

ISSN 0104-1347

## Balanço de energia num pomar de mangueiras irrigado

### Energy balance in an irrigated mango orchard

Pabrcio Marcos Oliveira Lopes<sup>1</sup>, Bernardo Barbosa da Silva<sup>2</sup>, Pedro Vieira de Azevedo<sup>2</sup>, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva<sup>3</sup>, Antonio Heriberto de Castro Teixeira<sup>4</sup>, José Monteiro Soares<sup>4</sup> e José Espínola Sobrinho<sup>5</sup>

**Resumo** - Objetivando avaliar os valores diurnos dos componentes do balanço de energia, baseado na razão de Bowen, num pomar de mangueiras (*Mangífera indica* L.), variedade Tommy Atkins, irrigado por gotejamento, foram analisados dados de um experimento agrometeorológico conduzido no período de 6 de agosto a 22 de novembro de 1998, no Projeto Bebedouro em Petrolina, PE (09°S; 40°22'W; 365,5m). Os resultados mostraram que o fluxo de calor no solo representa uma pequena fração do saldo de radiação, com valores em geral menores ou iguais a 7% do saldo de radiação. Os padrões do saldo de radiação ( $R_n$ ) e dos fluxos de calor latente ( $LE$ ), de calor sensível para o ar ( $H$ ) e para o solo ( $G$ ), foram semelhantes àqueles observados em culturas de pequeno e médio porte, apesar da grande variabilidade da nebulosidade. A temperatura diurna da copa das mangueiras foi, em geral, maior que a do ar em todos os estádios do ciclo produtivo do mangueiral, tendo sido registradas eventuais alternâncias nos sinais do fluxo de calor sensível. O fluxo de calor latente representou uma parcela significativa do saldo de radiação, com valores superiores a 80% deste no estágio de queda fisiológica dos frutos. No final do ciclo produtivo, ocorreu uma sensível redução da evapotranspiração do pomar. Observou-se, ainda, que o erro relativo associado à determinação do fluxo de calor latente variou de 5% a 30%.

**Palavras-chave:** Tommy Atkins, saldo de radiação, fluxos de calor sensível e latente.

**Abstract** - An experimental study was conducted in a mango orchard in Petrolina, PE, Brazil (09°S; 40° 22'W; 365.5m) from August 6<sup>th</sup> to November 22<sup>nd</sup>, 1998. The objective of this study was to investigate the above canopy daytime energy balance throughout the mango orchard productive cycle. Results indicated that the soil heat flux represented a small fraction of the net radiation, corresponding to 7% throughout the study period. The patterns of net radiation ( $R_n$ ), latent ( $LE$ ), sensible ( $H$ ) and soil ( $G$ ) heat fluxes agreed with those observed for small and median size crops, despite the great variability in cloudiness throughout the study period. The diurnal canopy temperature was higher than the air temperature during the mango productive cycle and the sensible heat flux was very small with frequent sign changes. The latent heat flux represented a significant fraction of the available energy with values greater than 80% of  $R_n$  in the fruits fall phase. The evapotranspiration was strongly reduced at the end of the mango productive cycle. The relative error in the determination of the latent heat flux varied from 5% to 30%.

**Key words:** Tommy Atkins, net radiation, sensible and latent heat fluxes.

<sup>1</sup> Meteorologista, Mestre, Bolsista CAPES

<sup>2</sup> Professor, Doutor, DCA/UFPB, Bolsista Pesquisador CNPq, Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande. PB, 58109-970  
[bernardo@dca.ufpb.br](mailto:bernardo@dca.ufpb.br) e [pvieira@dca.ufpb.br](mailto:pvieira@dca.ufpb.br)

<sup>3</sup> Professor, Doutor, DCA/UFPB, [vicente@dca.ufpb.br](mailto:vicente@dca.ufpb.br)

<sup>4</sup> Pesquisador, Mestre, Embrapa Semi-árido [heriberto@cpatsa.embrapa.br](mailto:heriberto@cpatsa.embrapa.br) e [monteiro@cpatsa.embrapa.br](mailto:monteiro@cpatsa.embrapa.br)

<sup>5</sup> Professor, Mestre, ESAM [espinola@esam.br](mailto:espinola@esam.br)

## Introdução

O balanço de energia sobre superfícies livres de água, vegetação natural ou culturas, irrigadas ou não, tem grande importância em estudos de trocas de energia e massa na camada limite superficial e, por conseguinte, em estudos agroclimatológicos, de modelagem numérica e de estimativas evaporativas e/ou evapotranspirativas.

A aplicação do método do balanço de energia na estimativa do consumo hídrico de culturas que cobrem grande extensão horizontal e relativa homogeneidade tem sido uma prática intensiva em muitos institutos de pesquisa e universidades em diferentes países. No entanto, sua utilização em culturas esparsas e pomares de frutíferas (mangueiras, cajueiros, aceroleiras, citros em geral), constitui objeto de poucos estudos.

