

COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA EM POMAR IRRIGADO NO NORDESTE

Bernardo Barbosa da SILVA¹, Vicente de Paulo Rodrigues da SILVA¹, Pedro Vieira de AZEVEDO¹, Pabrcio Marcos de Oliveira LOPES², Antônio Heriberto de Castro TEIXEIRA², José Monteiro SOARES², José Espínola SOBRINHO³

¹ Departamento de Ciências Atmosféricas, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, CEP: 58 109 970, e-mail: bernardo@dca.ufpb.br

² Pesquisadores Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE e ³ Professor da ESAM, Mossoró, RN.

ABSTRACT

Results of an energy balance based on the Bowen ratio method are presented. Two field experiments were carried out in 1998 and 1999, with a mango orchard in Petrolina, PE. The mango trees were irrigated by a drip irrigation system. A micrometeorology tower was set up for installation of the instruments used for the energy balance, which are: net radiation, two psychrometers and two anemometers installed in two levels above the canopy of the culture, and more two radiometers (global solar radiation and the radiation reflected by the culture). Two plates for measuring the soil heat flux in a depth of 5 cm were installed. The analog signals of all instruments were scanned once every five seconds and averaged every 10 minutes using a micrologger. It was verified that didn't happen great differences among the components of the energy balance in relation to the two experiments. In general, the latent heat flux was of the order of 80% of R_n , while H and G represented around 15% and 5% of R_n , respectively. Such relationships were analyzed in different phenological phases, as well as the seasonal behavior of the energy balance components.

INTRODUÇÃO

Os dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*) de 1993 classificam o Brasil como o quinto maior produtor mundial de manga, ainda que o país tenha respondido por apenas 2,73% da produção total de 15.022.000 toneladas em 1990, vindo depois da Índia (63,24%), México (5,26%), Paquistão (4,23%) e China (2,96%).

O balanço de energia baseado na razão de Bowen constitui-se num método simples e prático de estimativa do fluxo de calor latente, e que tem sido amplamente utilizado com esse propósito por vários pesquisadores (GARRAT, 1984; GAY, 1986; HEILMAN & BRITTIN, 1989; CELLIER & OLIOSO, 1993; PRUEGER *et al.*, 1997). Para ANGUS & WATTS (1984) o método de balanço de energia deve ser aplicado com as seguintes restrições: (i) a suposição de igualdade entre K_h e K_w é válida apenas para condições de estabilidade atmosférica próximo da neutralidade, e (ii) as medições de temperatura e umidade devem ser tomadas dentro da camada limite do fluxo de ar, o que implica na necessidade de um "fetch" com extensão mínima de 100 vezes a altura das medidas, assim como a ausência de gradientes horizontais de temperatura e umidade. Observaram, ainda, que este método oferece bons resultados em condições úmidas, porém se torna impreciso em condições muito secas ou com considerável advecção de energia e que, independentemente dos valores assumidos pela razão de Bowen, o saldo de radiação e fluxo de calor no solo oferecem uma contribuição de erro relativo na ordem de 4% no cálculo do fluxo de calor latente. ROSENBERG *et al.* (1983) também observaram que os coeficientes K_h e K_w só são iguais em condições próximas da neutralidade e para períodos específicos do dia.

Quando compararam valores do fluxo de calor latente obtidos pelo balanço de energia e medições lisimétricas, BRAKKE *et al.* (1978) verificaram que o balanço energia subestimou o calor latente em 10-40%, cujo erro eles atribuíram à suposição da condição de igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (K_h) e latente (K_w), atestando, então, um erro significativamente menor quando assumiram esses coeficientes diferentes. Ao examinarem, experimentalmente, o relacionamento entre K_h e K_w mediante condições de advecção de calor sensível, VERMA *et al.* (1978) observaram que a hipótese de igualdade entre esses coeficientes provoca uma subestimativa da evapotranspiração calculada pelo método do balanço de energia, condições em que K_h é maior do que K_w e o gradiente $\Delta T/\Delta e$ é negativo. Resultados semelhantes foram obtidos por BLAD & ROSENBERG (1974); posteriormente, ROSENBERG *et al.* (1983) verificaram que o processo de advecção local ocorre quando o vento se desloca de uma superfície seca para uma superfície úmida, cuja principal evidência é quando a energia consumida no processo de evapotranspiração é maior que a energia disponível.

Segundo HEILMAN *et al.* (1989) o balanço de energia, ao contrário de outros métodos, não necessita de informações sobre a velocidade do vento nem de propriedades aerodinâmicas da superfície do solo, visto que os

fluxos são independentes da estabilidade do ar atmosférico, quando é considerada a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor latente e sensível. A maior exigência desse método é que os gradientes de temperatura e umidade devem ser medidos dentro da camada limite interna, de preferência na parte da camada limite em equilíbrio com a superfície. Ainda nesse estudo, os autores observaram que o método balanço de energia não é afetado pelo “fetch” quando a razão de Bowen é pequena mas que, ao contrário dos 100m citados na literatura, o método pode ser usado com segurança para “fetch” inferior a vinte vezes a altura da cultura.

OLIVER & SENE (1992), estudando a cultura da videira, observaram que a evapotranspiração pode ser obtida a partir das componentes do solo e da planta, independentemente uma da outra. Já LANG (1973), empregando o balanço de energia bidimensional com base na razão de Bowen, observou que, em condições de grama irrigada, os gradientes verticais de temperatura e umidade mostraram-se de 20 a 200 vezes superiores aos gradientes horizontais. Por outro lado, CULF *et al.* (1993), desconsiderando o fluxo de calor no solo para períodos de um dia, encontraram um erro na ordem de 1M Jm^{-2} no cálculo da energia disponível para os fluxos turbulentos.

