “Micrologger 21X”, e programados através de linguagem específica. A varredura automática dos sensores foi efetuada a cada 5 segundos, com saída de dados a cada 5 minutos, sendo os dados transferidos periodicamente para um microcomputador para a confecção das curvas diárias dos valores instantâneos ( $W/m^2$ ) do saldo de radiação, e fluxos de calor no solo, sensível e latente, e integralização dos seus valores ao longo do dia em  $MJ/m^2$  (CUNHA & ESCOBEDO, 2001).

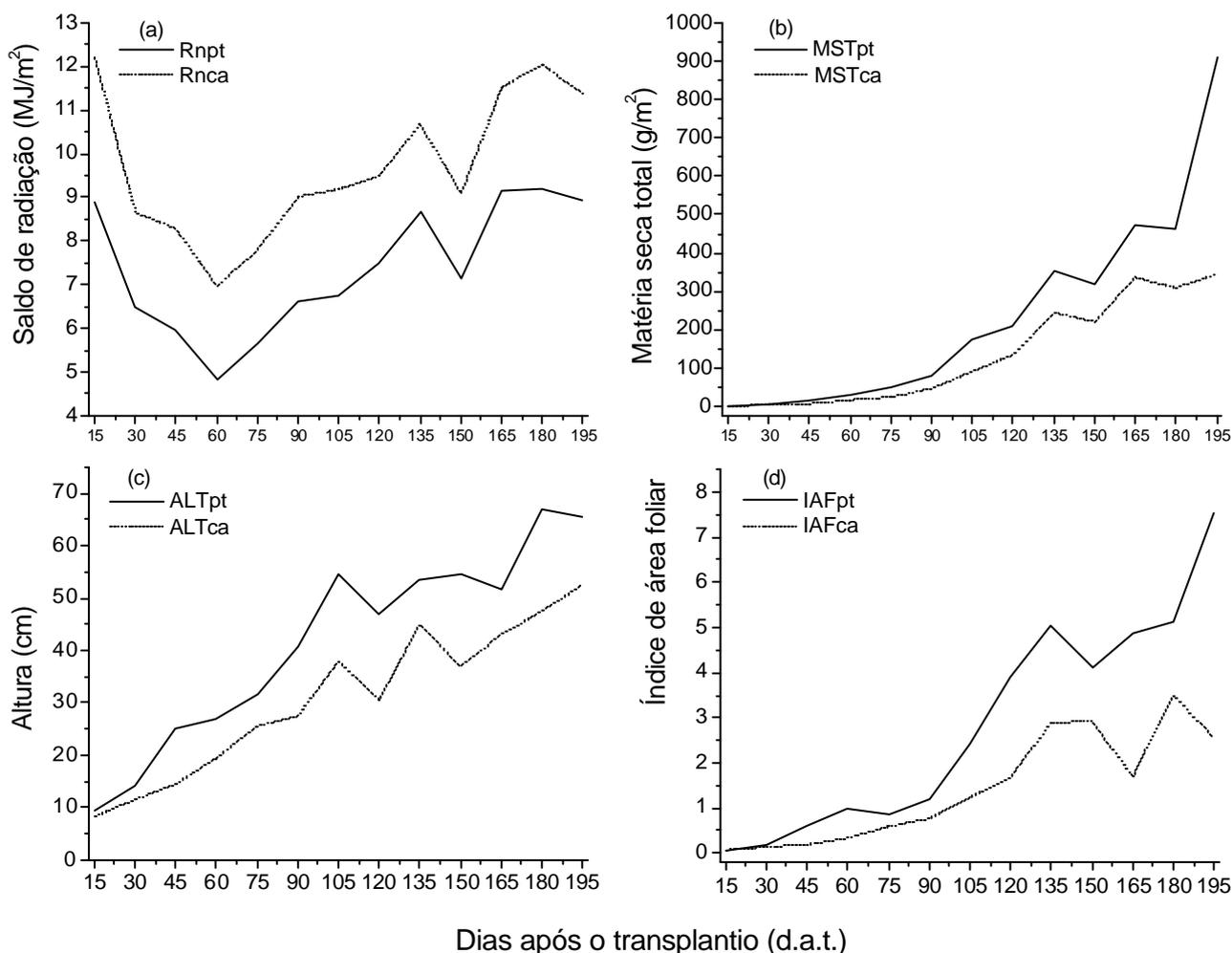
## Resultados e discussão

O saldo de radiação disponível a cada 15 dias e ao longo do ciclo, caracterizou uma menor disponi-

bilidade de energia no cultivo protegido para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Figura 1a).

As diferenças na altura de plantas aos 15 e 30 d.a.t. foram pequenas, e a partir dos 45 d.a.t. começaram a ser acentuadas até o valor máximo, para os dois cultivos, com a ocorrência dos maiores valores para o cultivo protegido (Figura 1c).

As plantas do cultivo protegido apresentaram maior índice de área foliar (Figura 1d) e maior quantidade de matéria seca total (Figura 1b) do que em condição de campo. Essas diferenças foram notadas a partir dos 45 d.a.t. para o índice de área foliar e, dos 90 d.a.t., para a matéria seca total, evidenciando maior crescimento das plantas no cultivo protegido, pois nesse cultivo as plantas crescem e produzem em condição de “conforto vegetal” (ANDRIOLO, 2000). Os