No Brasil, alguns estudos (ANDRÉ & VISWANADHAM, 1986; ÁVILA NETTO, 1997; SILVA *et al.*, 1997; SIQUEIRA, 1997; TEIXEIRA *et al.*, 1997; LOPES, 1999; MOURA, 2001) têm feito uso do método da razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de culturas e outras superfícies vegetadas. Em nível internacional, inúmeras pesquisas têm usado tal técnica (HANKS *et al.*, 1971; ANGUS & WATTS, 1984; GAY, 1988; YAO & GOUÉ, 1992; HEILMAN *et al.*, 1994; PRUEGER *et al.*, 1997). Pode-se destacar a análise de erros conduzida por ANGUS & WATTS (1984), que diferentemente de muitos outros estudos, efetuaram uma análise criteriosa do erro instrumental (absoluto e relativo) associado ao uso do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen na determinação da evaporação e/ou evapotranspiração.

No Nordeste brasileiro, em condição de campo ou de casa de vegetação, pouca pesquisa tem sido desenvolvida com fruteira isolada, irrigada ou não, que cobre de forma descontínua a superfície do solo. Quanto à mangueira, não há informação acerca do seu consumo hídrico no semi-árido nordestino.

É notório o destaque do vale do rio São Francisco, com relação ao cultivo de fruteiras, principalmente os pomares de mangueiras que vêm expandindo-se rapidamente nos perímetros irrigados. Este crescimento acentua a disputa pelo uso da água na região, ao mesmo tempo em que se constitui em grande alternativa ao seu desenvolvimento, gerando empregos e divisas para o país.

Busca-se, sobremaneira, aperfeiçoar as tecnologias de produção e maximizar o aproveitamen-

to da água, para aumentar a produção e qualidade dos frutos. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou a aplicação do balanço de energia sobre a copa de plantas de manga, bem como avaliar os erros associados ao cálculo do fluxo de calor latente.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em área da Estação Experimental de Bebedouro, (EMBRAPA Semi-árido), em Petrolina-PE (09°00'S; 40°22'W; 365,5m), no período de 6 de agosto a 22 de novembro de 1998. O clima da região é classificado como BSw<sup>h</sup>, conforme a classificação de Köppen (HARGREAVES, 1974). Trata-se de um clima semi-árido, com estação chuvosa limitada ao período de janeiro a abril e média pluviométrica anual de 530mm. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com lençol freático localizado a cerca de dois metros de profundidade. O estudo foi conduzido num pomar de mangueiras (*Mangífera indica* L.), cultivar Tommy Atkins, com seis anos de idade, espaçadas de 8m entre fileiras por 5m entre plantas, sendo irrigado por gotejadores espaçados de 1,0m e vazão de 3,9l/h. As lâminas de água aplicadas em cada irrigação tiveram por base leituras do tanque Classe A e coeficiente de cultura de 0,75. No controle de floração aplicou-se Cultar (*Paclobutrazol*) numa dosagem de 2ml por metro linear de copa, diluídos em 20l de água e distribuídos em sulco, sob a copa das plantas. A indução floral foi efetuada mediante a aplicação de solução de 4% de nitrato de potássio e cálcio. No manejo nutricional foram utilizados 62,5g de Nitrogênio por planta e, nos fitossanitários, os fungicidas Afugang (*Pyrazophos*) e Rubigan (*Fenarimos*), na dosagem de 15 e 5ml por 20l de água, respectivamente.

Na parcela experimental, ocupando área de 9.880m<sup>2</sup>, foi montada uma torre micrometeorológica com 7m de altura, onde foram instalados os seguintes instrumentos: um saldo-radiômetro, posicionado a 1m acima da copa sobre fileira; dois psicrômetros, posicionados sobre uma fileira de plantas, sendo um no topo da copa e o outro a 1m acima do primeiro, mas em verticais diferentes; e um termômetro infravermelho a 1m do topo da copa e formando 45° com a vertical. Sensores para medição do fluxo de calor no solo foram instalados próximo ao caule e entre as fileiras de plantas, a uma profundidade de 0,05m no solo. Os sinais analógicos foram coletados por um sistema de aquisição automática de dados (Micrologger 21X, Campbell Scientific, Inc), progra-

mado para varreduras a cada segundo e extração de médias a cada 10 minutos.