ZHAO *et al.* (1996) determinaram a evapotranspiração da cultura do girassol utilizando os sistemas de Bowen e de correlações turbulentas. Foram estimados os fluxos de calor sensível armazenado pela vegetação (Q_v), pelo solo (Q_s) acima dos fluxímetros e pelo calor sensível e latente armazenado pelo volume de ar ocupado pelo dossel vegetativo (Q_a). A evapotranspiração foi calculada pelos dois métodos, negligenciando-se a soma dos fluxos $Q_v+Q_s+Q_a$ e comparada com a inclusão dos mesmos. Enfim, esses autores observaram que, apesar de $Q_v+Q_s+Q_a$ ser freqüentemente pequena, quando comparada com R_n , modifica o comportamento diurno da evapotranspiração e que o fluxo de calor do solo e o calor armazenado acima das placas podem diferir significativamente, chegando inclusive a atingir sinais opostos.

O balanço de energia foi utilizado por BURBA *et al.* (1999) nas estimativas dos fluxos de calor latente e sensível de gramíneas (*Pharagmites australis*) no centro-oeste do Estado de Nebraska, EUA. Durante os estádios inicial e de pico de crescimento, a evapotranspiração da cultura variou de 2,5 a 6,5 mm/dia; no estádio de maior desenvolvimento da cultura, o fluxo de calor sensível foi a menor componente do balanço de energia; no entanto, nos estádios inicial e de pico, a magnitude média diária foi de 25 W/m^2 , consumindo cerca de 5 a 10% do saldo de radiação. Nos dias sem chuva, o fluxo de calor latente geralmente consumiu cerca de 80-90% do saldo de radiação e durante os estádios inicial de crescimento, no início e no final da senescência a taxa da fração evaporativa (relação entre o fluxo de calor latente e saldo de radiação) decresceu para 0,6; 0,8 e 0,3, respectivamente.

O objetivo da pesquisa consiste na obtenção dos componentes balanço de energia, baseado na Razão de Bowen, de um pomar de mangueira irrigada no semi-árido do Nordeste brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental desta pesquisa foi conduzida no perímetro irrigado do Projeto Bebedouro, na Estação Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido) no município de Petrolina, PE (Latitude: $09^{\circ} 09' \text{S}$, Longitude: $40^{\circ} 22' \text{W}$; Altitude: 365,5m) na região do Submédio São Francisco.

A frutífera estudada foi a mangueira (*Mangífera indica*, L.), variedade Tommy Atkins, plantada em fevereiro de 1993, cujo fruto pesa entre 400 a 700g, com até 13cm de comprimento; oval, tendendo para oblongo e possui ponta larga e arredondada. A cor básica é o amarelo-alaranjado, com manchas escuras. A casca é grossa e resistente e a polpa é de cor amarelo-escuro (RAMOS, 1982). Foram considerados dois experimentos de campo conduzidos nos anos de 1998 e 1999, e utilizou-se a seguinte instrumentação:

- i. dois saldo-radiômetros posicionados sobre a copa da árvore, sendo um entre e outro na fileira de plantas;
- ii. três fluxímetros instalados no solo: um entre duas plantas; um próxima ao caule da planta e o outro entre fileiras de plantas, todos a uma profundidade de 5cm;
- iii. dois psicrômetros nos níveis de 0,5 e 1,9m acima do dossel vegetativo da planta.

Os sensores de saldo de radiação, temperaturas seca e úmida, velocidade do vento, radiação solar incidente e refletida foram conectados a um sistema de aquisição de dados (*Datalogger 21X* da *Campbell Scientific, Inc.*) programado para coletar os dados a cada cinco segundos e armazenar as médias a cada 10 minutos. Semanalmente e sempre às segundas-feiras, esses dados foram armazenados em um módulo de memória e transferidos para um microcomputador na sede da Embrapa Semi-árido; também uma vez por semana, foram observados o funcionamento e o estado de conservação dos radiômetros e psicrômetros.

O balanço de energia baseado na razão de Bowen (BERB) foi obtido pela seguinte expressão (ROSENBERG *et al.*, 1983):

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (3.1)$$

em que R_n é o saldo de radiação e LE, H e G são as densidades de fluxos de calor latente e calor sensível para o ar e para solo, todos em W/m^2 . A energia armazenada no dossel vegetativo e utilizada nos processos fotossintéticos não

foram consideradas, visto que representam menos de 2% do saldo de radiação (HEILMAN *et al.*, 1994). O balanço de energia, expresso pela Equação (3.2), foi efetuado assumindo-se como volume de controle a camada entre o topo da vegetação e a superfície do solo, considerando-se que as densidades de fluxo vertical que chegam à camada vegetativa, são positivas, enquanto as que saem são negativas. A razão de Bowen corresponde à relação entre os fluxos de calor sensível e calor latente, e pode ser dada por:

$$b = \frac{H}{LE} = \frac{Pc_p}{L\epsilon} \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\partial T / \partial Z}{\partial e / \partial Z} = g \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.2)$$

em que K_h e K_w são, respectivamente, os coeficientes de transferência nos processos de difusão turbulenta de calor sensível e vapor d'água, expressos em m^2s^{-1} e γ é o fator psicrométrico ($hPa \cdot ^\circ C^{-1}$).

Considerando-se $K_h = K_w$ e $(\partial T / \partial Z) / (\partial e_a / \partial Z) \approx \Delta T / \Delta e_a$; sendo $\Delta T = T_2 - T_1$ e $\Delta e_a = e_2 - e_1$ as variações de temperatura e pressão de vapor d'água na camada de ar acima da copa da árvore, respectivamente, a Equação (3.3) torna-se:

$$b \approx g \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.3)$$

A pressão parcial do vapor d'água e a de saturação, para os dois em dois níveis acima da copa da planta, foram calculadas pelas equações de Ferrel e de Tetens, respectivamente. Substituindo-se a razão de Bowen na Equação (3.1) determina-se o fluxo de calor latente pela expressão:

$$LE = - \left(\frac{R_n + G}{1 + b} \right) \quad (3.4)$$

que permite estimar o fluxo de calor latente com base em medições do saldo de radiação, fluxo de calor no solo e dos gradientes verticais de temperatura e vapor d'água sobre o dossel vegetativo da planta. Assim, o fluxo de calor sensível foi obtido como resíduo da Equação (3.1), por:

$$H = - (R_n + LE + G) \quad (3.5)$$

Na conversão do fluxo de calor latente ou evapotranspiração da cultura (ET_c), obtido pela Equação (3.4) de W/m^2 para mm/dia, utilizou-se a integral de LE para o período em que R_n foi positivo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O comportamento diurno da densidade dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor do solo (G), bem como do saldo de radiação (R_n), no ciclo produtivo do pomar de mangueiras, durante os experimentos de 1998 e 1999, exceto no início da floração e final da indução floral em 1998, é apresentado nas Figuras 3.1 a 3.6. As densidades dos fluxos de energia foram integradas no período das 6:00 às 18:00h, sendo LE e H calculados para o período em que R_n foi positivo e as intensidades analisadas com base no valor absoluto, conforme procedimento utilizado por HEILMAN & BRITTIN (1989).

A ausência de nebulosidade em 06/08/1998 (Figura 3.1a) e em 05/06/1999 (Figura 3.1b) na floração e indução floral do pomar de mangueiras definiu, respectivamente, o curso diurno de R_n e LE com pouca variabilidade, exceto no início da manhã e da tarde, quando esses fluxos variaram intensamente. Nessas condições de céu claro, os valores máximos de R_n e LE ocorreram ao meio dia, hora local, com R_n na ordem de $600 W/m^2$. No geral, os fluxos de H e G durante os anos de 1998 e 1999 foram da mesma ordem de grandeza, embora H fosse geralmente superior (em módulo) a G. As densidades dos fluxos R_n e LE foram, em 06/08/1998, bastante uniformes, desde ao amanhecer até ao meio dia para, em seguida, variarem bruscamente até o anoitecer (Figura 3.1a). O fluxo de H atingiu valores absolutos superiores a $100 W/m^2$ no início do período diurno, para em seguida, decrescer para valores próximo de zero no final da tarde.

Os valores de R_n e LE sobre a mangueira em 16/08/98 (Figura 3.2a) no estágio fenológico de queda de frutos, devido à presença de alta nebulosidade, variaram intensamente durante o período diurno, com valores absolutos máximos às 13:00h em torno de $600 W/m^2$ e $400 W/m^2$, respectivamente. O fluxo de G foi muito

pequeno, enquanto o de H foi relativamente elevado e bastante variável no período, com valores máximos nas primeiras horas da manhã. Na floração do pomar de mangueiras em 1999 (Figura 3.2b) os fluxos de R_n e LE foram elevados e variáveis ao longo do período diurno, com valores absolutos máximos ao meio dia em torno de 600 W/m^2 .

Nos estádios fenológicos de queda de frutos (Figura 3.2a) e de formação de frutos (Figura 3.4) as densidades dos fluxos seguiram o mesmo padrão de comportamento, no que se refere aos valores máximos e mínimos das densidades de fluxo do estágio fenológico de floração em 1999 (Figura 3.2b). No entanto, diferiram quanto à variabilidade dos fluxos durante o período diurno. Os fluxos de R_n e LE exibiram comportamento suavizado no estágio fenológico de queda de frutos em 1998 (Figura 3.3a) e bastante variáveis no estágio de formação de frutos (Figura 3.4a) com valores extremos superiores em módulo a 600 W/m^2 .

No estágio de formação de frutos em 1999 (Figura 3.4b) as densidades dos fluxos de R_n , G e H atingiram as maiores taxas dentre todos os estádios fenológicos da mangueira; mas, o fluxo de LE não respondeu ao aumento de R_n , sendo inferior ao fluxo de LE em 1998 (Figura 3.4a). No estágio de maturação de frutos (Figuras 3.6a e 3.6b) em 1998 e 1999, os valores de R_n e LE foram na mesma ordem de grandeza dos estádios fenológicos anteriores, ou seja, atingiram os valores máximos em torno do meio dia e mínimos no início e no final do período diurno. BURBA *et al.* (1999), analisando o comportamento sazonal do BERB em gramíneas (*Pharagmites australis*), observaram valores nesta ordem de magnitude, ou seja, no início do período um máximo de R_n em torno de 600 W/m^2 e decréscimo acentuado até atingir taxas de 300 W/m^2 , no meio do período analisado, e de 170 W/m^2 no final do período. Em todo ciclo produtivo do pomar de mangueiras, H foi sempre superior a G, exceto durante alguns instantes próximos ao meio dia. Nos dias de céu claro ou de pouca nebulosidade, R_n e LE sempre apresentaram máximos ao meio dia, enquanto nos dias com nebulosidade acentuada, o máximo de LE ocorreu sempre uma ou duas horas após o meio dia local. Resultado similar foi observado por BURBA *et al.* (1999) em que o pico de magnitude máxima de LE ocorreu em torno de uma ou duas horas após o pico máximo de R_n .

As Figuras 3.1 a 3.6 sugerem, ainda, que o fluxo de calor latente segue o curso diurno do saldo de radiação, o qual pode ser aproximado por uma função seno em condições de baixa nebulosidade sendo, no entanto, extremamente variável com a demanda atmosférica de energia. Segundo ZHANG & LEMEAR (1995) a variação do déficit de pressão de vapor d'água é capaz de modificar esse comportamento.

O fato do pomar de mangueiras em 1999 ter sido irrigado duas vezes por dia, resultou numa transferência menor de calor sensível para o ar (H) e para o solo (G) em todas as fases do seu ciclo produtivo, enquanto em 1998, quando o mangueiral foi irrigado apenas uma vez por dia, esses fluxos foram mais intensos e fortemente influenciados por R_n e pelo teor de umidade do solo.

As distribuições das médias diária e semanal da partição do saldo de radiação em fluxo de calor latente, calor sensível do ar e do solo, sobre o mangueiral em 1998 e 1999 são exibidas, respectivamente, nas Tabelas 3.1 e 3.2. As médias das densidades de fluxo para o período de sete dias foram obtidas com base no balanço de energia elaborado para todos os dias, durante o período do experimento em 1999. Entretanto, face a problemas operacionais de execução do experimento, não foi possível elaborar-se o balanço de energia na base diária em 1998, sendo realizado apenas para alguns dias dos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras.