**Figura 1.** Saldo de radiação (a), matéria seca total (b), altura de plantas (c) e índice de área foliar (d) sob condições de cultivo protegido e a campo. Botucatu, SP, 1999.

maiores valores de índice de área foliar verificados no cultivo protegido podem ser devido a um maior número e folhas de maior tamanho, o que contribuiu também para o aumento na matéria seca total (Figura 1b).

As Figuras 2a e 2b mostram variação do Rn em ambiente protegido e a campo, para condições de dia com céu nublado (20/06/99) e com céu límpido (23/10/99), respectivamente. Nos dois dias, nublado e límpido, os valores do Rn são menores no cultivo protegido que em campo, devido a transmissividade da radiação solar do polietileno transparente utilizado ser de 68,81% (CUNHA, 2001). Os picos de menor irradiância observados no cultivo protegido são devido ao sombreamento dos sensores pelos arcos metálicos da estrutura do ambiente protegido.

Para o dia 20/06/99 (Figura 2a), as irradiâncias máximas ocorreram às 15h, com valores de 62,16 e 92,26W/m<sup>2</sup> para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Neste dia as emissões de ondas longas máximas ocorreram às 1h35min e 0h05min, com valores de -6,57 e -11,11W/m<sup>2</sup>, respectivamente para as condições de ambiente protegido e campo. Para o dia 23/10/99 (Figura 2b), as irradiâncias máximas ocorreram às 12h e 11h40min, com valores de 569,97 e 748,03W/m<sup>2</sup> para as condições de ambiente protegido e campo, respectivamente. Neste dia as emissões de ondas longas máximas ocorreram às 18h40min e 18h35min, com valores de -46,03 e -76,06W/m<sup>2</sup>, respectivamente para as condições de ambiente protegido e campo.