O balanço de energia baseou-se em medições do saldo de radiação,  $R_n$  (Watt/m<sup>2</sup>), do fluxo de calor no solo,  $G$  (Watt/m<sup>2</sup>), dos gradientes de temperatura do ar, bulbos seco  $T_a$  (°C) e úmido,  $T_u$  (°C), e da pressão de vapor d'água,  $e_a$  (kPa). O fluxo de calor latente,  $LE$  (Watt/m<sup>2</sup>), foi obtido pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, segundo a expressão:

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

sendo

$$b = \frac{H}{LE} = \frac{c_p p_0}{LE} \left( \frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\partial T / \partial z}{\partial e / \partial z} \approx g \left( \frac{K_h}{K_w} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

em que  $\beta$  é a razão de Bowen;  $H$  (Watt/m<sup>2</sup>) o fluxo de calor sensível;  $p_0$  a pressão atmosférica local (kPa);  $c_p$  o calor específico do ar à pressão constante (J/kg°C);  $L$  o calor latente de vaporização da água (J/kg);  $\varepsilon$  a razão entre as massas moleculares da água e do ar seco;  $K_h$  e  $K_w$  os coeficientes de difusão turbulenta do calor sensível e do vapor d'água, respectivamente;  $\Delta T$  e  $\Delta e$ , respectivamente, as variações de temperatura do ar e pressão de vapor d'água medidas em dois níveis; e  $\gamma = (C_p \cdot p_0) / LE$  o fator psicrométrico (kPa/°C).

O balanço de energia foi obtido pela expressão:  $R_n + LE + G + H = 0$ , e os fluxos foram considerados positivos quando dirigidos para a copa das plantas. No cálculo da evapotranspiração diária da cultura ( $ET_c$ , mm) utilizou-se o intervalo de tempo correspondente ao período em que  $R_n$  se apresentou positivo (PRUEGER et al., 1997). Assim, a  $ET_c$  foi obtida através de:  $ET_c = Pt \cdot LEM / L$ , onde  $Pt$  (s) é o período diurno em que  $R_n$  foi maior que zero,  $LEM$  (W.m<sup>-2</sup>) é a densidade média do fluxo de calor latente diurno e  $L$  (J.kg<sup>-1</sup>) é o calor latente de vaporização da água.

Os erros, absoluto e relativo, associados aos cálculos do fluxo de calor latente (Equação 1) e razão de Bowen (Equação 2), foram obtidos respectivamente pelas expressões (ANGUS & WATTS, 1984):

$$dLE = \left[ \left( \frac{dR_n + dG}{R_n - G} \right) + \left( \frac{db}{1 + b + db} \right) \right] LE \quad (3)$$

$$db = (1 + b) \left[ \frac{d\Delta T_u}{\Delta T_u} + \frac{d\Delta T_a}{\Delta T_a} \right] b \quad (4)$$

em que  $\delta LE$ ,  $\delta \beta$ ,  $\delta R_n$  e  $\delta G$  são, respectivamente, os erros absolutos associados às medições do fluxo de calor latente  $LE$ , razão de Bowen  $\beta$ , saldo de radiação  $R_n$  e fluxo de calor no solo  $G$ .  $\delta \Delta T_u$  e  $\delta \Delta T_a$  referem-se aos erros absolutos associados às medições das temperaturas úmida e seca, sendo respectivamente iguais a 0,05 e 0,02 °C.  $\Delta T_a$  e  $\Delta T_u$  representam as diferenças entre as medições das temperaturas do ar nos bulbos seco e úmido dos psicômetros instalados nos dois níveis considerados.

## Resultados e discussão

Os resultados do balanço diurno de energia para os dias representativos dos estádios de floração plena (6 e 10/08/98); queda fisiológica de frutos (18 e 19/09/98); maturação dos frutos (18 e 19/10/98) e colheita dos frutos (17 e 22/11/98), são apresentados na Tabela 1.

A copa das plantas manteve-se em geral ligeiramente mais aquecida que o ar. Segundo PEREIRA et al. (1997), sobre culturas bem irrigadas, o ar próximo à superfície permanece mais aquecido que a cultura, situação oposta à observada com a mangueira irrigada. Observou-se, quando da análise da temperatura da copa, que durante algumas ocasiões houve alternância nos sinais do fluxo de calor sensível ( $H$ ). Já o fluxo de calor latente ( $LE$ ), em valor absoluto, manteve-se sempre superior a  $H$  em todos os estádios do ciclo produtivo. O fluxo de calor no solo representou uma pequena proporção do saldo de radiação (Tabela 1), em geral inferior aos 7%. A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), em média, foi de 5,0mm/dia, ocorrendo uma sensível redução no final do ciclo produtivo.

Na Figura 1 são apresentadas as poligonais referentes ao curso diurno dos componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen na floração plena, na queda dos frutos, na maturação dos frutos e na colheita dos frutos. Observa-se que em 06/08/98, em plena floração (Figura 1a), ocorreu uma variabilidade acentuada na nebulosidade após o meio-dia e que os valores médios diurnos dos fluxos  $G$ ,  $H$  e  $LE$  representaram 4,96 %, 18,65 % e 76,39 % de  $R_n$ , respectivamente. Contudo, esses padrões são semelhantes aos observados em vegetação nativa