A média da utilização do saldo de radiação como fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível do ar e do solo em 1999 foi, respectivamente, de 83,37; 11,40 e 5,66%, enquanto em 1998 a utilização de R_n foi de 77,68; 18,01 e 4,36%, respectivamente, de LE, H e G. Em geral, essas médias não diferiram muito de um ano para outro, exceto o fracionamento em calor sensível em 1998 (18,1%) que foi superior ao do ano de 1999 (11,4%). Esses resultados assemelham-se àqueles obtidos por CUNHA *et al.* (1996) que, com a cultura de milho, obtiveram o seguinte fracionamento do saldo de radiação: 80% em calor latente, 14% em calor sensível e 6% em fluxo de calor no solo. Por outro lado, TEIXEIRA *et al.* (1997) obtiveram, em estudo com a cultura da videira na região do Submédio São Francisco, o seguinte fracionamento do saldo de radiação: 82% em fluxo de calor latente, 13% em fluxo de calor sensível e 5% em fluxo de calor no solo. Os valores elevados da partição do saldo de radiação em calor sensível durante o ano de 1998 (Tabela 3.1) e no período de 1 a 28 de junho de 1999 (Tabela 3.2) ocorreram simultaneamente com alta velocidade do vento, registrada neste período.

Os Quadros 3.1 e 3.2 exibem, respectivamente, as médias dos componentes do balanço de energia e a partição do saldo de radiação nos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1998 e 1999, exceto no estágio de floração em 1998, visto que a coleta de dados somente teve início no estágio de queda de frutos.

Nos anos em análise, ocorreu aumento do saldo de radiação e do fluxo de calor latente no estágio fenológico de formação de frutos e decréscimo no estágio de maturação, exceto de calor latente, em 1999. No estágio de formação de frutos a planta encontrava-se no máximo desenvolvimento vegetativo, com o peso do fruto aumentando quase que linearmente com o tempo para, em seguida, no estágio de maturação, manter-se constante, embora com um consumo acentuado do saldo de radiação na liberação de fluxo de calor latente.

Tabela 3.1 - Percentual de utilização do saldo de radiação (R_n) como fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante o experimento num pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1998

DATA	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)	DATA	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)
06/08/98	76,51	17,90	5,59	09/10/98	78,61	15,31	6,08
16/08/98	72,51	23,62	3,87	18/10/98	72,78	19,97	7,25
26/08/98	83,25	13,51	3,24	25/10/98	62,18	30,59	6,19
06/09/98	75,30	17,48	7,22	17/11/98	75,44	22,19	2,37
04/10/98	91,38	09,40	0,77	22/11/98	88,84	10,11	1,05
Média	-	-	-	Média	77,68	18,01	4,36

Tabela 3.2 - Percentual de utilização do saldo de radiação (R_n) como fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante o experimento num pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999

DATA	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)	DATA	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)
01/06-07/06	79,83	18,38	5,44	24/08-30/08	81,97	10,39	7,64
08/06-14/06	71,65	25,07	5,10	31/08-06/09	79,16	14,32	6,52
15/06-21/06	63,48	31,76	4,76	07/09-13/09	71,63	20,93	7,44
22/06-28/06	83,66	15,83	4,87	14/09-20/09	69,23	23,26	7,51
29/06-05/07	86,04	10,15	3,93	21/09-27/09	86,53	9,43	4,31
06/07-12/07	94,39	2,51	3,10	28/09-04/10	82,77	6,52	10,71
13/07-09/07	88,96	8,54	2,49	05/10-11/10	85,13	6,90	7,96
20/07-26/07	96,64	1,96	1,30	12/10-18/10	81,36	11,49	7,15
27/07-02/08	84,19	12,83	2,98	19/10-25/10	83,93	7,15	8,92
02/08-09/08	94,62	0,57	4,81	26/10-01/10	85,51	9,54	4,95
10/08-16/08	92,08	3,82	4,10	02/10-08/10	86,79	4,96	8,26
17/08-23/08	89,55	7,06	3,39	09/10-15/10	81,71	10,13	8,16
Média	-	-	-	Média	83,37	11,40	5,66

A partição de R_n em LE apresentou os maiores valores no estágio de maturação de frutos em 1998 (82,1%) e na queda fenológica de frutos, em 1999 (91,3%), enquanto o menor valor ocorreu no estágio fenológico de floração, em 1999 (75,3%). Resultados similares foram obtidos por MOKATE *et al.* (1995) nos estádios de floração e maturação da cultura do trigo, os quais sugeriram a razão LE/ R_n como o melhor indicador de demanda hídrica da cultura que o coeficiente de cultura. Por outro lado, observa-se que, em 1999, LE consumiu 75,3 e 84,1% de R_n , respectivamente, nos estádios fenológicos de floração e maturação de frutos. No estágio de queda de frutos ocorreu o maior consumo de R_n na liberação de calor latente (91,3%). Resultados semelhantes foram encontrados por LOPES (1999) num pomar de mangueiras cultivado na região do Submédio São Francisco.

A porção do saldo de radiação utilizada como calor sensível foi maior em 1998 que em 1999, em todos os estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, exceto na floração, em 1999, quando essa proporção atingiu 20%. Esse menor consumo de energia no aquecimento do ar foi atribuído às condições atmosféricas atípicas registradas em 1999, tais como, aumento acentuado da nebulosidade, redução da umidade relativa, evaporação e temperatura do ar, a qual foi neste ano, 2 °C menor que em 1998. As baixas temperaturas registradas em 1999 resultaram numa redução do déficit de pressão de vapor e, por conseguinte, reduziram a utilização de R_n como H. Ainda de acordo com os Quadros 3.1 e 3.2 e as Tabelas 3.1 e 3.2, durante os experimentos de 1998 e 1999 não foram registrados de forma sistemática valores de LE superiores à soma R_n+G , que são característicos de situações em que a cultura se encontra menos aquecida que o ar adjacente, e/ou da advecção de calor sensível. Esses resultados são conflitantes com aqueles obtidos por AVILA NETTO (1997) que, analisando o BE de apenas um dia, observou condições de advecção no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, durante experimento com a videira europeia, em 1997. De acordo com a distribuição da partição diária dos componentes BE observa-se alguns dias em que LE foi superior a R_n , mas esses casos são pouco representativos para caracterizar uma região com fonte advectiva de energia acentuada.