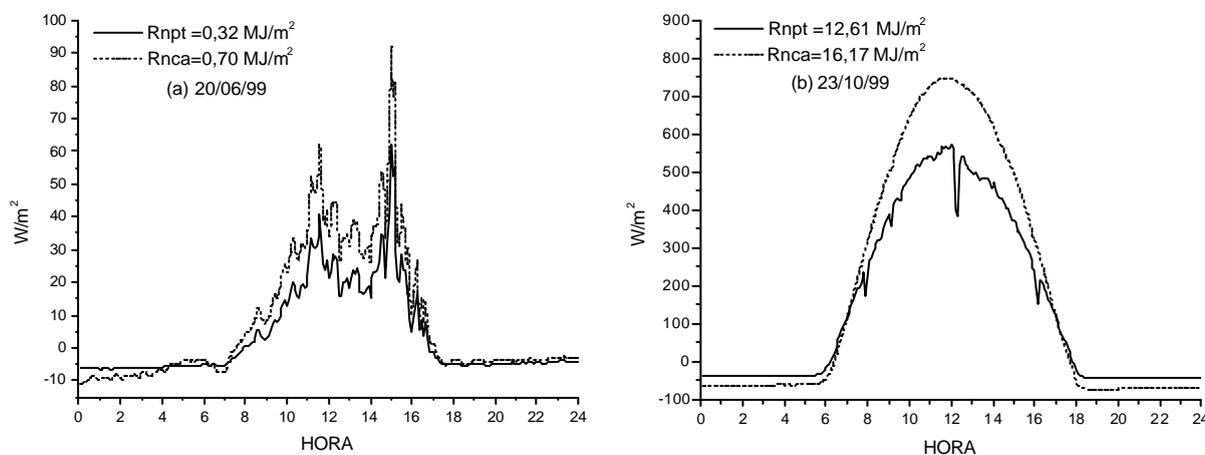
Figura 2a, dia de céu nublado, o cultivo de campo apresenta um valor de Rn 219% maior que o

cultivo protegido sendo que os valores ocorridos neste dia são considerados de baixa energia, enquanto que em dia de céu límpido (Figura 2b) esse aumento foi de 28%.

O valor da emissão efetiva noturna foi menor no ambiente protegido, tendendo a se aproximar de zero nas duas condições de cultivo, com menores perdas no período noturno com condição de céu nublado (Figura 2a).

A Tabela 1 apresenta a relação entre  $Rn_N/Rn_D$  para o dia de céu límpido, como sendo de 12 e 15% para os cultivos protegido e campo, respectivamente. Observou-se uma relação inferior no cultivo protegido, estando isso associado a contra-irradiação do polietileno transparente utilizado, que tende a devolver parte da energia emitida pela superfície do solo.

Comparando-se as condições de céu nublado (Figura 3a) e límpido (Figura 3b), respectivamente, observou-se que em condições de céu nublado, devido a menor incidência de radiação solar global, ocorreram menores valores de G, independentemente das condições de cultivo. Em dia com céu nublado, o cultivos protegido e campo se apresentaram semelhantes na variação da curva e dos valores de G, apresentando-se positivo na maior parte do dia. Em dia de céu límpido observou-se os maiores valores de G para o cultivo de campo, com o valor diário de 0,58MJ/m<sup>2</sup>, sendo que neste dia houve maior disponibilidade de energia, ocorrendo assim valores maiores de G durante o período diurno, com relação ao cultivo protegido e ao dia de céu nublado. A diferença observada entre as duas condições de cultivo para os valores de G, no período noturno em dia com céu



**Figura 2.** Curvas do saldo de radiação (Rn) para os cultivos protegido (pt) e campo (ca), nas datas de 20/06/99 (a - céu nublado) e de 23/10/99 (b - céu límpido). Botucatu, SP, 1999.

**Tabela 1.** Valores de saldo de radiação diurno ( $Rn_D$ ), noturno ( $Rn_N$ ), total ( $Rn_T$ ) e a relação  $Rn_N/Rn_D$ , para os cultivos protegido e campo, para a data de 23/10/99 (céu límpido). Botucatu, SP, 1999.

Saldo de radiação	Protegido ( $MJ/m^2$ )	Campo ( $MJ/m^2$ )
$Rn_D$	14,32	19,03
$Rn_N$	-1,71	-2,86
$Rn_T$	12,61	16,17
$Rn_N/Rn_D$	0,12	0,15

D = período diurno: das 6h às 18h;

N = período noturno: das 0h05min às 5h55min e das 18h05min às 24h;

T = período total: das 0h05min às 24h.

límpido, está associada a contra-radiação do polietileno transparente utilizado, a qual diminui as perdas de energia para a atmosfera e mantém o meio mais aquecido.