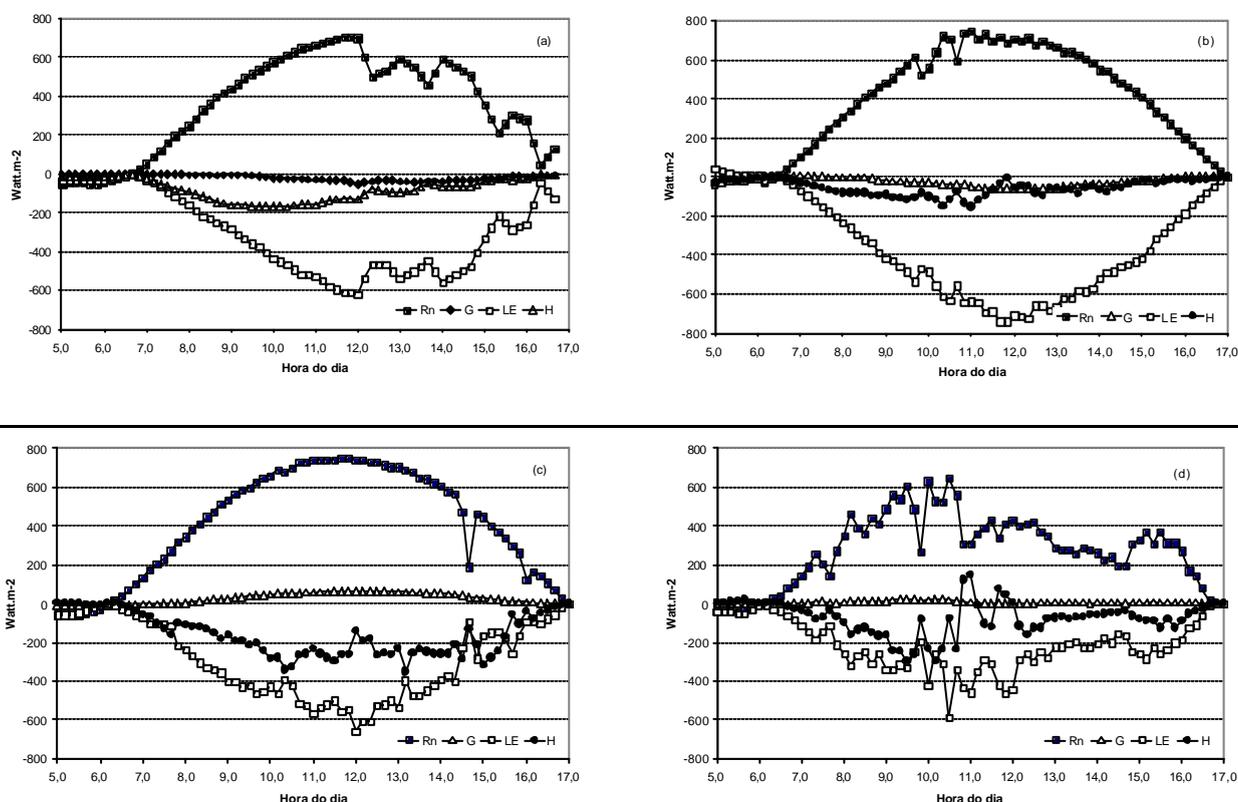
**Tabela 1** Balanço diurno de energia e evapotranspiração (ETc) para os estádios de floração plena, queda fisiológica, maturação e colheita dos frutos de um pomar de mangueiras irrigado em Petrolina, PE, 1988.

Estádio/	Data	Rn (W/m <sup>2</sup> )	G (W/m <sup>2</sup> )	G/Rn (%)	H (W/m <sup>2</sup> )	H/Rn (%)	LE (W/m <sup>2</sup> )	LE/Rn (%)	ETc (mm)
Floração plena	06/08/98	419,46	-20,80	4,96	-78,22	18,65	-320,44	76,39	4,71
	10/08/98	412,26	-15,18	3,68	-106,48	25,82	-290,48	70,46	4,41
Queda fisiológica dos frutos	18/09/98	445,62	-24,47	5,49	-54,79	12,29	-366,36	82,21	5,79
	19/09/98	471,82	-25,47	5,40	-42,89	9,09	-402,96	85,40	6,17
Maturação dos frutos	18/10/98	472,87	-31,59	6,68	-117,91	24,93	-323,37	68,38	5,11
	19/10/98	446,22	-28,62	6,41	-97,81	21,92	-321,19	71,98	5,17
Colheita dos frutos	17/11/98	318,35	-7,32	2,30	-73,63	23,12	-237,40	74,57	3,75
	22/11/98	307,40	-4,40	1,41	-106,05	34,50	-196,95	64,07	3,11

(SIQUEIRA, 1999) e cultivo de médio porte (ÁVILA NETTO, 1997). SIQUEIRA (1999) observou em área com algarobeira (*Prosopis juliflora*) no período chuvoso (janeiro-fevereiro de 1996) que G, H e LE representaram 10 %, 10 % e 80 % de Rn, respectivamente; enquanto que ÁVILA NETTO (1997) verificou que para a videira Itália irrigada esses mesmos

fluxos representaram 9 %, 15 % e 76% de Rn, respectivamente.