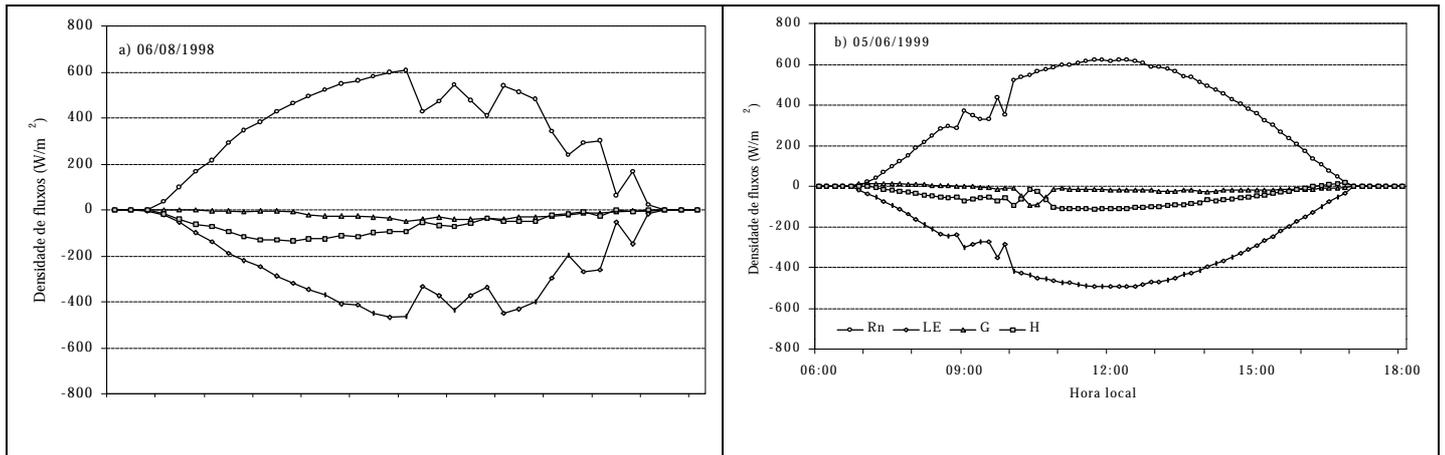


Figura 3.1 – Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) floração do pomar de mangueiras, em 06/08/1998 e b) indução floral do pomar de mangueiras, em 05/06/1999

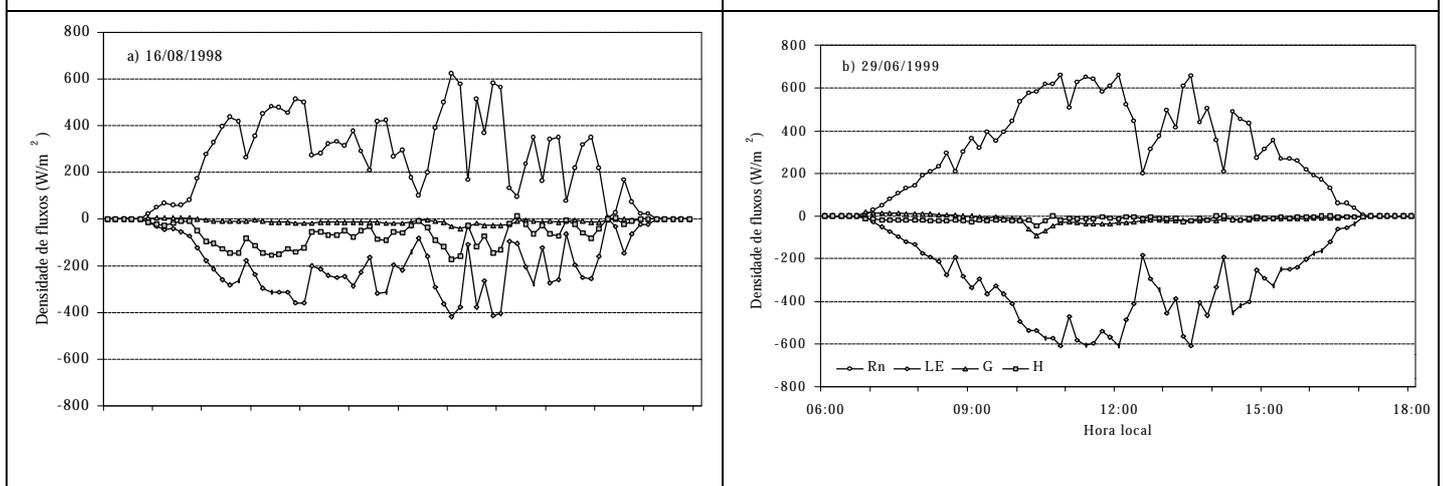


Figura 3.2 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 16/08/1998 e b) floração do pomar de mangueiras, em 29/06/1999

