

VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES HÍDRICAS DA MANGUEIRA

ORIENTADORES

DR. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO e
DR. BERNARDO BARBOSA DA SILVA

CAMPINA GRANDE – PB

Junho/2000





S586e Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da.
Estimativa das necessidades hídricas da mangueira /
Vicente de Paulo Rodrigues da Silva. - Campina Grande,
2000.
129 f.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade
Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2000.
"Orientação : Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, Prof.
Dr. Bernardo Barbosa da Silva".
Referências.

1. Mangueira - Necessidades Hídricas. 2.
Evapotranspiração. 3. Balanço de Energia. 4. Balanço
Hídrico no Solo. 5. Coeficiente de Cultura. 6. Tese -
Recursos Naturais. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Silva,
Bernardo Barbosa da. III. Universidade Federal da Paraíba -
Campina Grande (PB).

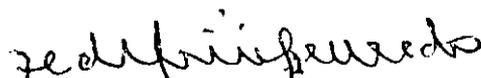
CDU 634.441:631.67(043)

VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA

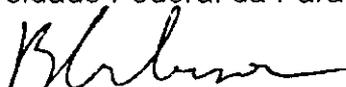
ESTIMATIVA DAS NECESSIDADES HÍDRICAS DA MANGUEIRA.

APROVADA EM: 09/06/2000

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. HOMERO BERGAMASCHI
Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Prof. Dr. JOSÉ MARIA NOGUEIRA DA COSTA
Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Universidade Federal de Viçosa - UFV



Prof. Dr. MARIO DE MIRANDA VILAS BOAS RAMOS LEITÃO
Departamento de Ciências Atmosféricas - DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



Prof. Dr. PEDRO DANTAS FERNANDES
Departamento de Engenharia Agrícola - DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal da Paraíba - UFPB

A meus pais
Vicente Francisco da Silva (*In Memoriam*)
e Alaíde Rodrigues da Silva

DEDICO

À minha esposa Tânia Maria e
filhas Rafaela e Daniela

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradecer não é tarefa fácil. Entretanto, é necessário fazer justiça através do reconhecimento a pessoas e instituições que, efetivamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Apresentamos aqui nossos sinceros agradecimentos à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), ao Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA), à Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM) e ao Banco do Nordeste, pelo apoio recebido; aos Doutores Pedro Vieira de Azevedo e Bernardo Barbosa da Silva pela valiosa orientação em todas as etapas de execução desta Tese de doutorado; ao professor José Espínola Sobrinho (ESAM); aos pesquisadores da Embrapa Semi-Árido, Antônio Heriberto de Castro Teixeira, José Monteiro Soares e, em especial, ao Dr. Luís Henrique Bassoi, pelo apoio e sugestões durante a execução da pesquisa de campo. Finalmente, agradecemos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A implementação da mangueicultura na região do Submédio São Francisco tem sido atribuída às condições edafoclimáticas favoráveis à fruticultura irrigada e à grande aceitação do seu fruto, nos mercados interno e externo. A parte experimental da presente pesquisa foi conduzida no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, nos anos de 1998 (julho a dezembro) e 1999 (junho a novembro), numa parcela com área de 9.880 m² plantada com mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', com seis anos de idade, no espaçamento de 5m entre plantas por 8m entre fileiras e irrigada por gotejamento, objetivando-se determinar o consumo hídrico durante o ciclo produtivo. Em ambos experimentos foi montada, na área experimental, entre duas plantas, uma torre micrometeorológica, contendo sensores de saldo de radiação, radiação solar global, temperaturas de bulbo seco e úmido e velocidade do vento, nos níveis de 20 e 140cm acima da copa das plantas. No solo, sob a copa das plantas, foram instaladas placas de fluxo de calor no solo, na profundidade de 5cm e baterias de tensiômetros posicionadas a cada 20cm da superfície, até 220cm de profundidade. Os sinais analógicos dos radiômetros, psicrômetros, anemômetros e fluxímetros, foram coletados por um sistema de aquisição de dados (*Datalogger 21X*) e utilizados na determinação dos componentes do balanço de energia, enquanto as medições dos tensiômetros foram utilizadas no monitoramento da umidade do solo, com base em três observações diárias. Os métodos do balanço de energia, baseado na razão de Bowen, e do balanço hídrico no solo, foram utilizados na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras e o método de Penman-Monteith/FAO, na determinação da evapotranspiração de referência. A análise de erros indicou o balanço hídrico no solo, elaborado para períodos de uma semana, mais apropriado que o balanço de energia na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras. Nas condições climáticas da região do Submédio São Francisco, o consumo hídrico do pomar de mangueiras, obtido pelo coeficiente de cultura (K_c), não se mantém constante durante todo o ciclo produtivo, mas varia em função do número de dias após a floração (DAF), de acordo com a seguinte equação: $K_c = 0,36 + 0,009 (DAF) - 4 \times 10^{-5} (DAF)^2$ e $r^2 = 0,79$. Os resultados indicaram, ainda, que, em condições de baixa nebulosidade, o fluxo de calor latente (LE) pode ser estimado com alta precisão, em função do saldo de radiação (R_n): $LE = -18,772 - 0,766 R_n$, e $r^2 = 0,99$. O método do balanço hídrico no solo somente é eficiente na determinação da evapotranspiração de pomar de mangueiras quando se considera o termo referente à drenagem profunda/ascensão capilar e não deve ser aplicado para períodos inferiores a uma semana, para as mesmas condições de solo e clima deste experimento.

Palavras-chave: evapotranspiração, balanço de energia, balanço hídrico no solo, coeficiente de cultura.

ABSTRACT

In the last years, the mango orchard cropping activities has increased in the submedium São Francisco region as a consequence of the favorable soil and climate conditions to fruit crops irrigation and the great acceptance of the mango fruits in the internal and external markets. The field experiments of this study were carried out in the irrigated areas of the EMBRAPA Experimental Station of Bebedouro, Petrolina, PE, during the 1998 and 1999 productive cycle of a 9,880m² six years old mango orchard, 'Tommy Atkins' variety, in a spacement of 8m between trees rows by 5m between trees and drip irrigated. During both experiments, a micrometeorological tower was mounted between two mango trees with sensors of net radiation, global radiation, dry and wet bulbs temperature and windspeed installed at 1.40m apart two levels above canopy. Soil heat flux plates were installed in the .05m soil depth under trees canopy while tensiometers sets were positioned at each .20m from the surface down to 2.20m soil depth. The analogical signs were collected by a Datalogger (model 21X of the Campbell Scientific) and the 10 minutes averages stored data of net radiation, dry and wet bulbs temperature gradient, windspeed gradient and soil heat flux were used for determining the energy balance components while the soil water content was monitored by the tensiometers data. The Bowen ratio–energy balance and soil water balance methods were applied to estimate the mango orchard evapotranspiration while the Penman-Monteith/FAO model was used in the determination of the reference evapotranspiration. The error analysis showed that the soil water balance, based upon week periods, is more appropriate than the above canopy energy balance for estimating mango orchard evapotranspiração. For the climatic conditions of the experimental area, the mango orchard crop coefficient (K_c) showed to be variable throughout the productive cycle as a function of the number of days after flowering (DAF) according to the equation: $K_c = 0.36 + 0.009 (DAF) - 4.0 \times 10^{-5} (DAF)^2$ and $r^2 = 0.78$. The energy balance results also indicated that for low cloudiness conditions, the latent heat flux (LE) can be obtained with reasonable precision as a function of the net radiation R_n : $LE = -18.772 - 0.766 R_n$, and $r^2 = 0.99$. The soil water balance method is only efficient for estimating mango orchard evapotranspiration when the term regarding to deep drainage is considered and should not be applied for periods of time longer than a week in the soil and climate conditions of the submedium São Francisco region.

Key words: Evapotranspiration, energy balance, soil water balance, crop coefficient.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE QUADROS
LISTA DE ANEXOS
RESUMO
ABSTRACT

	Pág.
1 – INTRODUÇÃO	18
2 - REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 - Considerações sobre a irrigação em frutíferas	21
2.2 Necessidades hídricas de culturas	23
2.3 - Evapotranspiração potencial de culturas	26
2.3.1 - Evapotranspiração real	26
2.3.2 - Evapotranspiração de referência	27
2.4 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen	29
2.5 - Balanço hídrico no solo	33
2.6 - Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração de culturas	35
3 - MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1 - Localização da área experimental	39
3.2 - Cultivo estudado	40
3.3 - Manejo de água, adubação e defensivos	40
3.4 - Delineamento da parcela experimental	41
3.5 - Medições e instrumentação utilizada	43
3.6 - Medições adicionais	43
3.7 - Sistemática de coleta de dados	45
3.8 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen	46
3.8.1 - Razão de Bowen	46
3.9 - Balanço hídrico no solo	48

3.9.1 - Drenagem profunda	49
3.9.2 - Variação no conteúdo de água do solo	50
3.9.3 - Área molhada	51
3.10 - Evapotranspiração de referência	51
3.11 - Coeficiente de cultura	52
3.12 - Erros na determinação da evapotranspiração	52
3.12.1 - Balanço de energia	52
3.12.2 - Balanço hídrico no solo	53
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 - Aspectos gerais do experimento	54
4.2 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen	57
4.2.1 - Análise dos componentes do balanço de energia	57
4.2.2 - Balanço de energia sob condições específicas de nebulosidade	66
4.2.3 - Análise do comportamento da razão de Bowen	68
4.2.4 - Partição dos componentes do balanço de energia	71
4.3 - Evapotranspiração do pomar de mangueiras	75
4.3.1 - Método do balanço de energia	75
4.3.2 - Método do balanço hídrico no solo	78
4.3.3 - Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração	82
4.3.4 - Análise de erros	85
4.3.4.1 - Método do balanço hídrico no solo	85
4.3.4.2 - Método do balanço de energia	86
4.4 - Curva característica do coeficiente de cultura para o pomar de mangueiras	87
4.5 - Análise de rendimento do pomar de mangueiras	90
5 - CONCLUSÕES	93
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

Figura 4.4 - 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 04/10/1998 e b) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 29/08/1999, em Petrolina, Pe	Pág. 62
Figura 4.5 - 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, em Petrolina, Pe	63
Figura 4.6 - 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 17/11/1998 e b) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 12/10/1999, em Petrolina, Pe	64
Figura 4.7 - 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, em Petrolina, Pe	65
Figura 4.8 - Comportamento diurno médio dos fluxos de saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H), em condições atmosféricas de a) baixa demanda, b) média demanda e c) alta demanda energética sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999	67
Figura 4.9 - Comportamento diurno da razão de Bowen em condições atmosféricas de: a) baixa demanda, b) moderada demanda e c) alta demanda evaporativa sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999	69
Figura 4.10 - Comportamento diurno da razão de Bowen em condições atmosféricas de baixa demanda evaporativa (BDE), moderada	

	Pág.
demanda evaporativa (MDE) e alta demanda evaporativa (ADE), nos dias: a) 16/06/1999, b) 07/08/1999, c) 19/06/1999 d) 26/09/1999, e) 18/09/1999 e f) 21/06/1999, sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE	70
Figura 4.11 - Comportamento das médias diárias 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 1998	76
Figura 4.12 - Comportamento das médias diárias 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 1999	76
Figura 4.13 - Comportamento da evapotranspiração durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999, obtido pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen	77
Figura 4.14 - Relacionamento entre os métodos do balanço de energia e balanço hídrico no solo, utilizados na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999	84
Figura 4.15 - Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço hídrico no solo, em 1999	89
Figura 4.16 - Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço de energia, em 1999	89