Durante a queda fisiológica dos frutos (Tabela 1), em 18/09/98, 82,21 % do saldo de radiação foi consumido como calor latente, 12,29 % como calor sensível e 5,49 % para aquecimento do solo. Observa-se que pela manhã a vegetação se encontrava rela-



**Figura 1.** Componentes do balanço de energia em pomar de mangueiras na floração plena em 06/08/1998 (a) e na queda fisiológica dos frutos em 18/09/1998 (b), na maturação dos frutos em 18/10/1998 (c) e na colheita dos frutos em 17/11/1998 (d), Petrolina, PE.

tivamente mais aquecida que o ar, o que se evidencia nos valores de H. Ao mesmo tempo, os valores instantâneos de Rn e LE foram muito próximos. Resultados semelhantes foram encontrados por SMITH et al. (1997) com a utilização de quebra-vento de *Azadirachta indica* e MOURA (2001) em um pomar de goiabeira.

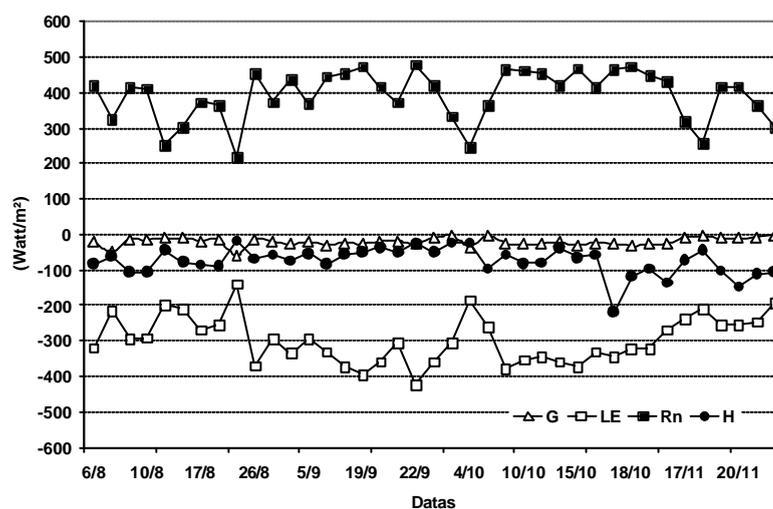
Na maturação dos frutos (18/10/98), 68,38% da energia disponível foi usada como calor latente, 24,93% como calor sensível e 6,68% foram destinados ao aquecimento do solo (Tabela 1). MEINZER & GUTIÉRREZ (1994) observaram que, depois de cessada a irrigação numa vegetação de café, LE decresceu e H aumentou, correspondendo a uma situação oposta à estudada.

Na colheita dos frutos, em 17/11/98, 74,57% do saldo de radiação foi utilizado como calor latente, 23,12% como calor sensível e 2,30% como fluxo de calor no solo (Tabela 1). Esse dia foi caracterizado por apresentar acentuada variação nos componentes do balanço de energia devido à acentuada variação da nebulosidade ao longo do período diurno. YAO & GOUÉ (1992) observaram que, com a diminuição do conteúdo de água no solo, a evapotranspiração de um dossel de plantas de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) diminui. Porém, HEILMAN et al. (1994) observaram que o vento influenciava nas variações dos componentes do balanço de energia no interior e sobre o dossel da videira.

Na Figura 2 encontram-se apresentadas as variações sazonais dos valores médios das componentes do balanço de energia ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras (06/08/98 a 22/11/98). Verifica-se que o valor diurno do saldo de radiação variou bastante, como consequência da nebulosidade, chegando a alcançar valores extremos de  $478\text{W/m}^2$  e  $218\text{W/m}^2$ ; além do mais, o valor diurno do fluxo de calor latente (LE) acompanhou as oscilações no saldo de radiação. Os valores máximo e mínimo de LE, em módulo, foram respectivamente iguais a  $425\text{W/m}^2$  e  $140\text{W/m}^2$ . O valor diurno do fluxo de calor sensível (H) permaneceu negativo durante todo o período, indicando a transferência de energia da folhagem para a atmosfera e oscilou entre  $-18\text{W/m}^2$  e  $-218\text{W/m}^2$ . Isto ocor-

reu em virtude da temperatura da mangueira ser, em geral, maior que a do ar nas proximidades do dossel, e constituir uma particularidade da fisiologia desta frutífera, que embora bem irrigada se mostrava, em geral, ligeiramente mais aquecida que o ar. O fluxo diurno de calor no solo (G) não apresentou variações significativas, comportamento também observado por ÁVILA NETTO (1997) em estudo com videira. De qualquer modo, os valores obtidos situaram-se entre  $-3\text{W/m}^2$  e  $-60\text{W/m}^2$ .