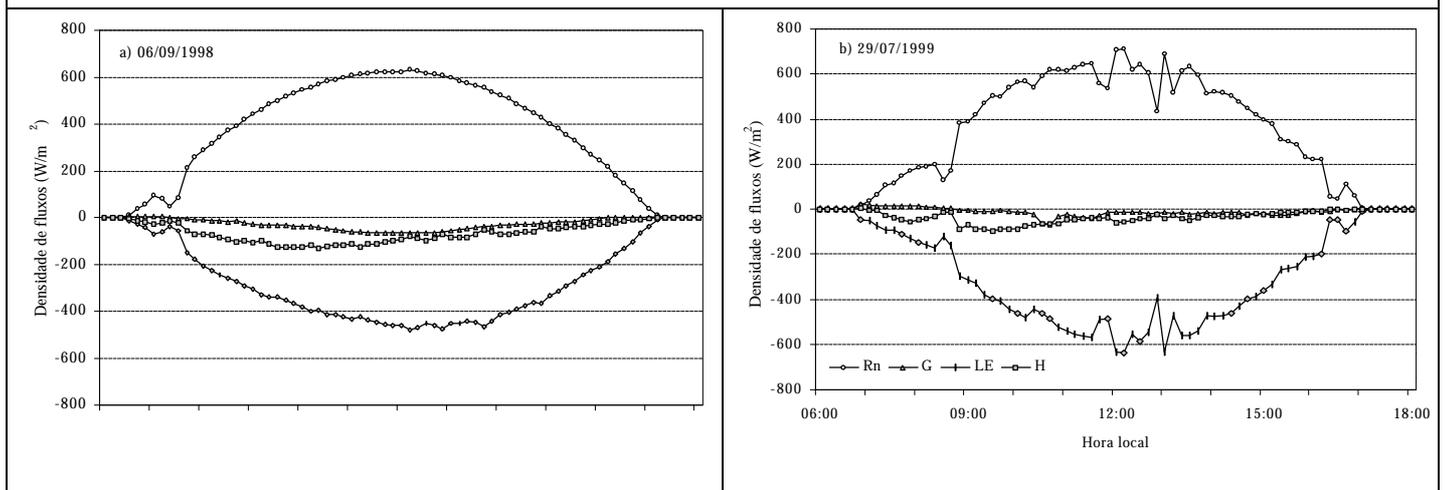


Figura 3.3 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 06/09/1998 e b) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 29/07/1999

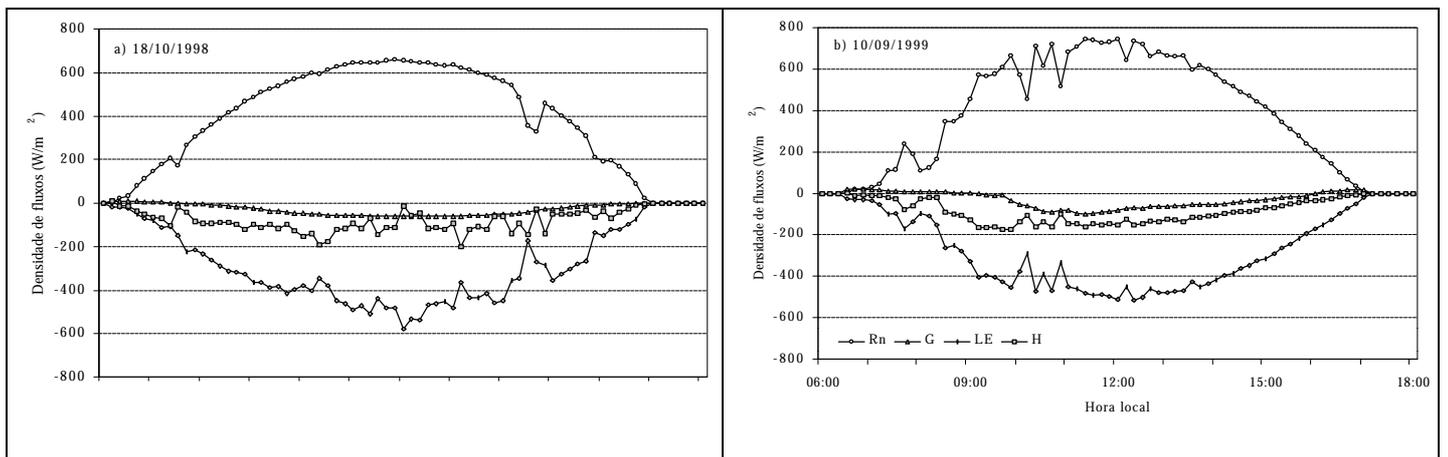


Figura 3.4 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 18/10/1998 e b) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 10/09/1999

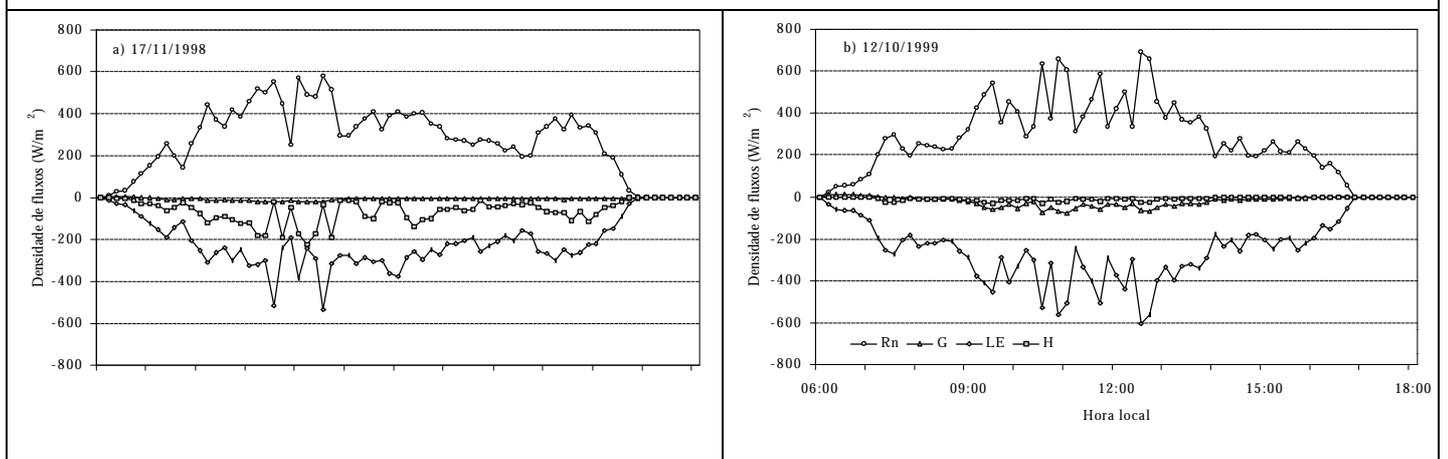


Figura 3.5 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 17/11/1998 e b) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 12/10/1999