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 4.1 - Médias mensais da temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), evaporação do tanque "classe A" (E_v), insolação (n), velocidade do vento (V) e precipitação pluvial (Pr) de Bebedouro, Petrolina, PE, durante os experimentos com mangueira, em 1998 e 1999	55
Tabela 4.2 - Dados de textura e umidade do solo a base de massa em capacidade de campo ($1/3atm$) e ponto de murcha permanente ($15atm$) de Bebedouro, em Petrolina, PE	56
Tabela 4.3 - Equações de estimativa do fluxo de calor latente para três faixas de demanda evaporativa e respectivas relações entre as densidades de fluxo sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999	68
Tabela 4.4 - Partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante experimento num pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1998	71
Tabela 4.5 - Partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante experimento num pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999	72
Tabela 4.6 - Parâmetros da equação de van Genuchten e propriedades físicas do solo do perímetro irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE	79
Tabela 4.7 - Variação do armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A), evapotranspiração do pomar de mangueiras pelos métodos do balanço de energia - ET_c (BE) e pelo balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1998	80

Tabela 4.8 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras pelos métodos do balanço de energia - ET_c (BE) e pelo balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1999	Pág. 81
Tabela 4.9 - Evapotranspiração média durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, pelos métodos do balanço de energia (BE) e balanço hídrico no solo (BH) em 1998 e 1999	83
Tabela 4.10 - Rendimento do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', por tipo de fruto, em Bebedouro, Petrolina, PE, em 1998 e 1999	90

LISTA DE QUADROS

- | | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Quadro 4.1 - Valores médios instantâneos diários dos componentes do balanço de energia e da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) nos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1998, em Petrolia, Pe | 73 |
| Quadro 4.2 - Valores médios instantâneos diários dos componentes do balanço de energia e da partição do saldo de radiação (R_n) em calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) nos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1999, em Petrolina, Pe | 73 |
| Quadro 4.3 - Erro percentual $\varepsilon(\%)$, por período de realização do balanço hídrico no solo, conteúdo de umidade no solo nos instantes inicial (ST_0) e final (ST_f), precipitação pluvial e/ou irrigação (ΣR_j), drenagem/ascensão (ΣQ_j) e evapotranspiração (ΣET_c), acumulada no período de 13/07 a 11/11/1999 | 85 |
| Quadro 4.4 - Erros absolutos da razão de Bowen ($\varepsilon\beta$) e do fluxo de calor latente (εLE), obtidos em função dos gradientes de temperatura de bulbo seco (ΔT_s) e bulbo úmido (ΔT_u) na elaboração do balanço de energia sobre o pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999 | 87 |
| Quadro 4.5 - Volume de água aplicado por planta ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em 1998 e 1999, com base no coeficiente de cultura (K_c) e na função característica do K_c (modelo) | 91 |

LISTA DE ANEXOS

- | | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Anexo 1 - Variação diária da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) e evapotranspiração (ET_c), pelo método do balanço de energia, evapotranspiração de referência (ET_0), pelo método de Penman-Monteith/FAO e coeficiente de cultura (K_c), em função do número de Dias Após a Floração (DAF) ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999 | 110 |
| Anexo 2 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 1 dia, em Petrolina, PE, em 1999 | 116 |
| Anexo 3 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 2 dias, em Petrolina, PE, em 1999 | 119 |
| Anexo 4 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 3 dias, em Petrolina, PE, em 1999 | 121 |
| Anexo 5 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 5 dias, em Petrolina, PE, em 1999 | 123 |

1 - INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica L.*) é originária do Sul da Ásia, mais precisamente da Índia, onde tem sido cultivada há mais de 4.000 anos; posteriormente, foi difundida em outras partes do mundo, inclusive nas Américas, por ser a manga um dos frutos mais ricos em vitaminas A e C (CUNHA *et al.*, 1994).

Os dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*) de 1993 classificam o Brasil como o quinto maior produtor mundial de manga, mesmo respondendo por apenas 2,73% da produção total de 15.022.000 toneladas, vindo depois da Índia (63,24%), México (5,26%), Paquistão (4,23%) e China (2,96%). A mangueira é encontrada, praticamente, em todo o Brasil, sendo o Nordeste, onde as condições edafoclimáticas são mais favoráveis, a principal região produtora de manga do país, com 53% da produção nacional. A área cultivada nessa região é cerca de 34.000 ha, enquanto a região Sudeste, que é considerada a segunda maior produtora de manga do país, possui uma área plantada de 13.000 hectares. De acordo com a FRUIT WORLD (1999) a área plantada com mangueiras em 1997 na região do Submédio São Francisco foi 8.200ha e em plena atividade produtiva foi 6.600ha. Nesse ano a produção anual foi 63.000t, sendo deste total exportado 23.000t.

O fruto da manga tem despertado interesse comercial em vários países do mundo, devido à sua grande aceitação nos mercados europeu e americano; no entanto, somente há pouco tempo alguns órgãos de pesquisa do país iniciaram o desenvolvimento

de programas de melhoramento da mangueira, visando à maximização da produção. Devido à importância econômica que alcançou nos últimos anos, a manga passou a ser vista como alternativa econômica, com boas perspectivas para o Brasil e, em especial, para o Nordeste, cujo cultivo em escala empresarial vem sendo, nos últimos dez anos, implantado em toda a região do Submédio São Francisco (CUNHA *et al.*, 1994). O clima semi-árido dessa região apresenta aspectos muito favoráveis ao plantio de diversas culturas, principalmente devido à disponibilidade energética, embora ofereça restrições quanto à disponibilidade hídrica de origem pluvial, em virtude da variabilidade espacial e temporal do regime de chuvas. Isso favorece a prática de irrigação, para garantir e otimizar a produção agrícola, com base no conhecimento das necessidades hídricas de culturas e no dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação.

Na elaboração e operacionalização de um projeto de irrigação, um dos fatores de maior importância é a quantificação precisa do volume de água necessário ao desenvolvimento adequado das culturas. Procura-se identificar o momento preciso de irrigar, o sistema de irrigação a ser empregado e a lâmina de água a ser aplicada, de forma a atender, satisfatoriamente, às necessidades hídricas das plantas e proporcionar maior viabilidade econômica da exploração agrícola. Como a agricultura irrigada se apresenta atualmente como uma grande alternativa para o Nordeste do Brasil, é necessário que os recursos hídricos disponíveis na região sejam usados de forma racional, através da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos. O uso eficiente da água na agricultura irrigada torna-se cada vez mais essencial, face à escassez dos recursos hídricos e ao elevado custo dos insumos, o que torna imperativo a utilização de uma metodologia apropriada para o planejamento e administração da irrigação. Por esta razão, fica cada vez mais evidenciada a necessidade da combinação correta dos diversos fatores que possibilitam a determinação do volume de água a ser aplicado ao solo em cada irrigação (MOREIRA, 1993).

O manejo de água adotado para a mangueira em várias propriedades da região do Submédio São Francisco, baseia-se em valores adaptados do coeficiente de cultura para frutas cítricas. Muitos problemas em cultivos irrigados de mangueiras são devidos ao fato dos sistemas de irrigação serem subdimensionados em relação ao período de máxima demanda hídrica (SOARES & COSTA, 1995). Um planejamento de irrigação baseado em valores empíricos do coeficiente de cultura, certamente acarreta superestimativa ou subestimativa das reais necessidades hídricas da cultura que, associado

a outros fatores, reflete nos custos de produção, na qualidade do produto e no rendimento. Além disso, o excesso d'água aplicado às culturas pode provocar salinização do solo e contaminação do lençol freático

Dentre as poucas pesquisas relacionadas às necessidades hídricas de frutíferas destacam-se: bananeira, OLIVEIRA *et al.* (1993); videira, EVANS *et al.* (1993); laranjal, SEPASKHAH & KASHEFIPOUR (1995); pessegueiro, FERREIRA *et al.* (1996); e aceroleira, BEZERRA *et al.* (1997). Entretanto, de acordo com a literatura consultada, apesar do grande valor nutritivo e comercial do seu fruto, produzidos através de plantios irrigados e comercializados nos mercados interno e externo, pouco se tem pesquisado sobre a mangueira, particularmente no que se refere ao seu consumo hídrico. Neste contexto, considerando-se a importância desta frutífera no desenvolvimento econômico da região Nordeste do Brasil, e visando-se estabelecer o uso mais adequado dos recursos hídricos, o presente trabalho propõe uma contribuição ao manejo de irrigação na mangueira com os seguintes objetivos:

Geral

determinar as necessidades hídricas do ciclo produtivo da mangueira, cultivada nas condições de clima e solo da região do Submédio São Francisco.

Específicos

- (i) estudar o comportamento temporal dos componentes dos balanços de energia e hídrico no solo ao longo do ciclo produtivo da mangueira;
- (ii) determinar a evapotranspiração do pomar de mangueiras nos estádios fenológicos de floração, queda, formação e maturação de frutos;
- (iii) analisar o rendimento do pomar de mangueiras em diferentes condições de manejo de irrigação.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Considerações sobre a irrigação em frutíferas

Apesar da importância econômica da manguicultura para o país, somente a partir do início da década de 1990 foram iniciados os trabalhos de pesquisas visando ao melhoramento genético, manejo de água e nutrientes, estudos do comportamento do sistema radicular e à avaliação do comportamento vegetativo e produtivo (SOUZA & PINTO, 1996).

A maioria das plantas frutíferas responde bem à irrigação com a antecipação do florescimento, melhoria da qualidade e do tamanho do fruto, produção e uniformidade do período de colheita (DONADIO, 1993). Segundo SOARES & COSTA (1995), a mangueira pode ser explorada sob sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão, aspersão, sulco e microbacia, porém em solos argilo-arenosos e argilosos são mais indicados os sistemas de irrigação por gotejamento, sulco e microbacia, enquanto que, para solos arenosos e areno-argilosos, os sistemas de irrigação por aspersão e microaspersão são mais apropriados. O sistema de irrigação por gotejamento não permite que todo o volume de solo ocupado pelo sistema radicular das plantas seja umedecido. A percentagem da área molhada, comparada à área de cobertura da planta, depende do

volume de água aplicado, da vazão do emissor, do espaçamento entre emissores e do tipo de solo irrigado, situando-se entre 33,3 e 66,6%, para plantas perenes em condições ideais (KELLER & BLIESNER, 1990).

Os grandes problemas em áreas irrigadas são, entre outros, o manejo de irrigação e a salinidade do solo provocada pelo fluxo de água ascendente, proveniente do lençol freático que, em alguns casos, encontra-se próximo à superfície. Neste particular, du PLESSIS (1985) utilizando tensiômetros e sensores de salinidade na obtenção dos potenciais matricial e osmótico, estudou a evapotranspiração de citros, cv. Valência, em diferentes condições de salinidade e umidade do solo. No período estudado a condutividade elétrica variou de 2,1 dS/m a 3,4 dS/m e o efeito da salinidade do solo sobre o crescimento das plantas resultou num decréscimo da água disponível, através do decréscimo do componente potencial osmótico e potencial total da água no solo, que refletiu na redução da evapotranspiração da cultura.

Segundo REDDY & SINGH (1991) a área foliar ótima para o desenvolvimento do fruto da mangueira depende da variedade, se reflete na fotossíntese, pelo número de folhas disponíveis nos estádios fenológicos de brotação à frutificação. Esta frutífera é uma das mais cultivadas em regiões semi-áridas, podendo sua árvore, no tamanho adulto (10-15 anos) atingir 15m de altura (GARCIA & VALDIVIA, 1997). Com relação a distribuição radicular da mangueira, SOARES & COSTA (1995) observou que 68% das raízes são de absorção e 86% das raízes de sustentação estão localizados na faixa horizontal de 90 a 260cm em relação ao caule da planta e na profundidade do solo de 0-120cm. Na distribuição vertical, 65% das raízes de absorção e 56% de sustentação encontram-se na profundidade do solo de 0-60cm.