A soma dos valores de G, LE e H para o dia de céu límpido, segundo as convenções de entrada e saída de energia no sistema, representaram 100% em relação ao  $Rn$ , para as condições de cultivo protegido e campo. O cultivo de campo apresentou um aporte de energia, fazendo com que LE fosse maior que  $Rn$ , perdas essas devido ao efeito advectivo (Tabela 2).

A Figura 4 indica para os dois cultivos, que a maior fração de energia proveniente do saldo de radiação é gasto no processo de evapotranspiração, ou seja, fluxo de LE.

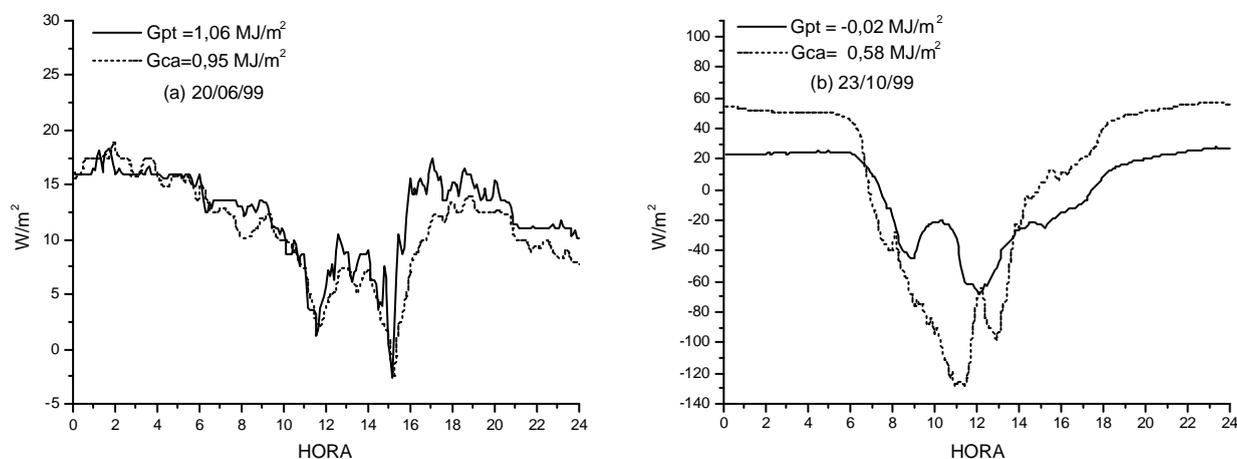
Nota-se um valor menor do G para o cultivo protegido, podendo estar associado ao maior

sombreamento do solo por um maior desenvolvimento do dossel da cultura, e também pela diminuição da radiação solar global no interior do ambiente protegido. Para o cultivo de campo, ocorreu também um valor menor e negativo de H, indicando que o dossel da cultura cedeu energia para o aquecimento do ar atmosférico (Tabela 3 e Figura 4).

A soma dos valores de G, LE e H ao longo do ciclo do pimenteiro, respeitando as convenções de entrada e saída de energia no sistema considerado, representaram 100% em relação ao  $Rn$ , para os cultivos protegido e campo. Durante o ciclo do pimenteiro, ocorreram maiores perdas de energia no cultivo de campo em relação ao cultivo protegido, as quais podem ser atribuídas aos maiores valores de  $Rn$  e a advecção ser aporte de energia no cultivo de campo, incrementando o consumo de energia através de LE (Tabela 3).

Pelas Tabelas 2 e 3, nota-se que os sinais de H foram diferentes nos dois cultivos, ou seja, positivo no protegido e negativo a campo, indicando que no cultivo protegido houve transferência de calor da atmosfera para o dossel da cultura, e no cultivo a campo, que houve transferência de calor do dossel da cultura para a atmosfera.