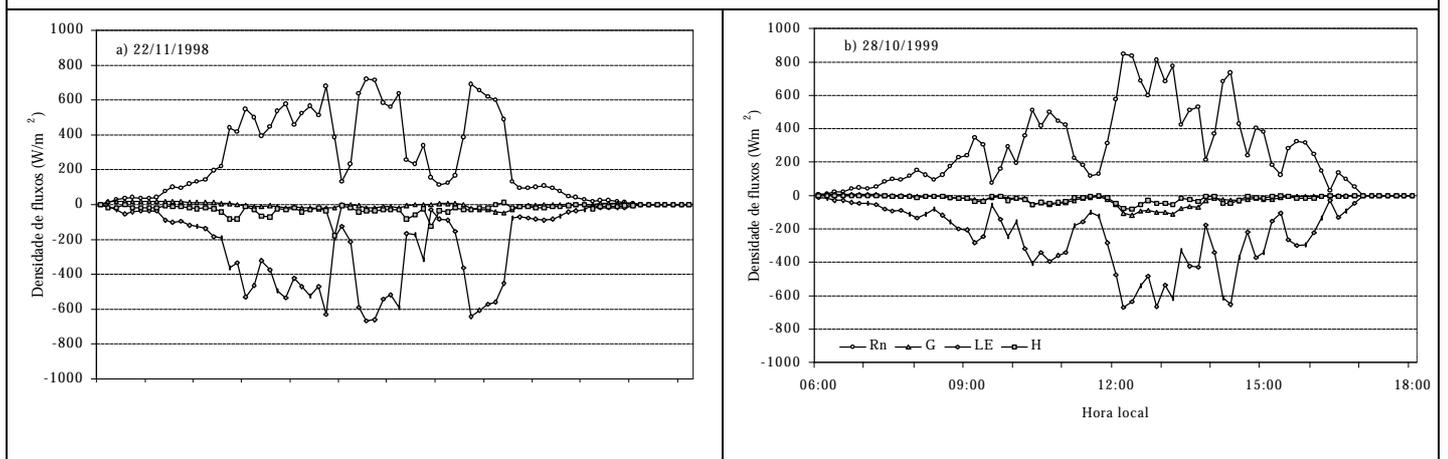


Figura 3.6 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 22/11/1998 e b) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 28/10/1999

Quadro 3.1 - Valores médios dos componentes do balanço de energia e da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) nos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1998

Estádio fenológico	DATA	R_n (W/m ²)	LE (W/m ²)	H (W/m ²)	G (W/m ²)	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)
Floração	16/07-04/08	-	-	-	-	-	-	-
Queda de frutos	05/08-13/09	361,2	-279,9	-63,7	-17,6	77,0	18,2	4,8
Formação de frutos	14/09-02/11	378,9	-282,7	-75,0	-20,2	76,2	18,8	5,1
Maturação	03/11-01/12	291,5	-238,4	-47,9	-05,1	82,1	16,2	1,7

Quadro 3.2 - Valores médios dos componentes do balanço de energia e da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) nos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1999

Estádio fenológico	DATA	R_n (W/m ²)	LE (W/m ²)	H (W/m ²)	G (W/m ²)	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)
Floração	10/06-30/06	323,7	-243,0	-75,4	-14,8	75,3	20,0	4,7
Queda de frutos	01/07-09/08	290,9	-264,8	-17,8	-08,3	91,3	05,8	2,8
Formação de frutos	10/08-30/09	386,6	-297,6	-61,5	-27,5	78,2	15,2	6,7
Maturação	01/10-09/11	360,7	-302,3	-26,6	-31,9	84,1	7,8	8,1

A variação do saldo de radiação, calor latente e sensível do ar e do solo ao longo do ciclo produtivo do mangueiral, é apresentada nas Figuras 4.9 e 4.10, respectivamente, para os experimentos de 1998 e 1999. As densidades de fluxo apresentaram pouca variação ao longo do experimento em 1998 devido, possivelmente, à pouca quantidade de pontos na interpolação da curva (Figura 4.9), principalmente os fluxos de calor sensível do ar e do solo, que se mantiveram praticamente constantes durante todos os estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras. Os fluxos de saldo de radiação e de calor latente apresentaram comportamento semelhante em 1998, com valores aproximadamente constantes até o final de agosto e tendência decrescente até o final do experimento. Em 1999 esses fluxos também apresentaram comportamento simétrico, porém bastante variável dentro do período, com certa ciclicidade e sem nenhuma tendência aparente. Neste ano, os fluxos de calor no solo e sensível foram mais variados e com menores intensidades que em 1998 chegando, inclusive, nos meses de julho a agosto, a se igualarem e, nos meses de novembro e dezembro, o fluxo de calor sensível foi menor que o fluxo de calor no solo.

Em 1998, durante o período do experimento, o saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível do ar e do solo apresentaram valores médios em módulo de 354,1; 272,5; 65,2 e 16,4 W/m², respectivamente, enquanto durante o experimento em 1999, as médias do saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxos de calor sensível do ar e do solo foram, respectivamente, de 340,0; 280,0; 40,5 e 21,0 W/m². Nas mesmas condições de solo e clima, AVILA NETTO (1997) obteve, no período de 28/05 a 20/07/1997, com base em quatro balanços diários de energia, os valores médios de R_n , LE, H e G, respectivamente, de 203,71, 158,6, 26,9 e 18,19 W/m². Essas taxas foram bastante inferiores àquelas registradas em 1998 e 1999 sobre o pomar de mangueiras, exceto a de fluxo de calor no solo. Por outro lado, observa-se que, em média os fluxos de saldo de radiação e de calor sensível foram menores em 1999 que em 1998, sendo que este último se manteve negativo durante o período de realização do experimento, nos anos de 1998 e 1999 (Figuras 4.9 e 4.10). Em geral, a radiação solar fornece energia para o sistema solo-planta-atmosfera, através do aquecimento do solo e do ar, porém em áreas irrigadas, principalmente por aspersão, a maior concentração de vapor d'água na atmosfera resulta num menor aquecimento do ar, pela transferência de calor sensível.