De acordo com HAJI *et al.* (1995) a alteração do agroecossistema provocada pela expansão da área cultivada com mangueira na região do Submédio São Francisco, ocasionou condições favoráveis ao surgimento de problemas fitossanitários, sendo os mais graves aqueles relacionados às pragas da mosca-dos-frutos, broca da madeira, lagarta, vaquinhas, coleobroca, ácaros, cochonilhas, tripes, formigas cortadeiras e irapuã. Por outro lado, PINTO (1995) observou que a poda e a indução floral podem ser usadas para reduzir o porte da mangueira e acelerar o processo de florescimento. A indução floral é de difícil manejo e alto custo financeiro, porém oferece excelente retorno econômico, visto que viabiliza a introdução do fruto no mercado consumidor na época desejada.

3.2.2 - Necessidades hídricas de culturas

O uso do coeficiente de cultura na agricultura irrigada tem sido estudado por vários pesquisadores objetivando a determinação da demanda hídrica para diferentes culturas (DOORENBOS & KASSAN, 1979; AZEVEDO *et al.*, 1993; BEZERRA, 1997). Os resultados, entretanto, têm tido pouca extensão em suas aplicações, visto que esse coeficiente varia de cultura para cultura, com o sistema de cultivo e ao longo do ciclo produtivo. Nesta linha de pesquisa, DOORENBOS & PRUITT (1977) apresentaram valores de coeficientes de cultura amplamente utilizados para várias culturas, quando não for possível a sua determinação experimental, mas enfatizaram a grande necessidade de calibração desses valores em outras condições climáticas. Esses valores, por sua vez, podem diferir daqueles observados em condições climáticas e edáficas diferentes, assim como em função dos métodos utilizados para determinar a evapotranspiração da cultura e de referência.

Segundo AZEVEDO *et al.* (1993) o coeficiente de cultura pode atingir valores superiores à unidade, particularmente durante o estágio fenológico de maior consumo hídrico, o que torna o termo “potencial” de significado questionável. A evapotranspiração da cultura pode ser medida diretamente através de lisímetros ou evapotranspirômetros e determinada pelos métodos do balanço hídrico do solo ou modelos micrometeorológicos. A evapotranspiração de referência é usualmente estimada através de equações, na maioria das vezes empíricas, com base em dados obtidos em Estação Meteorológica. Por outro lado, MOKATE *et al.* (1995) observaram que a relação entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação é mais eficiente como indicador de demanda hídrica que o coeficiente de cultura (relação entre as evapotranspirações da cultura e de referência) e o fator da cultura (relação entre a evapotranspiração da cultura e evaporação do tanque “classe A”). Também em estudos relacionados com consumo hídrico de culturas, PEREIRA *et al.* (1996) mostraram que o coeficiente de cultura pode ser obtido pelo produto de dois coeficientes ($K_c = a_0 a_c$), sendo que a_0 expressa a influência do clima na resistência aerodinâmica da cultura analisada e de referência, e a_c é função das resistências estomática e aerodinâmica da cultura estudada e de referência, respectivamente. Com base nos resultados obtidos nesse estudo, os autores concluíram, ainda, que a tendência futura é definir evapotranspiração de referência para cada cultura ou para grupos similares de culturas. Em estudos mais recentes, ALLEN *et al.* (1996), utilizando equações que

consideraram a velocidade do vento e umidade relativa, modificaram o procedimento de cálculo do coeficiente de cultura proposto por DOORENBOS & PRUITT (1977) com a inclusão do coeficiente de cultura basal. Verificaram, também, que para determinado clima esse novo procedimento é mais eficiente na determinação do consumo hídrico. Posteriormente, PEREIRA & ALLEN (1997) utilizando processos numéricos, apresentaram nova metodologia para o ajustamento dos coeficientes de cultura nos períodos inicial, intermediário e final do ciclo vegetativo de culturas, divergindo daquela adotada por DOORENBOS & PRUITT (1977) que consistia em tabelas de múltiplas entradas e conseqüente interpolação, conforme condições de umidade e vento. Observaram, também, que a adaptação de correções dos efeitos do clima, considerando alguma especificidade das culturas, permitiu uma transposição fácil e segura dos coeficientes de cultura de um local para outro, com rigor suficiente. Além disso, o coeficiente de cultura, que representa a relação entre a demanda evapotranspiratória da cultura e do ambiente, não é apenas um coeficiente de caráter empírico, mas tem significado físico preciso. Eles argumentaram, ainda, que a irrigação em quantidade insuficiente ou excessiva provoca perda de água e nutrientes, além de problemas de salinização no solo de regiões áridas e semi-áridas.

Estudando as necessidades hídricas de frutíferas STRABBIOLI (1985), baseado na evaporação do tanque “classe A” e em quatro valores de coeficiente de cultura (0,33; 0,66; 1,00 e 1,33), aplicou uma vazão de 4,0 l/h na irrigação do morangueiro, sempre após ter observado 10mm de evaporação. A lâmina d’água aplicada provocou aumento na produção de frutos, de 345 para 554 g/planta, e do peso do fruto de 7,6 para valores entre 8,5 e 10,4g. Os maiores valores de produção e peso do fruto foram obtidos utilizando-se o coeficiente de cultura igual à unidade, muito embora não tenha ocorrido diferença significativa entre tratamentos.

OLIVEIRA *et al.* (1993), utilizando o sistema de irrigação por gotejamento com um turno de rega de dois dias, aplicaram cinco tratamentos de irrigação na bananeira, com coeficientes de cultura de 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 e testemunha sem irrigação. A lâmina de água aplicada foi obtida multiplicando-se a evaporação do tanque “classe A” pelo coeficiente de cultura. Os resultados indicaram a maior produtividade da bananeira com coeficiente de cultura de 0,60.

EVANS *et al.* (1993) determinaram o coeficiente de cultura para a videira adulta utilizando lisímetros na determinação da evapotranspiração da cultura e o tanque

“classe A” na obtenção da evapotranspiração de referência. Os resultados evidenciaram que os valores de coeficientes de cultura publicados para o planejamento de irrigação da videira sobreestimaram aqueles obtidos experimentalmente. Atribuíram essa diferença aos seguintes aspectos: (i) variação no tamanho do dossel da planta e o sistema de irrigação adotado; (ii) diferença entre variedades; (iii) variação sazonal do número de horas de sol por dia e (iv) variação das práticas culturais e características do solo.

CASTEL (1994) aplicou diferentes tratamentos de irrigação numa parcela de laranjal, irrigada por gotejamento com base na evapotranspiração obtida por lisímetro. A lâmina total de água aplicada foi de 290 e 397mm com coeficientes de cultura de 0,21 e 0,31 em 1990 e 1991, respectivamente. Observou que a irrigação com 50% da evapotranspiração foi insuficiente nos dois anos analisados, produzindo estresse hídrico e reduzindo o crescimento das árvores e o número de frutos.

SEPASKHAH & KASHEFIPOUR (1995) ao determinar o coeficiente de cultura da laranja doce cultivada em clima árido, utilizando diferentes tratamentos de irrigação por gotejamento, obtiveram um coeficiente de cultura da ordem de 1,17, bastante superior ao valor de 0,75 sugerido para frutas cítricas, por DOORENBOS & KASSAM (1979). Eles atribuíram esta diferença aos efeitos de advecção local que ocorre em regiões áridas. Esse sistema de irrigação também foi utilizado por CLARK *et al.* (1996) na determinação do coeficiente de cultura mensal do morangueiro, na Universidade da Flórida, Dover, EUA, onde foram considerados os métodos de Penman modificado, tanque “classe A”, Radiação e Blaney-Criddle na determinação da evapotranspiração de referência e lisímetro para determinar a evapotranspiração da cultura. Obtiveram uma correlação entre o coeficiente de cultura e a evapotranspiração variando de 0,94 a 0,97.

FERREIRA *et al.* (1996) determinaram o coeficiente de cultura do pessegueiro na localidade de Águas de Moura (Portugal) utilizando tratamentos irrigado e não irrigado, em três parcelas de tamanho variado (2,88ha, 0,5ha e 0,02ha). A evapotranspiração da cultura, determinada pelo método das correlações turbulentas, foi comparada à soma da transpiração com a evaporação do solo, obtidas pelo método do balanço de calor no caule e medições lisimétricas. Eles verificaram que os fluxos de calor latente, calor sensível do ar e do solo, representaram 33%, 39% e 28%, respectivamente, do saldo de radiação, e que o coeficiente de cultura decresceu lentamente de 0,6 para 0,4, durante os meses de junho e julho. A baixa percentagem da partição do saldo de radiação sugere que a cultura tenha passado por um período de estresse hídrico.

MICHELAKIS *et al.* (1996) aplicaram três tratamentos de irrigação na oliveira e compararam com o tratamento não irrigado. Nesse estudo, verificaram que o coeficiente de cultura aumentou de 0,4 para 0,65 no tratamento com potencial de água no solo variando de -0,02 a -0,06 MP_a, mantendo-se, no entanto, entre 0,3 e 0,4 no mesmo tratamento, para o potencial variando de -1,0 a -1,5 MP_a, e decrescendo de 0,2 para 0,05 no tratamento não irrigado. Os coeficientes obtidos não apresentaram diferença significativa para o mesmo potencial da água no solo, com o sistema de irrigação aplicado (gotejamento ou microbacia).

BEZERRA *et al.* (1997) determinaram o coeficiente de cultura da aceroleira, no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, utilizando o método do balanço hídrico no solo, para determinar a evapotranspiração da cultura, e o de Penman-Monteith para obter a evapotranspiração de referência. Observaram que para as condições climáticas do local, os valores de coeficiente de cultura recomendados por DOORENBOS & KASSAM (1979) não devem ser adotados, visto que os mesmos subestimam a evapotranspiração da cultura.

2.3 - Evapotranspiração potencial de culturas

2.3.1 - Evapotranspiração real

As evapotranspirações de referência e da cultura podem ser consideradas como evapotranspiração potencial e são comumente estimadas por modelos micrometeorológicos (DOORENBOS & KASSAM, 1979). A precisão desses métodos depende do nível de erro associado às medições das variáveis envolvidas e à sensibilidade dos instrumentos. Os métodos dos balanços de energia sobre a cultura e hídrico no solo têm sido utilizados por diversos pesquisadores (BRAKKE *et al.*, 1978; LHOMME *et al.*, 1994a e MASTRORILLI *et al.*, 1998) objetivando a determinação da evapotranspiração de culturas, principalmente devido à relativa simplicidade e precisão. Por outro lado, o modelo unidimensional de Penman-Monteith, que se baseia numa superfície homogênea vegetada, oferece informações imprecisas sobre a evapotranspiração quando a cobertura foliar não cobre totalmente o solo, circunstâncias em que a suposição de Penman-Monteith de uma única fonte/sumidouro de energia não se verifica. Com base nessas considerações, SHUTTLEWORTH & WALLACE (1985) adaptaram esse modelo para superfícies com

cobertura parcial, o qual tem sido utilizado em vários estudos (SHUTTLEWORTH & GURNEY, 1990; FARAHNI & AHUJA, 1996; SERIO, 1998).

Um problema crucial na medida da evapotranspiração surge quando se deseja trabalhar com culturas de sistema radicular bem desenvolvido, como é o caso da mangueira adulta, que dificulta uso de lisímetros ou evapotranspirômetros, sendo necessária a utilização de modelos micrometeorológicos. Entretanto, segundo STANNARD *et al.* (1994) em regiões semi-áridas é difícil obter-se determinações precisas de fluxos de energia à superfície, com base nesses métodos, face à topografia erosiva dessa região, ao comportamento do vento e diferença de microclimas e ecossistemas.