ALFONSI *et al.* (1986), BERGAMASCHI *et al.* (1988), FONTANA *et al.* (1991), CUNHA & BERGAMASCHI (1994), CUNHA *et al.* (1996), ALVES *et al.* (1998), SILVA *et al.* (1999) e LOPES *et al.* (2001) utilizando a razão de Bowen para a estimativa dos fluxos H e LE em diferentes culturas, também obtiveram predominância nos percentuais do fluxo de calor latente e menor percentual do fluxo de



**Figura 3.** Curvas do fluxo de calor no solo (G) para os cultivos protegido (pt) e campo (ca), nas datas de 20/06/99 (a - céu nublado) e de 23/10/99 (b - céu límpido). Botucatu, SP, 1999.

**Tabela 2.** Partição diária dos diferentes componentes do balanço de energia, em %, nos cultivos protegido e campo na data de 23/10/99 (céu límpido), para o pimenteiro. Botucatu, SP, 1999.

Partição	Protegido		Campo	
	MJ/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%
RN	12,61	100,00	16,14	100,00
G	-0,02	0,16	0,62	3,84
LE	6,76	53,61	17,52	108,55
H	5,87	46,55	-2,00	12,39
G+LE+H	12,61	100,00	16,14	100,00

calor no solo sobre os demais componentes do balanço de energia.

Pelos resultados da Figura 4, nota-se que na variação do Rn durante o ciclo da cultura, existiram dias com baixa energia, nos quais os valores de Rn em cultivo de campo se aproximaram à condição de cultivo protegido, pois a emissão efetiva noturna é menor em cultivo protegido, tendo-se assim menores perdas de energia no período noturno. O Rn obtido ao longo do ciclo do pimenteiro foi de 1.441,18MJ/m<sup>2</sup> e 1.879,33MJ/m<sup>2</sup>, respectivamente para as condições de cultivo protegido e de campo, obtendo-se uma relação percentual de 76,69% (Rnpt/Rnca).

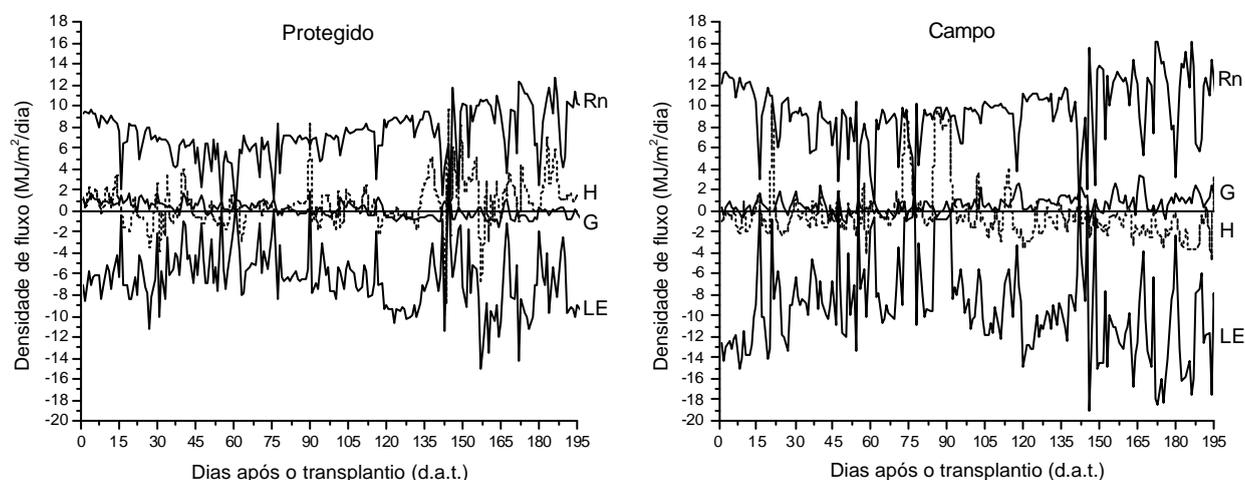
Os valores de Rn em cultivo protegido foram menores que em campo, ao longo do dia, o que é devido à absorção e reflexão de uma fração da radiação solar global pelo polietileno de baixa densidade. Contudo, em condições de saldo de radiação negati-

**Tabela 3.** Partição dos diferentes componentes do balanço de energia, em %, nos cultivos protegido e campo durante o ciclo do pimenteiro. Botucatu, SP, 1999.