Os erros relativos médios diurnos, associados ao cálculo da razão de Bowen e do fluxo de calor latente são apresentados na Tabela 2, enquanto que na Figura 3 estão apresentados os valores do erro absoluto médio diurno cometidos na determinação de LE. Observa-se (Tabela 2) que o erro relativo no cálculo do fluxo de calor latente ( $\delta\text{LE}$ ) alcançou seu valor máximo de 31,12 em 19/09/98, na queda fisiológica dos frutos e foi mínimo na floração plena, quando atingiu o valor de 3,96%. Ao se considerar todo o ciclo produtivo do pomar obtém-se um valor médio inferior aos 20%. Observa-se, ainda, que não houve uma resposta regular entre os estádios analisados. Segundo HANKS et al. (1971), estimativas da evapotranspiração podem resultar em erros de 20 a 40% quando não são considerados os fluxos horizontais de calor latente e sensível. Já XIANQUN (1996), ao comparar valores de  $\text{ETc}$  obtidos com o método



**Figura 2.** Variação dos fluxos de calor latente (LE), de calor sensível (H), de calor no solo (G) e saldo de radiação (Rn) nos diferentes estádios do ciclo produtivo da mangueira na região do Submédio São Francisco. Petrolina, PE.

**Tabela 2.** Erros relativos e absolutos médios diurnos associados ao cálculo do fluxo de calor latente e razão de Bowen para os diferentes estádios do ciclo produtivo de um pomar de mangueiras irrigado em Petrolina-PE, 1998.

Estádios	Datas -	LE (W.m <sup>-2</sup> )-	$\frac{\delta LE}{LE}$ (%)	$\delta LE$ (W.m <sup>-2</sup> )	$\beta$	$\frac{\delta \beta}{\beta}$ (%)
Floração Plena	06/08/98	-320,44	5,91	15,13	0,29	7,08
	10/08/98	-290,48	3,96	8,13	0,45	7,64
Queda Fisiológica dos frutos	18/09/98	366,36	15,54	68,60	0,18	16,73
	19/09/98	402,96	31,12	86,51	0,13	32,21
Maturação dos frutos	18/10/98	-323,37	8,12	46,16	0,35	9,58
	19/10/98	-321,19	26,41	68,84	0,21	22,13
Colheita dos frutos	17/11/98	-237,40	13,29	33,73	0,29	50,07
	22/11/98	-196,95	24,66	89,97	0,21	25,45

da razão de Bowen e com medições lisimétricas em trigo, soja e algodão, concluiu que discrepâncias maiores podem ser causadas devido à sobre e sub-estimativas das variações de temperatura e pressão de vapor d'água, as quais geram erros de 13,5% a 65,0% sem advecção e entre 16,7% a 72,4%, com advecção. Ademais, uma área tampão inadequada produziu erros na razão de Bowen de 36% na ausência de advecção e 20% com advecção, o que se verificou com os dados do referido estudo. LOPES (1999), ao analisar o erro relativo em LE devido ao saldo de radiação e do fluxo de calor no solo, neste mesmo experimento com mangueira, observou que em nenhum estágio de desenvolvimento esses erros relativos chegaram a ser superiores a 4%, resultado este que está de acordo com os obtidos por ANGUS & WATTS (1984).