RANA *et al.* (1997), baseados na equação de Penman-Monteith, utilizando um novo conceito de resistência de dossel vegetativo, apresentaram um modelo de determinação de evapotranspiração que sobreestima os valores obtidos com base na razão de Bowen. Ainda em estudos micrometeorológicos, HÖLSCHER *et al.* (1997) aplicaram o balanço de energia em vegetação secundária jovem na Amazônia e obtiveram uma evapotranspiração média de 3,9 mm/dia. Os dados faltosos de calor latente foram obtidos com base na determinação da fração evaporativa (LE/R_n), cujo valor de 0,70 foi determinada com base no saldo de radiação e no fluxo de calor latente dos quatro meses anteriores à data do início de problemas técnicos com os equipamentos de medição dos gradientes de temperatura e umidade.

2.3.2 - Evapotranspiração de referência

Por mais de uma década foi adotado pela FAO o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência proposta por DOORENBOS & PRUITT (1977). ALLEN *et al.* (1989), comparando a evapotranspiração de referência obtida pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que melhor se ajustou às medições diárias e mensais. Concluíram que a alfafa se ajusta melhor que a grama como cultura padrão na determinação da evapotranspiração de referência, visto que sua altura e rugosidade se aproximam da maioria das culturas agrícolas. A calibração da equação de Penman provocou vários problemas na definição da cultura de referência. Alguns pesquisadores argumentaram que as variedades de grama e suas características

morfológicas não são padronizadas para diferentes condições climáticas e a alfafa apresenta problemas de variedade e manejo (ALLEN *et al.*, 1994a).

Reconhecendo a necessidade de padronizar um único método para representar e definir a evapotranspiração de referência, em 1990 a FAO e a ICID (*International Commission on Irrigation and Drainage*) reuniram uma comissão de especialistas para redefinir o conceito e apresentar uma nova metodologia de cálculo da evapotranspiração de referência. Como resultado das discussões, foram introduzidos, na formulação anterior, os valores de 70 sm^{-1} , 23% e 12 cm para resistência estomática, albedo e altura da grama, respectivamente, e determinaram a grama como cultura de referência e o método de Penman-Monteith como o mais adequado para determinar ET_0 . Segundo ALLEN *et al.* (1994b) essa cultura foi escolhida porque suas características são melhor definidas, facilmente adaptadas e disponível para validação de novos modelos. Por outro lado, SMITH *et al.* (1996) revisando a metodologia de determinação das necessidades hídricas de culturas, proposta pela FAO, reconheceram a equação de Penman-Monteith como método padrão na determinação da evapotranspiração de culturas e de referência. Além disso, que a mudança na definição de evapotranspiração de referência, proposta por ALLEN *et al.* (1994a) para uma cultura hipotética com parâmetros fixos, facilita a calibração do coeficiente de cultura na utilização do manejo de água.

CHIEW *et al.* (1995) determinaram a evapotranspiração de referência para 16 estações climatológicas da Austrália, utilizando os métodos de DOORENBOS & PRUITT (1977) e de Penman-Monteith. Eles observaram que o método de DOORENBOS & PRUITT (1977) sobrestima, em 20-40%, a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith. Por outro lado, ORTEGA-FARIAS *et al.* (1995) verificaram que a evapotranspiração de referência obtida com base no balanço de energia subestima os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith. MICHALOPOULOU & PAPAIOANNOU (1998) determinaram ET_0 para 31 localidades da Grécia com base nos métodos de Penman, Priestley-Taylor e Thornthwaite e verificaram que, para determinações mensais, os modelos de Priestley-Taylor e Thornthwaite sempre subestimam os valores previstos pelo método de Penman-Monteith. Também nesta linha de pesquisa, JENSEN *et al.* (1997) calcularam a evapotranspiração de referência em diferentes condições climáticas, com base em vários métodos de determinação, objetivando verificar se o método proposto pela FAO pode ser simplificado sem perder a precisão. Nesse estudo, observaram pequenas diferenças quando utilizaram a temperatura de ponto de orvalho ao

invés da temperatura mínima média e que esse procedimento elimina a necessidade de medição da umidade relativa.

2.4 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen

O balanço de energia baseado na razão de Bowen constitui-se num método prático na determinação do fluxo de calor latente, o qual tem sido amplamente utilizado com esse propósito por vários pesquisadores (GARRAT, 1984; HEILMAN & BRITTIN, 1989; CELLIER & OLIOSO, 1993; PRUEGER *et al.*, 1997) mas, segundo STEDUTO & HSIAO (1998), essa técnica deve ser utilizada com cautela, visto que o método não reflete a natureza turbulenta do processo evapotranspiratório. Neste particular, 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. Considerando que a advecção de ar quente contribui para a imprecisão dos métodos de determinação da evapotranspiração da cultura, BRARKE *et al.* (1978) e SINGH & TAILLEFER (1986) propuseram correções para as equações de Priestley-Taylor e de Bowen.

Na determinação do fluxo de calor latente através no balanço de energia, deve-se considerar o seguinte (ANGUS & WATTS, 1984; HEILMAN *et al.*, 1989; NIE *et al.*, 1992;): (i) igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (K_h) e latente (K_w), e (ii) as medidas de temperatura e pressão de vapor devem ser feitas dentro da camada limite, com ausência de gradientes horizontais. 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 de 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. Os autores 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 de energia subestimou o calor latente em 10-40%, cujo erro 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) ao contrário de outros métodos o balanço de energia 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, e que ao invés da relação 1:100 citada 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. Segundo WALLACE *et al.* (1993) no caso de vegetação esparsa a evaporação do solo pode ser tão importante quanto a transpiração da planta.

Continuando essa linha de pesquisa, WALLACE (1995) apresentou uma revisão dos mais recentes modelos capazes de prever a evaporação de solos com vegetação esparsa e homogênea, através da qual demonstrou que a melhor forma de se calcular a evapotranspiração real é utilizando-se as resistências da superfície evaporante.

GUTIÉRREZ & MEINZER (1994b) determinaram a evapotranspiração da cultura do café, irrigada por gotejamento, através do balanço de energia baseado na razão de Bowen e a evapotranspiração de referência pela equação modificada de Penman. Na medição dos fluxos foi utilizada uma torre de 7m de altura, com "fetch" superior a 100 vezes a altura da cultura, sendo os gradientes de temperatura e umidade obtidos com base em medições realizadas a 5,25 e 6,50m acima da superfície do solo. Em 1991, o coeficiente de cultura variou de 0,75 a 0,79, enquanto em 1992 foi 30% menor, devido aos altos valores de ET_0 e à baixa condutância estomática da cultura.

CUNHA *et al.* (1996), analisando os componentes do balanço de energia baseado na razão de Bowen sobre um cultivo de milho, verificaram que o saldo de radiação foi fracionado em 80% em fluxo de calor latente, 14% em fluxo de calor sensível e 6% em fluxo de calor no solo e que este fracionamento se diferenciou em função do índice de área foliar. Segundo ÁVILA NETTO (1997) este método é eficiente na determinação da evapotranspiração da cultura da videira, nas condições climáticas do Submédio São Francisco.

ZHAO *et al.* (1996) determinaram a evapotranspiração da cultura do girassol utilizando os métodos 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.

ROSSET *et al.* (1997) aplicaram os balanços de energia e radiação em pastagem, em manejo permanente para diferentes altitudes, com vistas à análise da variação temporal dos fluxos de energia com a altitude. Verificaram que a evapotranspiração, calculada pelo balanço de energia, foi fortemente correlacionada com a

energia disponível e que a altitude não afetou os balanços de energia nem de radiação. Entretanto, a produção de matéria seca, eficiência do uso da água e evapotranspiração real, declinaram com a altitude. O declínio dessas variáveis foi acompanhado pelo aumento da massa total de raízes. KONZELMANN *et al.* (1997) encontraram uma razoável correlação linear entre o saldo de radiação, o fluxo de calor latente e a radiação global em regiões montanhosas e, ainda, que a evapotranspiração é regulada pelo conteúdo de umidade do solo e pelo comportamento fenológico da vegetação.

Conforme SILANS *et al.* (1997) o fluxo de calor no solo, numa profundidade, só pode ser considerado se igual ao da superfície caso o gradiente de temperatura seja pequeno, tal como sob uma cultura de cobertura densa. Esta aproximação não é válida para culturas esparsas e se torna mais importante em solos com baixa difusividade térmica, que pode provocar erros apreciáveis na determinação do fluxo de calor latente obtido com base no balanço de energia. A correção para o fluxo de calor no solo, devido ao calor armazenado acima dos fluxímetros, é pequena em solos com alta difusividade térmica; porém, os erros são mais significativos em solos com baixa condutividade térmica. Por outro lado, MALEK (1993) observou que radiação solar, saldo de radiação, cobertura de nuvens, direção e velocidade do vento afetam o fluxo de calor no solo. A utilização do balanço de energia na determinação do fluxo de calor à superfície do solo (G_{sup}) e a 8 cm de profundidade do solo (G_8) apresentou sobrestimativa da evapotranspiração da cultura quando foi utilizado G_8 no lugar de G_{sup} mas, para períodos de um dia, a determinação da evapotranspiração utilizando G_8 ou G_{sup} não apresentou erros significativos.

O balanço de energia foi utilizado por BURBA *et al.* (1999) nas determinações dos fluxos de calor latente e sensível de gramíneas (*Pharagmites australis*) no centro-oeste do Estado de Nebraska, EUA. Durante os estádios fenológicos inicial e de pico de crescimento, a evapotranspiração da cultura variou de 2,5 a 6,5 mm/dia; no estágio fenológico de maior desenvolvimento da cultura, o fluxo de calor sensível foi o menor componente do balanço de energia. No entanto, nos estádios fenológicos inicial e de pico, a magnitude média diária foi de 25 W/m^2 , consumindo cerca de 5 a 10% do saldo de radiação. Nesses estádios fenológicos, a evapotranspiração correspondeu a 80 a 90% do saldo de radiação e durante a senescência variou de 30-80%. A magnitude máxima do fluxo de calor latente ocorreu em torno de 1 a 2 horas após o máximo do saldo de radiação. Nos dias sem chuva, o fluxo de calor latente consumiu em média cerca de 80-90% do saldo

de radiação e durante os estádios fenológicos 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.

2.5 - Balanço hídrico no solo

Vários métodos têm sido utilizados na determinação da demanda hídrica de culturas, com suas características próprias quanto aos parâmetros necessários à sua determinação. Conforme REICHARDT (1985) o método do balanço hídrico no solo é satisfatório na determinação da evapotranspiração de culturas, visto que o mesmo contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo.

Baseando-se no conhecimento do comportamento da curva de retenção de água no solo, van GENUCHTEN (1980) propôs um modelo estatístico para descrição matemática da relação funcional entre o teor de água no solo, em base de volume (m^3/m^3), e o potencial matricial (Pa). Devido à sua precisão e relativa facilidade operacional, esse modelo tem sido usado por diversos pesquisadores (van LIER & DOURADO NETO; 1993; LIBARDI, 1995; PREVEDELLO *et al.*, 1995). Comparando diferentes métodos de determinação da condutividade hidráulica do solo, BACCHI *et al.* (1991); BACCHI & REICHARDT (1992); PREVEDELLO *et al.* (1995) e LIBARDI *et al.* (1995) verificaram que os mesmos se mostraram equivalentes quando comparados com o modelo de van Genuchten (1980). Por outro lado, PREVEDELLO *et al.* (1995), estudando a condutividade hidráulica da areia marinha por meio da técnica do perfil instantâneo (método direto) e pelo modelo de van Genuchten (método indireto), verificaram que os dois métodos apresentaram resultados similares, porém o último mostrou maior facilidade de aplicação e menor exigência de material. O método do perfil instantâneo foi também comparado com o método proposto por BACCHI & REICHARDT (1992), que se baseia na determinação da condutividade hidráulica em um conjunto de perfis de solo e no conhecimento dos respectivos potenciais matriciais. Eles concluíram, também, que esse método se apresenta como uma proposta simplificada para avaliação da condutividade hidráulica.