Partição	Protegido		Campo	
	MJ/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%
RN	1441,18	100,00	1879,33	100,00
G	29,61	2,05	124,17	6,61
LE	1264,46	87,74	1842,49	98,04
H	147,11	10,21	-87,33	4,65
G+LE+H	1441,18	100,00	1879,33	100,00

vo (à noite), ocorrem menores perdas de energia em condição de ambiente protegido devido à contra-irradiação do polietileno, a qual é aumentada pelo acúmulo de H<sub>2</sub>O condensada na superfície interna do polietileno. Isto é devido à impermeabilidade aos líquidos dos filmes plásticos empregados na cobertura de ambientes protegidos, que em determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar, tendem a condensar o vapor d'água na superfície inferior do filme de polietileno, reduzindo a transmissividade luminosa e térmica. De acordo com AL-RIahi et al. (1988), esta camada de água condensada aumenta consideravelmente a interceptação da radiação de ondas longas, obtendo-se assim maior conservação de calor no interior do ambiente protegido.

Durante o ciclo da cultura, o G em condição de cultivo protegido representou 29,61MJ/m<sup>2</sup> e em



**Figura 4.** Valores de saldo de radiação (Rn), fluxos de calor no solo (G), calor latente (LE) e calor sensível (H) para os cultivos protegido e campo, durante o ciclo do pimenteiro. Botucatu, SP, 1999.

condição de cultivo a campo 124,17MJ/m<sup>2</sup> (Figura 4). Observa-se que o G ao longo do ciclo da cultura variou menos na condição de cultivo protegido, pois esse ambiente proporcionou um crescimento mais rápido das plantas, resultando também em um dossel mais homogêneo. Isto ficou mais evidente a partir dos 75 d.a.t., onde houve um maior sombreamento do solo nessa condição, causando uma diminuição da quantidade de energia que chegava ao solo no período diurno.

O rendimento de uma cultura é condicionado na sua maior parte pela disponibilidade de energia solar, mas também depende de outros elementos, tais como umidade e temperatura do solo. Sendo que o Rn total do ciclo do pimenteiro foi de 1.441,18MJ/m<sup>2</sup> com um rendimento de 9,29kg/m<sup>2</sup> para o cultivo protegido, e de 1.879,33MJ/m<sup>2</sup> com um rendimento de 6,66kg/m<sup>2</sup> para o cultivo de campo, apresentando uma relação de 155,13MJ/kg e 282,18MJ/kg, para as condições de cultivo protegido e campo. Isto evidencia que a condição de cultivo protegido foi mais eficiente por kg produzido em relação à energia incidente.

## Conclusões

Através dos resultados obtidos ao longo do ciclo do pimenteiro, conclui-se que:

- O saldo de radiação na cultura ficou dividido em 88%, 10% e 2% para o cultivo protegido e em 98%, 5% e 7% para o cultivo de campo, respectivamente para os fluxos de calor latente, sensível e do solo, com maiores perdas de energia para o cultivo de campo;
- Com uma menor disponibilidade do saldo de radiação, menor variação do fluxo de calor no solo e maiores fluxos de calor sensível, o ambiente protegido favoreceu um maior crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura.