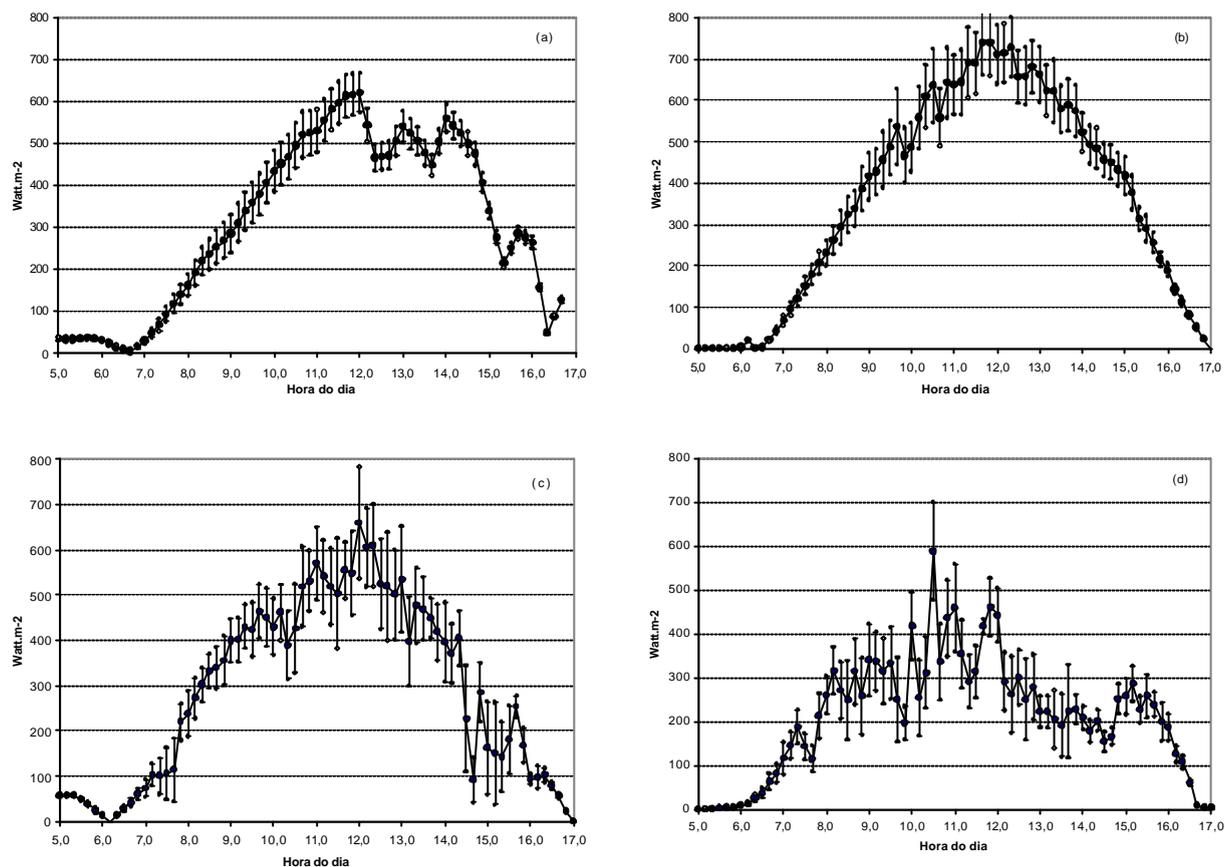
Os valores médios diurnos da razão de Bowen obtidos nos oito dias incluindo neste estudo encontram-se representados na Tabela 2. Os valores mínimo e máximo ocorreram respectivamente nos dias 19/09/98 (queda fisiológica dos frutos) e 19/08/98 (floração plena). A variação diurna de  $\beta$ , obtida no mesmo estudo com a mangueira, foi analisada por LOPES (1999), apresentando-se em geral baixa e próxima de zero durante todo período diurno, exceto no início da manhã e final da tarde; por  $\beta$ , manteve-se em geral entre +0,5 e -0,7, resultados que concordam com a condição de copa úmida (JARVIS et al., 1975).

O erro relativo médio diurno devido ao cálculo da razão de Bowen ( $\delta\beta/\beta$ ) variou bastante e situou-se entre os extremos que ocorreram em 06/08/98 (7,08%) e 17/11/98 (50,07%). De modo geral, esses erros aumentaram da floração plena à colheita dos frutos, embora com uma irregularidade muito acen-

tuada. Foi constatado que os valores mais elevados ocorreram quando  $\Delta T_a$  e  $\Delta T_u$  aproximaram-se de zero. Nos momentos de inversão, início da manhã e final da tarde, houve grandes oscilações nos gradientes de temperatura, ocasionando os maiores erros no cálculo de  $\beta$ . De acordo com GAY (1988), mesmo durante períodos de baixa transpiração, quando os erros se acentuam, o cálculo da evapotranspiração real acumulada no período diurno não chega a ser comprometido.

Na Figura 3 constam os valores do fluxo de calor latente e do erro absoluto associado ao seu cálculo. Os valores de LE estão representados por círculos pretos, enquanto que os erros absolutos sob forma de barras verticais com círculos brancos nas extremidades. Observa-se que se em dado horário o erro absoluto foi de 60W.m<sup>2</sup>, isto significa que o valor verdadeiro de LE situa-se entre aquele determinado pelo método empregado (círculo preto) mais ou menos o erro absoluto determinado. No início da manhã o erro absoluto é pequeno, aumentando no decorrer do dia, voltando a decrescer por volta das 14h. Constatata-se, ainda, que próximo ao meio-dia esse erro é bastante significativo, devendo-se ao fato do mesmo ser proporcional aos valores de LE. Resultados semelhantes foram observados por SINCLAIR et al. (1975). Os valores médios diurnos referentes aos erros absolutos devidos ao cálculo de LE, estão dispostos na Tabela 2. Como pode ser visto, em 10/08/1998 (floração plena) e 22/11/1998 (colheita dos frutos) eles foram respectivamente iguais a 8,13W.m<sup>2</sup> e 89,97W.m<sup>2</sup>, compreendendo os valores mínimo e máximo do período estudado.

O rendimento de frutos obtidos na área experimental foi de 44.684Kg.ha<sup>-1</sup>, sendo que a classifica-



**Figura 3.** LE e limite dos erros absolutos associados ao seu cálculo na floração plena em 06/08/1998 (a), na queda fisiológica dos frutos em 18/09/1998 (b), na maturação dos frutos em 18/10/1998 (c) e na colheita dos frutos em 17/11/1998 (d) em Petrolina, PE.