Em estudos relacionados com as interações solo-planta, o conhecimento do movimento de água no perfil do solo, drenagem profunda, movimentos de poluentes e o

ajuste da curva de retenção para determinar a função condutividade hidráulica do solo, são parâmetros essenciais na elaboração do balanço hídrico (VIEIRA & CASTRO, 1987; PAULETTO *et al.*, 1988). Neste contexto, ANDRADE *et al.* (1988) determinaram os componentes do balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, cultivado com milho, e irrigado por aspersão. A evapotranspiração da cultura foi comparada à evapotranspiração de referência, visando-se à determinação do coeficiente de cultura. Eles concluíram que a técnica de separação dos fluxos, utilizando-se perfis de umidade e de potencial total de água no solo, mostrou-se confiável nos períodos de déficit hídrico, falhando nos períodos chuvosos, quando ocorrem aumentos no armazenamento de água no solo.

Segundo PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) medições tensiométricas são úteis na determinação do gradiente de potencial hidráulico, em condições de solo próximo à saturação. Além disso, a magnitude e direção do fluxo de água na zona das raízes são função da condutividade hidráulica insaturada do solo, assim como da magnitude e direção do gradiente do potencial de água na base da zona de raízes das plantas. Posteriormente, WHALLEY *et al.* (1994) estabeleceram um método combinado com tensiômetros e TDR que permitiu determinar a condutividade hidráulica do solo, com base no perfil instantâneo. Por sua vez, PLAUBORG (1995) quando comparou a evapotranspiração diária obtida por sonda de nêutrons e microlisímetros, observou que este último não se aplica para períodos com alta precipitação, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde ocorrem grandes perdas de água diretamente do solo, e menos importante em áreas úmidas devido às freqüentes precipitações. Em estudos mais recentes, LOBATO *et al.* (1998) observaram que dentre as propriedades físicas do solo a condutividade hidráulica merece destaque dada a sua relevância em projetos de irrigação, disposição de resíduos líquidos e conservação do solo.

VILLAGRA *et al.* (1995), analisando os efeitos da variabilidade da água armazenada no solo, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica e densidade de fluxos de água no solo no cálculo da evapotranspiração, através do balanço hídrico no solo, verificaram o seguinte: (i) a variabilidade desses parâmetros confere um coeficiente de variação da ordem de 40% no cálculo da evapotranspiração da cultura, e (ii) os métodos aerodinâmicos e empíricos são mais eficientes nas determinações da evapotranspiração, em áreas de grande variabilidade das características hidráulicas do solo.

CENTURION *et al.* (1997) determinaram a curva de retenção de água no solo pelos métodos da câmara de pressão de Richards, clássico da centrífuga e centrífuga adaptada, em amostras de Latossolos e Podzólicos e constataram que os valores de umidade obtidos pelos diferentes métodos, nas tensões aplicadas, correlacionaram-se de maneira altamente significativa.

MASTRORILLI *et al.* (1998) obtiveram a evapotranspiração de cultivos de sorgo e milho, em escala diária, utilizando os balanços de energia e hídrico no solo. O conteúdo de água no solo foi determinado gravimetricamente e através de TDR (*Time Domain Reflectometry*). Com base nesse estudo concluíram que o método do balanço de energia pode ser usado como referência, pois oferece medições contínuas e precisas da evapotranspiração da cultura.

2.6 - Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração de culturas

A validade do método do balanço de energia tem sido estabelecida através da comparação com outros métodos, como lisimétricos, balanço de água no solo, método das correlações turbulentas, balanço de calor no caule e método aerodinâmico. Neste particular, GARRAT (1984) analisando vários métodos de determinação da evapotranspiração, observou que os modelos que envolvem a energia disponível oferecem erros na ordem de 5% e que o método do balanço de energia oferece boas determinações da evapotranspiração de culturas, para períodos curtos, e o método da correlação turbulenta para períodos longos.

ASHKTORAB *et al.* (1989), utilizando o sistema da razão de Bowen para determinar a evaporação de um solo úmido, compararam medições lisimétricas e as técnicas do balanço de energia com o método das correlações turbulentas. Concluíram que este último subestima em 10% a evapotranspiração medida lisimetricamente e que o mesmo pode ser utilizado com razoável precisão para determinar a evaporação do solo no cálculo da evapotranspiração de culturas esparsas.

KUSTAS *et al.* (1989), utilizando dados de termometria infravermelha, determinaram o fluxo de calor latente em vegetações esparsas numa região completamente árida da Califórnia, EUA, onde 30% era arbustos e 70% solo nu. Os resultados deste estudo mostraram que os valores do fluxo de calor latente, estimado pela equação de

transferência, são insatisfatórios quando comparados com aqueles obtidos pelos métodos das correlações turbulentas e da razão de Bowen.

DUGAS *et al.* (1991), ao compararem os fluxos de calor latente e sensível obtidos por diferentes métodos, observaram que os valores obtidos pela razão de Bowen são similares àqueles obtidos pela câmara portátil e sistema da razão de Bowen. No entanto, o método do balanço de energia superestimou os valores obtidos pela câmara portátil e subestimou a evapotranspiração da cultura pelo método das correlações turbulentas.

PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) avaliaram a técnica do balanço hídrico no solo na determinação da evapotranspiração de florestas e a compararam com o método do balanço de energia. No período estudado de 31 dias, a maior taxa de evapotranspiração pelo método do balanço de energia foi de 3,7 mm/dia e pelo balanço hídrico no solo foi de 4 mm/dia, com valores médios de 1,9 e 2,0 mm/dia, respectivamente. Constataram, ainda, que o período máximo para a determinação da evapotranspiração pelo método do balanço hídrico no solo, com uma confiabilidade de 90%, é de 13 dias e que a probabilidade de erro é menor para períodos com um mínimo de precipitação e altas taxas de evapotranspiração.

MALEK & BINGHAM (1993) compararam a evapotranspiração da alfafa, estimada pelo método do balanço de energia com o método do balanço hídrico no solo, utilizando sonda de nêutrons no monitoramento da umidade do solo. Na análise sazonal dos fluxos, observaram que em alguns dias o fluxo de calor latente superou o saldo de radiação e que o calor adicional utilizado no calor latente foi extraído do ar, na forma de calor sensível. A evapotranspiração diária, com base no balanço de energia, foi calculada no período das 9:00 até às 9:00 h do dia seguinte, para possibilitar a comparação com o balanço de água no solo, no mesmo período, obtendo-se coeficiente de determinação de 0,987.

HEILMAN *et al.* (1994) determinaram o fluxo de calor latente de um parreiral pelos métodos dos balanços de energia e de calor no caule na determinação da transpiração. O balanço de energia foi realizado considerando-se três situações: (i) solo e planta; (ii) dossel da cultura; (iii) apenas o solo. Esses autores constataram que o fluxo de calor sensível, gerado pela superfície do solo, pode exercer uma contribuição importante no balanço de energia e na transpiração da videira e, ainda, que a exposição do solo

representa significativa fonte de radiação e calor sensível, o que pode afetar o balanço de energia.

NIZINSKI *et al.* (1994) utilizaram um modelo para vegetação esparsa, baseados em SHUTTLEWORTH & WALLACE (1985), na determinação da evapotranspiração da acácia egípcia. Observaram que a evapotranspiração dessa cultura foi duas vezes maior que a evapotranspiração do capim (ervas) cultivados em iguais condições climáticas e disponibilidade de água no solo. GUTIÉRREZ & MEINZER (1994a), também, analisando o comportamento da evapotranspiração de culturas esparsas, aplicaram o método do balanço de energia e a técnica de balanço de calor no caule para verificar a partição de fluxo de calor latente do solo e da cultura. Neste estudo, verificaram que, durante o ciclo da cultura, a contribuição da transpiração do dossel vegetativo para evapotranspiração da cultura aumentou de 34% para 95%. Por outro lado, WRIGHT *et al.* (1994) notaram que, quando a cultura cobre completamente o solo e a superfície do solo está úmida, a evaporação direta do solo representa apenas 10% da evapotranspiração total. SAUER *et al.* (1998) obtiveram resultados semelhantes quando compararam os fluxos de calor latente e sensível, obtidos pelos métodos do balanço de energia e das correlações turbulentas. LHOMME *et al.* (1994a), também, propuseram um modelo para estimar o fluxo de calor latente em savanas com vegetação esparsa composta de grama e arbustos, a partir de temperaturas obtidas por medições radiométricas. Nesse estudo, comparando os resultados do modelo com o método do balanço de energia, observaram um relacionamento linear, o qual, por sua vez, apresentou coeficiente de determinação na ordem de 0,94 e erro quadrático médio de 52 Wm^{-2} . Ainda nessa linha de pesquisa, LHOMME *et al.* (1994b) estimaram o fluxo de calor latente de painço, a partir das temperaturas obtidas por medições radiométrica da superfície, utilizando o modelo de duas camadas originalmente proposto por SHUTTLEWORTH & WALLACE (1985). Os dados dos dois modelos foram comparados com os do método do balanço de energia, os quais indicaram boa correlação entre os dados, porém o modelo de uma camada não apresentou resultados satisfatórios.

PHERSSON & PETERSON (1997) aplicaram o balanço de água no solo e de energia baseado na razão de Bowen em floresta com pântanos. Os resultados indicaram que a evapotranspiração, calculada para um período médio de 10 minutos, foi 60% da evapotranspiração de referência e extremamente dependente da altura do lençol freático e,

também, que a evaporação decresceu durante o verão, devido ao aumento da profundidade do lençol freático.

PRUEGER *et al.* (1997) compararam a evapotranspiração de lentilha, cultivada em clima semi-árido, obtida através do método do balanço de energia e de lisímetro. Embora a razão de Bowen tenha subestimado os valores da evapotranspiração obtida em lisímetro, concluíram que o método balanço de energia oferece boa determinação da evapotranspiração. Entretanto, apresentou precisão limitada no início e no final do dia, visto que os gradientes de temperatura e pressão de vapor são pequenos e a razão de Bowen, aplicada em cobertura não homogênea sob condições de advecção em regiões semi-áridas, geralmente aproxima-se de -1, fazendo com que o fluxo de calor latente tenda para ∞ .

TRAMBOUZE *et al.* (1998) compararam a evapotranspiração de um parreiral obtida pelos métodos do balanço de energia, balanço hídrico no solo e determinações isoladas da evaporação do solo e da transpiração. Apesar dos métodos não terem apresentado diferença significativa, em nível de 5% de probabilidade, observaram os seguintes aspectos: (i) o método do balanço de água no solo só deve ser aplicado para períodos iguais ou superiores a uma semana e (ii) a vantagem do balanço de energia consiste no fato de que pode ser usado para períodos curtos, porém deve ser continuamente acompanhado. Eles concluíram, também, que a evapotranspiração de um parreiral obtida através das determinações separadas da evaporação e transpiração oferece maior precisão que através do balanço de água ou de energia.

Por sua vez, DAAMEM *et al.* (1999) determinaram a transpiração do limoeiro pelo método do balanço de calor no caule e a compararam com o modelo de Penman-Monteith, assim como a evapotranspiração obtida pelo método das correlações turbulentas com o método do balanço de energia. Utilizando o método das correlações turbulentas, verificaram que a soma dos fluxos de calor latente e sensível foi igual à energia disponível e, ainda, o método do balanço de energia oferece determinações imprecisas quando aplicado dentro e sob o dossel vegetativo das plantas.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização da área experimental

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

O clima da região é classificado como semi-árido e apresenta as seguintes características médias anuais: temperatura de 26,5 °C, umidade relativa de 67,8%, precipitação pluvial de 400 mm, insolação de 3.000 horas, evaporação média de 2.000 mm, velocidade de vento de 2,3 m/s e regime de chuvas bastante irregular, com a estação chuvosa compreendida entre os meses janeiro e abril (REEDY & AMORIM NETO, 1993).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com lençol freático localizado a 2,5m de profundidade. De acordo com ÁVILA NETTO (1997) a maior concentração de areia (74,87%) encontra-se na camada de 0-20cm, apresentando ligeira tendência decrescente até a profundidade de 80cm. Por sua vez, nas camadas de 0-40cm, 60-80cm e 100-120cm o solo é classificado como franco-arenoso e, nas camadas de 40-60cm e 80-100cm, como franco-argilo-arenoso.