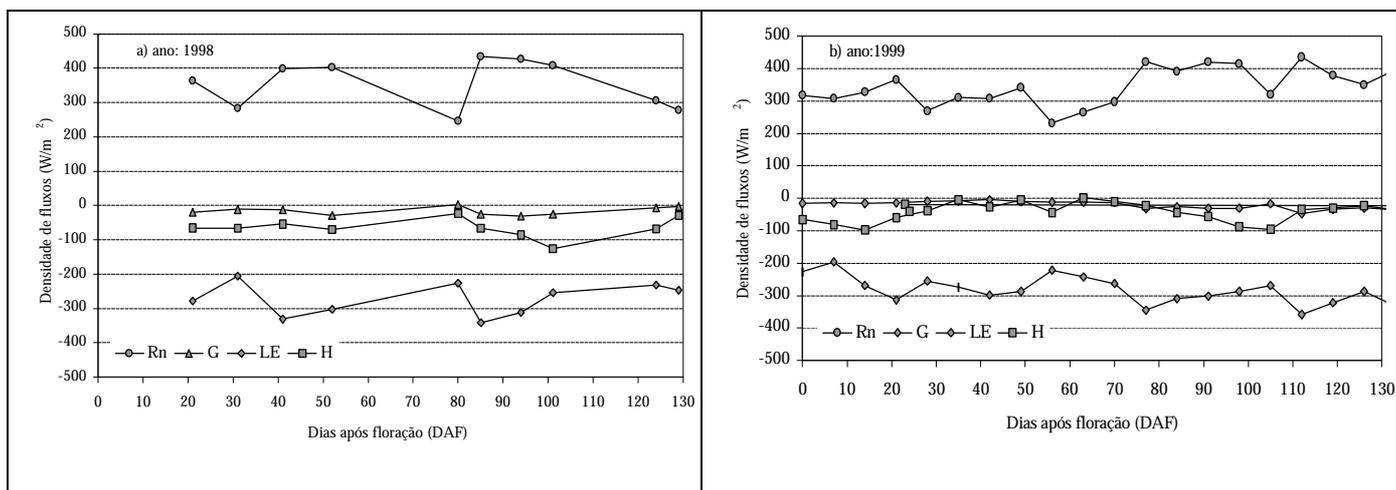


Figura 3.9 - Comportamento do saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em: a) 1998 e b) 1999

CONCLUSÕES

1. o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, devido às simplificações normalmente aplicadas, não responde às alterações fenológicas do ciclo produtivo da mangueira;
2. o percentual do saldo de radiação utilizado como fluxo de calor latente sobre o pomar de mangueiras, é maior nos estádios fenológicos de queda e formação de frutos e menor nos estádios de floração e maturação de frutos;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method?. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.
- AVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira européia**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1997. 85p. (Dissertação de mestrado).
- BLAD, B.L.; ROSENBERG, N.J. Lysimetric calibration of the Bowen ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation on the Cental Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 13, n. 1, p. 227-236, 1974.
- BRAKKE, T.W.; VERMA, S.B.; ROSENBERG, N.J. Local and regional components of sensible heat advection. **Journal of Applied Meteorology**, Americam Meteorological Society, Boston, v. 17, n. 1, p. 955-963, 1978.
- BURBA, G.G.; VERMA, S.B.; KIM, J. Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p.31-51, 1999.
- CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 66, n.1, p. 81-92, 1993.
- CUNHA, G.R; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; *et al.* Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.
- CULF, AD.; ALLEN, J.H.C. GASH, C.R. *et al.*; Energy and water budgets of an area of patterned woodland in the Sahel. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.66, p. 65-80, 1993.
- FUCHS, M.; TANNER, C.B. Error analysis of Bowen ratio measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorological**, Amsterdam, v.7, n. 1, p. 329-334, 1970.
- GARRAT, J.R. The measurement of evaporation by meteorological methods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 99-117, 1984.

- GAY, L.W. Bowen-ratio measurements at sites C and L. **Evapotranspiration measurements of native vegetation**, Owens Valley, Califórnia, p.5-18, 1986.
- HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 261-273, 1989.
- _____; MCLNNES, K.J.; SAVAGE, M.J.; *et al.* Soil and canopy energy in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n.1, p.99-114, 1994.
- LANG, A.R.G. Measurement of evapotranspiration in the presence of advection, by means of a modified energy balance procedure. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 12, n.1, p. 75-81, 1973.
- LOPES, P.M.O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1999. 108p. (Dissertação de mestrado).
- MOKATE, A.S.; VASHNEYA, M.C.; NAIDU, T.R.V.; *et al.* Evapotranspiration and energy balance studies over wheat crop by Bowen ratio energy balance method. **Journal Maharashtra agricultural Universities**, Pune, v. 20, n. 2, p.273-276, 1995.
- OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and Water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n.1, p. 167-185, 1992.
- 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.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L ; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. 2nd Edition, Lincoln - Nebraska: John Wiley & Sons, 1983, 495p.
- TEIXEIRA, A.H.C.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.
- VERMA, S.B.; ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, n.1, p. 330-338, 1978.
- ZHAO, W.G.; BERLINER, P.R.; ZANGVIL, A. CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; YODER, R.E. Heat storage terms in evapotranspiration estimation. In: **Evapotranspiration and irrigation scheduling, Proceedings of the International Conference**, American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, november, 3-6, San Antonio, Texas, p. 34-41, 1996.