ção de frutos por peso resultou num valor médio de 441g, com predominância de frutos grandes (tipo 9). Em outro estudo realizado na mesma área no ano seguinte ao deste experimento, SILVA (2000) obteve **produtividade de 48.491Kg.ha** e peso médio de frutos igual a 470g, com predominância de frutos tipo 12 (494g).

### Conclusões

Com base nas condições do experimento de campo realizado, pode-se concluir que:

- o fluxo de calor latente, estimado pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, representa uma parcela significativa da energia disponível ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, atingindo valores superiores a 80% na queda fisiológica dos frutos, enquanto que o fluxo

de calor no solo representa uma pequena fração do saldo de radiação, da ordem de 4%;

- o erro relativo médio diurno, associado ao cálculo do fluxo de calor latente usando o balanço de energia baseado na razão de Bowen, varia de 5% a 30%, aproximadamente.

### Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor; ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento - CNPq, pela bolsa de pesquisador do segundo e terceiro autores; ao Curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB, pela estrutura didático-científica; à Embrapa Semi-Árido, pelo apoio material e humano indispen-

sável à execução e êxito da campanha de campo realizada em sua Estação Experimental; aos pesquisadores da Embrapa Semi-Árido: José Moacir Pinheiro Filho e Luiz Henrique Bassoi pelas contribuições e importantes sugestões.

### Referências bibliográficas

- ANDRÉ, R.G.B., VISWANADHAM, Y. Distribuição de energia numa vegetação de soja. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 29-37, 1986.
- ANGUS, D.E., WATTS, P.L. Evapotranspiration – How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 138-150, 1984.
- ÁVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira na região do submédio São Francisco**. Campina Grande : UFPB, 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- GAY, L.W. A portable Bowen ratio system for evapotranspiration measurements. In: NATIONAL CONFERENCE ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 1998, Tucson, AZ, **Proceeding...**, Tucson, AZ : American Society of Civil Engineering, August, 1998. p. 625-632.
- HANKS, R.J., ALLEN, L.H., GARDNER, H.R. Advecção and evapotranspiration of wide-row sorghum in the Central Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 63, p. 520-527, 1971.
- HARGREAVES, G.H. **Climate zonings for agricultural production in Northeast, Brazil**. Logan : Utah State University, 1974. 6 p.
- HEILMAN, J.L., McINNES, K.J., SAVAGE, M.J. et al. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 99-114, 1994.
- JARVIS, P.G., JAMES, G.B., LANDSBERG, J.J. Coniferous forest. In: Monteith, J.L. (Ed.) **Vegetation and the atmosphere**, London : Academic, 1975, v. 2, Cap. 7, p. 171-240.
- LOPES, P.M.O. **Evapotranspiração da Mangueira no semi-árido nordestino**. Campina Grande : UFPB, 1999. 108 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 1999.
- MEINZER, F.C., GUTIÉRREZ, M.V. Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development, Island of Kauai. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, p. 173-186, 1994.
- MOURA, M.S.B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guava*, L.) irrigada**. Campina Grande : UFPB, 2001. 98 p. Dissertação de Mestrado (Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 2001.
- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. São Paulo : Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - FEALQ, 1997. 183 p.
- PRUEGER, J.H., HATFIELD, J.L., AASE, J.K. et al. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, n. 1, p. 730-736, 1997.
- SILVA, B.B., SLACK, D.C., OLIVEIRA, A.O., et al. Energy balance in a vineyard field under semiarid conditions in Northeast of Brazil. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE**, 1997. Minneapolis, Minnesota, **Proceeding...**, Minneapolis, Minnesota : American Society of Agricultural Engineering., 1997. Paper No. 972180.
- SILVA, V.P.R.da. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. Campina Grande : UFPB, 2000. 129 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal da Paraíba, 2000.
- SINCLAIR, T.R., ALLEN, L.H., LEMON, E.R. An analysis of errors in the calculation of energy flux densities above vegetation by a Bowen-ratio profile method. **Boundary Layer Meteorology**, Dordrecht-Holland, v. 8, p. 129-139, 1975.
- SIQUEIRA, A.A. **Avaliação do microclima em área de caatinga e área reflorestada com algaroba no semi-árido**. Campina Grande : UFPB, 1997. 87 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- SMITH, D.M., JARVIS, P.G., ODONGO, J.C.W. Energy budgets of windbreak canopies in the Sahel. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 86, p. 33-49, 1997.
- TEIXEIRA, A.H.C., AZEVEDO, P.V., SILVA, B.B. et al. Balanço de energia na vegetação da videira, c.v. Itália. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, p. 137-141, 1997.
- YAO, N.R., GOUÉ B. Water use efficiency of a cassava crop as affected by soil water balance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam. v. 61, p. 187-203, 1992.
- XIANQUN, X. The combined field experiment for determining evapotranspiration in North China plain. In: Evapotranspiration and Irrigation Scheduling. **INTERNATIONAL CONFERENCE**, 1996. San Antonio, Texas. **Proceedings...**, San Antonio, Texas : American Society of Agricultural Engineers, November, p. 69-74, 1996.