3.2. Cultivo estudado

A frutífera estudada foi a mangueira (*Mangifera indica L.*), variedade 'Tommy Atkins', plantada em fevereiro de 1993, cujos frutos pesam entre 400 a 700g, com até 13cm de comprimento; oval, tendendo para oblongo e possui ponta larga e arredondada. A cor básica é amarelo-laranja, com manchas escuras. A casca é grossa e resistente e a polpa é de cor amarelo-escura (RAMOS, 1982).

3.3 - Manejo de água, adubação e defensivos

O pomar de mangueiras utilizado na condução dos experimentos foi irrigado com base nas observações da evaporação do tanque "classe A" e no coeficiente de cultura de 0,75, em 1998, e de 1,0, em 1999. O volume d'água (V_a) em litros, aplicado por planta, foi obtido pela relação:

$$V_a = \frac{E_v \cdot K_t \cdot K_c \cdot A_p}{E_f} \quad (3.1)$$

em que E_v é a evaporação do tanque "classe A", correspondente à média diária dos últimos sete dias, K_t é o coeficiente do tanque (0,75), obtido em função da umidade relativa, velocidade do vento e bordadura (DOORENBOS & KASSAM, 1979), K_c é o coeficiente de cultura, A_p é a área máxima ocupada pela planta (40 m²) e E_f é a eficiência do sistema de irrigação (0,926). Assim, a lâmina de irrigação diária (mm) considerada constante para cada semana, foi obtida pela relação entre o volume d'água aplicado por planta e a área de molhamento resultante da irrigação.

No ano de 1998 foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento com duas linhas de emissores espaçadas 1,2m e vazão de 3,1 l/h, enquanto em 1999 foi utilizado o mesmo sistema de irrigação, porém com as linhas de emissores espaçadas 1,8m e vazão de 4,1 l/h. Em 1998, a lâmina d'água foi aplicada ao solo de forma contínua no período matinal, enquanto em 1999 se aplicou metade pela manhã e metade à tarde.

No controle da floração aplicou-se Cultar (*Paclobutrazol*) numa dosagem de 2ml por metro linear de copa, diluídos em 20l água e distribuídos em sulco, sob as copas das plantas. A indução floral foi efetuada mediante a aplicação de uma solução de 4%, de nitrato de potássio e de cálcio. No manejo nutricional foram utilizados 62,55 gramas de

nitrogênio por planta e, nos tratos fitossanitários, os fungicidas Afugang (*Pyrazophos*) e Rubigan (*Fenarimol*), na dosagem de 15 e 5ml por 20l de água, respectivamente.

3.4 - Delineamento da parcela experimental

A pesquisa foi conduzida durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras nos anos de 1998 (julho a dezembro) e 1999 (junho a novembro). A parcela ocupada pelo mangueiral corresponde a uma área de 9.880 m² (Figura 3.1) com plantas dispostas num espaçamento de 5m entre plantas por 8m entre fileiras.

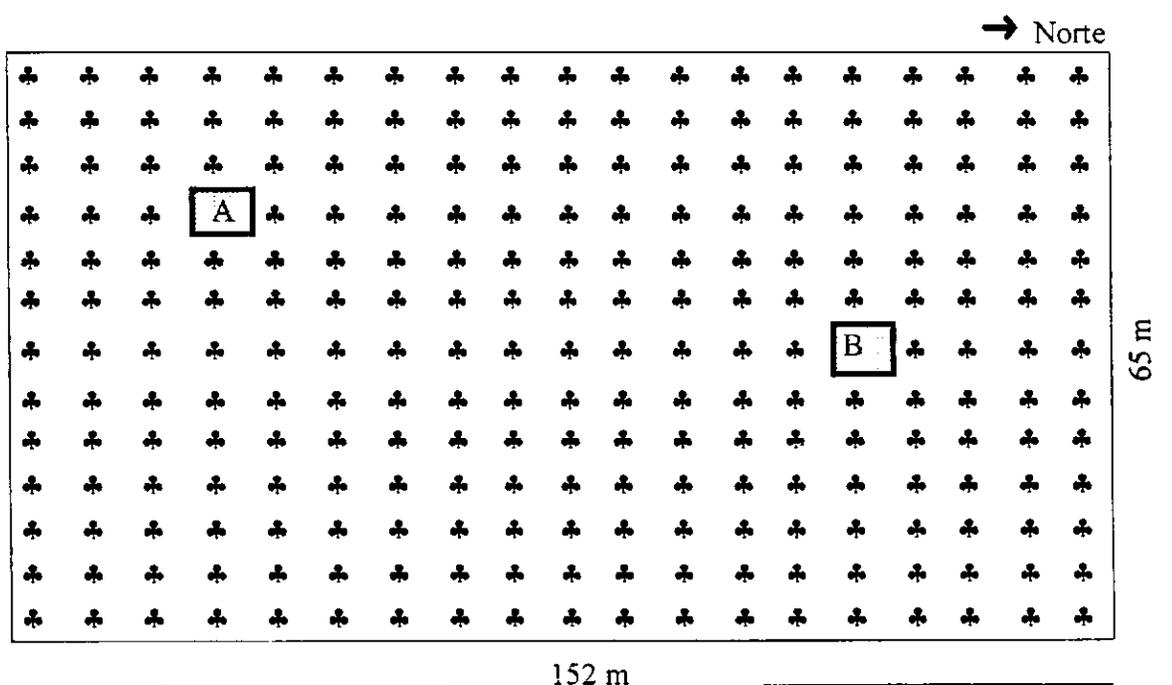


Figura 3.1 - Localização da torre micrometeorológica e das baterias de tensiômetros no mangueiral. As células hachuradas A e B correspondem, respectivamente, à localização dos instrumentos, em Petrolina, Pe, em 1998 e 1999

Foram estudados os seguintes estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, compreendidos entre a operação de indução floral e a colheita, de acordo com SOARES *et al.* (1998): floração (20 dias), queda de frutos (40 dias), formação de frutos (50 dias) e maturação de frutos (10 dias). As Figuras 3.2 e 3.3 evidenciam os estádios fenológicos do pomar de mangueiras, respectivamente, de floração e de formação de frutos. Na instalação da torre micrometeorológica foi utilizado o “fetch” de apenas 1:15, face à dimensão da parcela experimental.



Figura 3.2 - Vista da copa do pomar de mangueiras durante o estágio fenológico de floração, em Petrolina, PE, em 1999

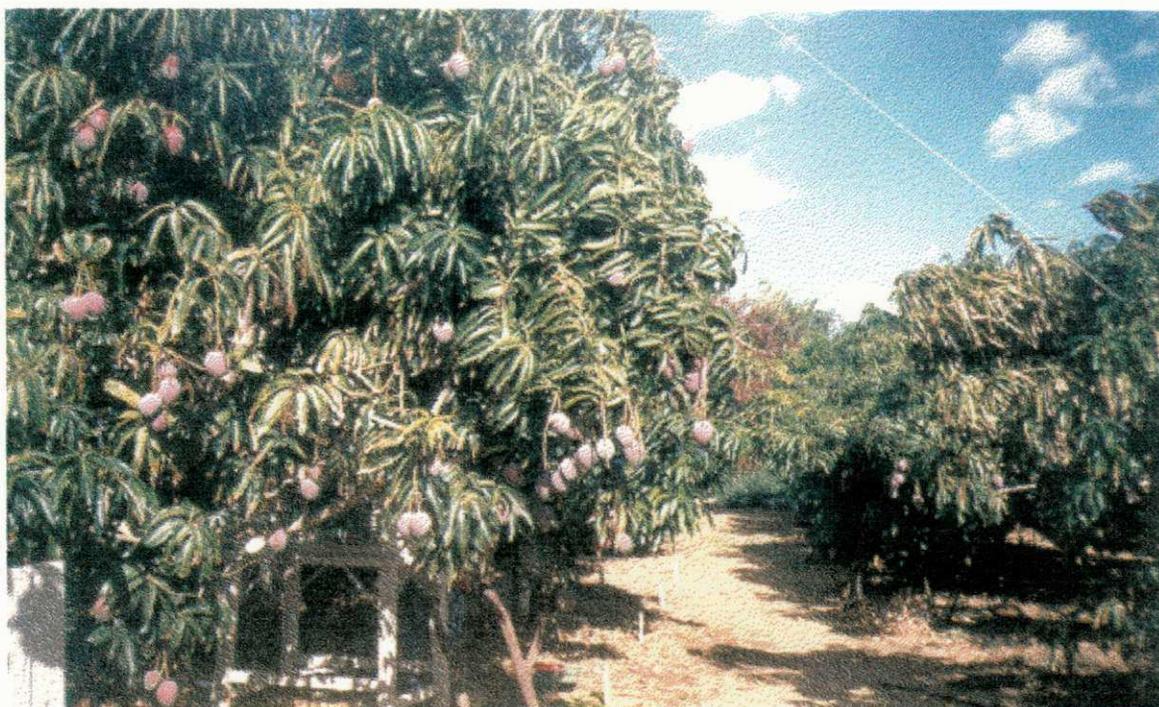


Figura 3.3 - Vista lateral do pomar de mangueiras durante o estágio fenológico de formação de frutos, em Petrolina, PE, em 1999

3.5 - Medições e instrumentação utilizada

As células A e B da área experimental (Figura 3.1) correspondem aos locais onde foram instalados os experimentos em 1998 e 1999, respectivamente. Em ambos os experimentos foram montadas uma torre micrometeorológica (Figura 3.4) e baterias de tensiômetros (Figura 3.5) com sensores para medição dos seguintes parâmetros: saldo de radiação, gradientes de temperatura e umidade, perfil de umidade e fluxo de calor no solo, os quais foram utilizados na elaboração dos balanços de energia (BE) sobre a copa das árvores e hídrico no solo (BH) no interior da parcela. Em 1999 utilizou-se a seguinte instrumentação:

- i. dois saldos 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, sendo um próximo 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;
- iv. seis baterias de tensiômetros sob a copa de duas plantas, distanciadas 0,5m do tronco da planta e espaçadas 1,17m, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220cm.

Em 1998 foi utilizada esta mesma instrumentação; no entanto, para o monitoramento da umidade do solo foram instaladas apenas duas baterias de tensiômetros e os psicrômetros distanciados 1,0m.

3.6 - Medições adicionais

Foram ainda instalados na torre micrometeorológica dois anemômetros, distanciados 1,4m na vertical sobre a copa da planta, e piranômetros para medições da radiação solar incidente e refletida pelo dossel vegetativo. Para determinação da área foliar foi utilizado um integralizador de área (LI - 3.000, LI-COR). Dados de velocidade do vento a 2m acima da superfície do solo, insolação, temperaturas máxima e mínima, umidade relativa, evaporação do tanque "classe A" e precipitação pluvial, foram coletados na Estação Meteorológica situada aproximadamente a 300m da área experimental. Esses dados foram utilizados na determinação da evapotranspiração de referência e no cálculo do balanço hídrico no solo.