## Referências bibliográficas

- ALFONSI, R.R., SANTOS FILHO, B.G., PEDRO JUNIOR, M.J. et al. Balanço de energia em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 12, p. 1233-1235, 1986.
- 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.
- AL-RIHI, M., AL-KARAGHOULI, A., HASSON, A.M. et al. Relations between radiation fluxes of a greenhouse in semi-arid conditions. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, n. 3, p. 329-338, 1988.
- ANDRIOLO, J.L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 26-33, supl. jul., 2000.
- ANDRIOLO, J.L., BURIOL, G.B., STRECK, N.A. et al. Influência da proteção ambiental com estufa de polietileno sobre alguns parâmetros de crescimento e desenvolvimento do pimentão, em Santa Maria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p. 27-29.
- BERGAMASCHI, H., OMETTO, J.C., VIEIRA, H.J. et al. Deficiência hídrica de feijoeiro II. Balanço de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 7, p. 745-757, 1988.
- 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.
- BURIOL, G.A., SCHNEIDER, F.M., ESTEFANEL, V. et al. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 43-49, 1993.
- CRITTEN, J.L. A review of the light transmission into greenhouse crops. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 328, p. 9-31, 1993.
- CUNHA, A.R. **Parâmetros agrometeorológicos de cultura de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em ambientes protegido e campo**. Botucatu: UNESP, 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.
- CUNHA, A.R., ESCOBEDO, J.F. Programa em ambiente “Microcal Origin” para tratamento de dados meteorológicos e determinação da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 153-158, 2001.
- CUNHA, A.R., ESCOBEDO, J.F., GALVANI, E. Avaliação de um psicrômetro de termopar de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 17-22, 2001.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. **Revista Brasileira de**

- Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 9-16, 1994.
- CUNHA, G.R., BERGAMASCHI, H., BERLATO, M.A. et al. Balanço de energia em cultivo de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.
- FARIAS, J.R.B., BERGAMASCHI, S.R., BERLATO, M.A. et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 31-36, 1993.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de olericultura**. 2. ed. São Paulo : Agronômica Ceres, 1982. v. 2, 357 p.
- FONTANA, D.C., BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 403-410, 1991.
- HELDWEIN, A.B., STRECK, N.A., BURIOL, G.A. et al. Efeito da cobertura plástica sobre a temperatura mínima do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., Campina Grande, PB. **Anais...**, Campina Grande : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, p. 304-306.
- LOPES, P.M.O, SILVA, B.B., AZEVEDO, P.V. et al. Balanço de energia num pomar de mangueiras irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2001.
- MILLS, P.J.W., SMITH, I.E., MARAIS, G. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of protected environments. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 281, p. 83-94, 1990.
- MOUGON, R., MOUGON, A., BEN MECHILA, N. Comparative study of greenhouse covers with and without thermal screens. **Plasticulture**, Paris, v. 81, p. 37-42, 1989.
- PEREIRA, A.L. **Cultura do pimentão**. Fortaleza : Departamento Nacional de Obras contra as Secas, 1990. 48 p.
- REIS, N.V.B., HORINO, Y., OLIVEIRA, C.A.S. et al. Cultivo de tomate com e sem cobertura plástica. I. Efeito sobre a produção e radiação interceptada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7., 1991, Viçosa, MG. **Resumos...**, Viçosa : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1991. p. 12-15.
- ROBLEDO DE PEDRO, F., MARTIN VICENTE, L. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. 2. ed. Madri : Ediciones Mundi-Prensa, 1988. 573 p.
- SERRANO CERMEÑO, Z. **Estufas: Instalação e manuseio**. Lisboa : Litexa, 1990. 355 p.
- SILVA, F.C., FURLAN, R.A., FOLEGATTI, M.V. Estimativas de densidade de fluxo de calor sensível e latente através do método da razão de Bowen. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis, SC. **CD-ROM...**, Florianópolis : Epagri, 1999.
- TAPIA, G.J. Filmes térmicos para invernaderos. **Revista de plásticos modernos**, Madrid, v. 295, p. 75-82, 1981.