Figura 3.4 - Vista da torre micrometeorológica sobre o pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999



Figura 3.5 - Posicionamento das baterias de tensiômetros no interior do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999

3.7 - Sistemática de coleta de dados

Em 1998, as leituras tensiométricas foram realizadas diariamente, de segunda a sexta-feira, às 8:00h, enquanto em 1999 realizaram-se três observações diárias, nos horários das 7:00, 12:00 e 17:00h, e a fenologia do pomar de mangueiras monitorada pela anotação das alterações no desenvolvimento vegetativo da planta. Os tensiômetros foram fluxados a cada três dias. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado três vezes durante o experimento de 1999, com base em cinco amostras de cem folhas, medindo-se a largura e o comprimento das folhas selecionadas aleatoriamente na base, meio e topo do dossel vegetativo de uma planta representativa do pomar. Essas informações foram incorporadas ao modelo proposto por AZEVEDO *et al.* (1999) para avaliar a evolução do IAF ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras. A variação do fator de recobrimento do solo pela área foliar da planta foi também determinada, com base no diâmetro médio da projeção da copa das árvores no solo.

Os sensores de saldo de radiação, temperaturas de bulbo seco e úmido, 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 dados a cada cinco segundos e armazenar médias a cada 10 minutos. Semanalmente, sempre às segundas-feiras, os dados armazenados na memória *Datalogger* eram transferidos para o módulo de armazenamento e em seguida para um microcomputador. Também uma vez por semana, eram observados o funcionamento e o estado de conservação dos radiômetros, psicrômetros e tensiômetros.

Apesar da manutenção rotineira, os tensiômetros freqüentemente saíram da faixa de funcionamento e apresentaram observações absolutamente inconsistentes durante alguns dias até a reparação dos instrumentos. Visando à eliminação desses valores, em 1999 foi aplicado um filtro com base no desvio-padrão (σ_j) das séries das observações tensiométricas de cada profundidade (x_j), ou seja, foram eliminadas as observações em que $-1,5 \sigma_j \leq x_j \leq 1,5 \sigma_j$ de todas as profundidades das seis baterias de tensiômetros nos horários de observação.

Na elaboração do balanço hídrico no solo para 1999, foi utilizada a série média das 7:00h, e no cálculo da drenagem/ascensão capilar (D/A) as séries dos três horários foram integradas no período das 7:00 às 12:00h, das 12:00 às 17:00h, das 17:00 às 7:00h do dia seguinte e no período de elaboração do balanço maior que um dia.

De acordo com a altura do lençol freático e face à presença de drenos instalados no interior da parcela, o balanço hídrico no solo foi realizado, em 1999, na profundidade de 180cm. No entanto, como em 1998 o sistema de drenagem se encontrava obstruído e o lençol freático mais elevado do que em 1999, o balanço hídrico foi realizado na profundidade de 160cm. O período de realização dos balanços foi determinado em função da disponibilidade de dados, o qual em 1998 foi predominantemente no período de uma semana e em 1999 para períodos que variaram de um a sete dias.

3.8 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen

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

$$R_n + LE + H + G = 0 \quad (3.2)$$

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, respectivamente. Todos os termos da Equação (3.2) são expressos 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. Segundo STANNARD *et al.* (1994) a soma de $R_n + G$ representa a energia disponível que é consumida na transferência de H e LE para a atmosfera.

3.8.1 - Razão de Bowen

A razão de Bowen corresponde à relação entre os fluxos de calor sensível e calor latente, dada por ASHKTORAB *et al.* (1989):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{Pc_p}{Le} \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\partial T / \partial Z}{\partial e / \partial Z} = \gamma \left(\frac{K_h}{K_v} \right) \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.3)$$

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 o fator psicrométrico ($hPa^\circ C^{-1}$) obtido pela expressão:

$$\gamma = \frac{\bar{P} c_p}{0,662L} \quad (3.4)$$

em que $c_p = 0,24 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, representa o calor específico do ar à pressão constante, \bar{P} a pressão atmosférica média à superfície (hPa) e L o calor latente de vaporização (calg^{-1}) obtido por (WRIGHT, 1982).

$$L = 595 - 0,51T_a \quad (3.5)$$

em que T_a é a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$).

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:

$$\beta \approx \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e_a} \quad (3.6)$$

A pressão parcial de vapor d'água em dois níveis acima da copa da planta foi calculada pela equação de Ferrel, expressa da seguinte forma:

$$e(t_a) = e_s(t_u) - 0,00066 (1 + 0,00115 t_u)(t - t_u) \bar{P} \quad (3.7)$$

em que t_u e t_a são as temperatura dos bulbos úmido e seco, respectivamente, expressas em $^\circ\text{C}$, \bar{P} a pressão atmosférica média (hPa) e $e_s(t_u)$ a pressão de saturação do vapor d'água (hPa) a qual foi calculada pela equação de Tetens, apresentada por ROSENBERG *et al.* (1983), como:

$$e_s(t_u) = 6,1078 \exp \left(\frac{17,269 t_u}{237,3 + t_u} \right) \quad (3.8)$$

Substituindo-se a razão de Bowen na Equação (3.2) determinou-se o fluxo de calor latente pela expressão:

$$LE = - \left(\frac{R_n + G}{1 + \beta} \right) \quad (3.9)$$

a qual permite estimar-se o fluxo de calor latente com base em medições do saldo de radiação, fluxo de calor sensível 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 com base na Equação (3.2), por:

$$H = -(R_n + LE + G) \quad (3.10)$$

Na conversão do fluxo de calor latente ou evapotranspiração da cultura (ET_c), obtido pela Equação (3.9), de W/m^2 para mm/dia, utilizou-se LE integrado no período em que R_n foi positivo.

3.9 - Balanço hídrico no solo

O balanço hídrico no solo (BH) foi elaborado com base na expressão (LIBARDI, 1995):

$$Pr + I \pm D/A \pm \Delta h \pm R - ET_c = 0 \quad (3.11)$$

em que ET_c é a evapotranspiração da cultura, Pr é a precipitação pluvial, I é a irrigação, Δh é a variação no armazenamento de água no perfil do solo, R é o escoamento superficial e D/A a drenagem profunda ou ascensão capilar. Todos os termos da Equação (3.11) são expressos em milímetros por unidade de tempo. O escoamento superficial foi considerado nulo, visto que a topografia do terreno era plana, sendo que Pr foi medida com pluviômetro, I através do controle de irrigação e Δh com base no perfil de umidade do solo. A Equação (3.11) é baseada no princípio de conservação de massa. Segundo SINGH & CHAUHAN (1996) quando aplicada para um período de tempo específico, é possível determinar-se os componentes do ciclo hidrológico no sistema solo-planta. O volume de controle considerado para elaboração do balanço hídrico correspondeu à camada de solo, compreendida entre a superfície e a máxima profundidade efetiva do sistema radicular. A partir de trincheiras abertas no interior da parcela em 1998 e 1999, observou-se maior concentração de raízes até 2m de profundidade.

Na determinação da curva de retenção de água e densidade aparente do solo, utilizou-se um trado para extração de amostras de solo, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220cm. Essas amostras foram colocadas em câmara de Richards para obtenção da quantidade de água retida no solo, nas pressões de 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 5,0 e 15atms. A extração da umidade das amostras, em estufa à temperatura de 105 °C, e a determinação da densidade aparente do solo, foram realizadas no laboratório da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina, PE.

No interior da parcela estudada em 1999 foi aberta uma trincheira com 2,3m de profundidade, 1,0m de largura e 2,0m de comprimento, para extração de amostras indeformadas de solo, com três repetições, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220 cm. Na profundidade máxima da trincheira não foi constatada presença d'água, face à existência de drenos no interior da parcela para manutenção da profundidade do lençol freático. As amostras de solo foram utilizadas na determinação da condutividade hidráulica saturada, com permeâmetro de carga constante, no Laboratório de Salinidade e Irrigação da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, PB; uma outra trincheira de 30cm de profundidade, 30m de largura e 4,5 m de comprimento, também foi aberta no ano de 1999, entre duas plantas, para determinação do diâmetro da área molhada resultante da irrigação.

3.9.1 - Drenagem profunda

O fluxo descendente (D) ou ascendente (A) cruzando o limite inferior do volume de controle, foi obtido pela equação de Darcy-Buckingham, escrita para fluxo vertical, como (LIBARDI, 1995):

$$D/A = -\left[\bar{K}(\theta) \frac{\partial \phi_t}{\partial Z}\right] \quad (3.12)$$

em que D/A é a densidade de fluxo de água no solo (quantidade de água que atravessa a unidade de área por unidade de tempo, em milímetros), $\bar{K}(\theta)$ a condutividade hidráulica média do solo (capacidade do solo em transferir água, em cm/dia), $\partial \phi_t / \partial Z$ o gradiente vertical do potencial hidráulico (força propulsora que faz a água mover-se verticalmente no solo, em cm/cm), ϕ_t o potencial total de água no solo (cm de água) e Z(cm) a coordenada vertical.

O conteúdo de umidade no solo (em base volumétrica) foi obtida pela expressão (van GENUCHTEN, 1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha \phi_m|^n\right]^m} \quad (3.13)$$

em que θ_r e θ_s são as umidades volumétricas residual e de saturação, respectivamente, expressas em $m^3 m^{-3}$, ϕ_m é o potencial matricial (cm de água), e α , n e m, são constantes empíricas, determinadas pelo programa Curvaret (DOURADO NETO & van LIER, 1993).

A condutividade hidráulica para o solo não saturado $K(\theta)$ foi determinada pela equação (van GENUCHTEN, 1980):

$$K(\theta) = K_0 \omega^l \left[1 - \left(1 - \omega^{\frac{1}{m}} \right)^2 \right] \quad (3.14)$$

em que K_0 é a condutividade hidráulica do solo saturado, $m = 1 - 1/n$, $\omega = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ e l é um parâmetro empírico que, segundo MUALEM (1976), é igual a 0,5 para a maioria dos solos.

O potencial total da água no solo ϕ_t foi obtido pela expressão (LIBARDI, 1995):

$$\phi_t = \phi_m + \phi_z \quad (3.15)$$

em que ϕ_m e ϕ_z representam, respectivamente, os potenciais matricial e gravitacional da água no solo, ambos em centímetros de água. Os componentes de pressão e osmótico não foram consideradas, visto que os mesmos se tornam importantes apenas quando o solo se encontra saturado e a concentração salina é alta, respectivamente (REICHARDT, 1985; du PLESSIS, 1985). O componente gravitacional representa a distância em relação à superfície do solo (cm) e o matricial (cm de água) foi obtido com base nas medições tensiométricas, pela expressão (LIBARDI, 1995):

$$\phi_m = -12,6h_{Hg} + h_c + h_p \quad (3.16)$$

em que h_{Hg} é a altura da coluna de mercúrio (cm) a partir do nível da cuba, h_c é a altura do nível da cuba em relação ao solo (cm) e h_p é a profundidade da cápsula porosa (cm).

3.9.2 - Variação no conteúdo de água do solo

O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medições foram realizadas em intervalos igualmente espaçados desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$) de acordo com a seguinte equação (LIBARDI, 1995):

$$h_L = \int_0^L \theta(z) dz = \left[0,50\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,50\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (3.17)$$

em que θ é a umidade média do perfil do solo considerado (cm^3/cm^3) e Δz a espessura da camada de solo (cm). Assume-se que, pela proximidade em $z = 0$, a umidade é a mesma que em $z = z_1$ e em $z = L$ a mesma que $z = z_n$.

A variação do armazenamento de água no solo (mm) durante os períodos de tempo considerados, foi obtida pela expressão:

$$\Delta h = h_t - h_{t-1} \quad (3.17)$$

em que h_t e h_{t-1} representam os armazenamentos de água no perfil do solo nos instantes t e $t-1$, respectivamente.

3.9.3 - Área molhada

A percentagem da área molhada, ao longo de um plano horizontal de 30cm abaixo da superfície do solo, por duas linhas de gotejadores, foi determinada da seguinte forma (KELLER & BLIESNER, 1990):

$$P_w = \frac{N_p S'_e (S'_e + w) / 2}{S_p \times S_r} 100 \quad (3.19)$$

em que P_w é percentagem da área molhada, N_p é número de emissores por planta, S'_e é o espaçamento ótimo entre emissores ($S'_e = 0,80 w$), w é diâmetro da área circular úmida de um único emissor, S_p é espaçamento entre plantas na fileira e S_r é o espaçamento entre fileiras.

Para condições de campo em que $S_e < S'_e$ se substituiu na Equação (3.19) S'_e por S_e , em que S_e é o espaçamento entre emissores ao longo da linha lateral. Todos os termos da Equação (3.19) são expressos em metro.

3.10 - Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência diária (ET_0) foi obtida pelo modelo Penman-Monteith/FAO, considerando-se a resistência estomática de 70 s/m e a altura da grama fixada em 0,12m, pela equação (ALLEN *et al.*, 1994a):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (3.20)$$

em que R_n e G são expressos em $MJm^{-2}dia^{-1}$, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água ($KPa \text{ } ^\circ C^{-1}$) e U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2m acima da superfície do solo.

3.11 - Coeficiente de cultura

O coeficiente de cultura (K_c) foi obtido pela expressão (DOORENBOS & KASSAM (1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (3.21)$$

3.12 - Erros de determinação da evapotranspiração

3.12.1 - Balanço de energia

O erro relativo na determinação da razão de Bowen ($\epsilon\beta/\beta$) associado à imprecisão dos instrumentos utilizados nas medições das temperaturas de bulbo seco (T_s) e úmido (T_u) foi obtido por ANGUS & WATTS (1984):

$$\frac{\epsilon\beta}{\beta} = (1 + \beta) \left| \frac{\epsilon\Delta T_u}{\Delta T_u} + \frac{\epsilon\Delta T_s}{\Delta T_s} \right| \quad (3.22)$$

em que $\epsilon\Delta T_u$ e $\epsilon\Delta T_s$ são os erros prováveis na determinação das temperaturas de bulbo úmido e seco, respectivamente, os quais, segundo FUCHS & TANNER (1970) é da ordem de $0,1 \text{ } ^\circ C$.

Assumindo como constante, em torno de 4%, o erro nas medições do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo, ANGUS & WATTS (1984) mostraram que o erro absoluto do fluxo de calor latente obtido com base no método do BERB, pode ser expresso por:

$$\epsilon LE = \left| \frac{0,04 (1 + \beta) + 1,04 \epsilon\beta}{(1 + \beta + \epsilon\beta) (1 + \beta)} \right| (R_n - G) \quad (3.23)$$

em que $\varepsilon\beta$ é o erro absoluto na razão de Bowen.

3.12.2 - Balanço hídrico no solo

O erro atribuído à determinação do balanço hídrico no solo no intervalo de tempo t (ε , %) foi obtido pela expressão (MICKSON *et al.*, 1997):

$$\varepsilon(\%) = \frac{(ST_0 + \sum_{j=0}^t R_j - \sum_{j=0}^t Q_j - \sum_{j=0}^t ETc_j) - ST_f}{ST_f} \quad (3.24)$$

em que ST_0 e ST_f representam, respectivamente, as umidades armazenadas no solo nos instantes inicial e final, expressas em mm, R_j a precipitação e/ou a irrigação acumulada (mm), Q_j a drenagem acumulada (mm) e ETc_j a evapotranspiração do pomar de mangueiras acumulada (mm) no período de elaboração do balanço.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Aspectos gerais do experimento

Em 1998, com as linhas de emissores espaçadas 1,2m, a área molhada sob a copa da planta foi de 16,4m², enquanto em 1999, com as linhas de emissores espaçadas 1,8m, obteve-se 19m² de área de molhamento, cujos resultados possibilitaram a determinação da lâmina de água aplicada ao solo através da relação entre o volume aplicado e a área de molhamento. Em 1999, com a utilização do $K_c = 1,0$ na irrigação, a lâmina diária de água aplicada ao solo variou de 8,4mm, no período de 06 a 09/07/1999, a 15,6mm, no período de 25 a 29/10/1999. Por outro lado, em 1998, quando foi utilizado na irrigação um $K_c = 0,75$, a lâmina de água aplicada variou de 16,8mm, no período de 26 a 28/10/1998, a 12,4mm, no período de 15 a 20/11/1998. As lâminas máxima e mínima de água ocorreram, respectivamente, nos períodos de alta e baixa demanda evaporativa da região. Nos dois anos do experimento, o lençol freático manteve-se aproximadamente numa profundidade de 2,5m, enquanto a maior concentração de raízes foi observada na zona entre 1,4 e 2,0m de profundidade.

As médias mensais das variáveis climatológicas da estação de Bebedouro, Petrolina, PE, durante o período do experimento em 1998 e 1999, são apresentadas na

Tabela 4.1. Em 1998, os valores da temperatura do ar, umidade relativa, evaporação do tanque “classe A” e insolação foram, em média, superiores àqueles observados em 1999, enquanto a velocidade do vento e o total pluviométrico foram maiores em 1999 que em 1998. A temperatura média diária nos períodos experimentais em 1998 (27,1^oC) e 1999 (25,1^oC) foram maiores e menores, respectivamente, que a média anual da Estação Experimental de Bebedouro que, segundo REDDY & AMORIM NETO (1983), é de 26,5^oC.

Tabela 4.1 - Médias mensais da temperatura do ar (Ta), umidade relativa (UR), evaporação do tanque “classe A” (Ev), insolação (n), velocidade do vento (V) e precipitação pluvial (Pr) de Bebedouro, Petrolina, PE, durante os experimentos com mangueira, em 1998 e 1999

Ano:1998						
Mês	Ta (°C)	UR (%)	Ev (mm/dia)	n (h)	V (Km/dia)	Pr (mm)
Julho	25,1	75	6,8	7,0	255	0,7
Agosto	25,9	71	8,1	8,9	257	6,6
Setembro	26,9	73	9,0	9,2	263	0,6
Outubro	28,2	67	10,5	9,9	249	0,0
Novembro	28,6	75	8,3	7,5	160	36,4
Dezembro	27,7	73	7,7	7,1	132	73,8
Média	27,1	72	8,4	8,3	219	118,1
Ano:1999						
Junho	25,6	59	6,4	7,8	201	0
Julho	24,5	60	7,0	7,8	255	2,1
Agosto	23,2	70	7,3	7,7	268	2,3
Setembro	25,6	66	7,8	8,7	277	30,4
Outubro	25,5	69	8,1	7,4	230	18,1
Novembro	26,1	69	7,3	6,3	198	100,4
Média	25,1	66	7,3	7,6	238	153,3

A análise da textura e umidade do solo em base de massa da Estação Experimental de Bebedouro, em Petrolina, PE, é apresentada na Tabela 4.2. De acordo com o perfil obtido, a composição do solo é predominantemente de areia (74%) seguida de

argila (18%) e silte (11%). A umidade média do solo a base de massa em capacidade de campo e ponto de murcha permanente foi, respectivamente, 10 % e 5%.

Tabela 4.2 - Dados de textura e umidade do solo a base de massa em capacidade de campo (1/3atm) e ponto de murcha permanente (15atm) de Bebedouro, em Petrolina, PE

Profundidade (cm)	Granulometria (%)			Umidade do solo (%)	
	Areia	Silte	Argila	1/3 (atm)	15 (atm)
0 – 20	81	13	06	06,02	2,44
20 – 40	74	12	14	07,60	3,81
40 – 60	75	09	16	09,26	4,34
60 – 80	67	15	18	11,18	4,48
80 – 100	72	09	19	11,68	4,87
100 – 120	67	11	22	13,22	6,21
120 – 140	63	14	23	12,33	6,55
140 – 160	70	10	20	10,84	5,77
160 – 180	72	07	21	10,89	6,18
180 – 200	74	07	19	10,22	5,18
Média	72	11	18	10,00	5,00

A aplicação do modelo proposto por AZEVEDO *et al.* (1999) para a determinação do índice de área foliar (IAF) em função da largura e do comprimento das folhas, para os dias 01/07, 01/09 e 01/11/1999, resultou em IAF de 12,89; 15,00 e 14,10 m^2/m^2 , correspondente, respectivamente, aos estádios fenológicos de floração, queda de frutos e maturação de frutos. A área média da projeção da copa da árvore no solo manteve-se praticamente constante, em de torno de $34m^2$, correspondendo a 85% da área ocupada pela planta, durante os períodos estudados. Assumindo como circular o dossel do limoeiro, DAAMEN *et al.* (1999) encontraram a projeção da copa da árvore no solo na ordem de 39% da área disponível para a planta.

A condutividade elétrica do solo durante o experimento em 1999 variou quase linearmente com a profundidade, indo de 0,14 dS/m na camada de 0-20cm a 4,0 dS/m, na camada de 180-200cm, com média para o perfil em torno de 1,47 dS/m. Valores

similares de condutividade elétrica do solo foram encontrados por du PLESSIS (1985) para citros, variando de 2,1 a 3,4 dS/m nas camadas mais profundas do solo.

4.2 - Balanço de energia baseado na razão de Bowen

4.2.1 - Análise dos componentes do balanço de energia

O comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras em 1998 e 1999, exceto no início da floração e final da indução floral em 1998, é apresentado nas Figuras 4.1 a 4.7. As densidades de fluxo 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 HEIMAN & BRITTIN (1989).

A ausência de nebulosidade, em 06/08/1998 (Figura 4.1a) e em 05/06/1999 (Figura 4.1b), na floração e indução floral do pomar de mangueiras, definiu, respectivamente, os cursos 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 da ordem de 600 W/m^2 . Geralmente, os fluxos de H e G durante os experimentos de 1998 e 1999 tiveram a mesma ordem de grandeza, com rápida inversão de comportamento em torno das 10:30h, provocada pela alta cobertura de nuvens em 1999 (Figura 4.1b), porém G se manteve inferior a H (em módulo) durante todo o período diurno, exceto no final da tarde. As densidades de fluxo R_n e LE foram, em 06/08/1998, bastante uniformes, desde ao amanhecer até ao meio-dia para, em seguida, variarem bruscamente até ao anoitecer (Figura 4.1a). 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 fluxos de R_n e LE sobre a mangueira em 16/08/98 (Figura 4.2a) 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. Durante a floração do pomar de mangueiras em

1999 (Figura 4.2b), os fluxos 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 4.3) e de formação de frutos (Figura 4.4) as densidades de fluxo seguiram o mesmo padrão de comportamento, no que se refere aos valores máximos e mínimos observados durante o estágio fenológico de floração em 1999 (Figura 4.2b), no entanto, diferiram quanto à variabilidade durante o período diurno. Os fluxos R_n e LE exibiram comportamento suavizado no estágio fenológico de queda de frutos em 1998 (Figura 4.3a) e foram bastante variáveis, no estágio fenológico de formação de frutos (Figura 4.4a), com valores extremos superiores em módulo a 600 W/m^2 , em função da nebulosidade presente.

No estágio fenológico de formação de frutos em 1999 (Figura 4.5b) as densidades de fluxos R_n , G e H atingiram os maiores valores dentre todos os estádios fenológicos da mangueira; mas, o fluxo LE não respondeu ao aumento de R_n (Figura 4.5a). No estágio fenológico de maturação de frutos (Figuras 4.6 e 4.7) em 1998 e 1999, os valores de R_n e LE foram da mesma ordem de grandeza dos estádios fenológicos anteriores, ou seja, atingiram valores máximos em torno do meio-dia e mínimos no início e no final do período diurno. Em todo o 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 de LE ocorreu em torno de uma ou duas horas após o máximo de R_n .

As Figuras 4.1 a 4.7 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 evaporativa. 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 ao 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. Como em 1998 o mangueiral foi irrigada apenas uma vez ao dia, esses fluxos foram mais intensos e fortemente influenciados por R_n e pelo teor de umidade do solo.

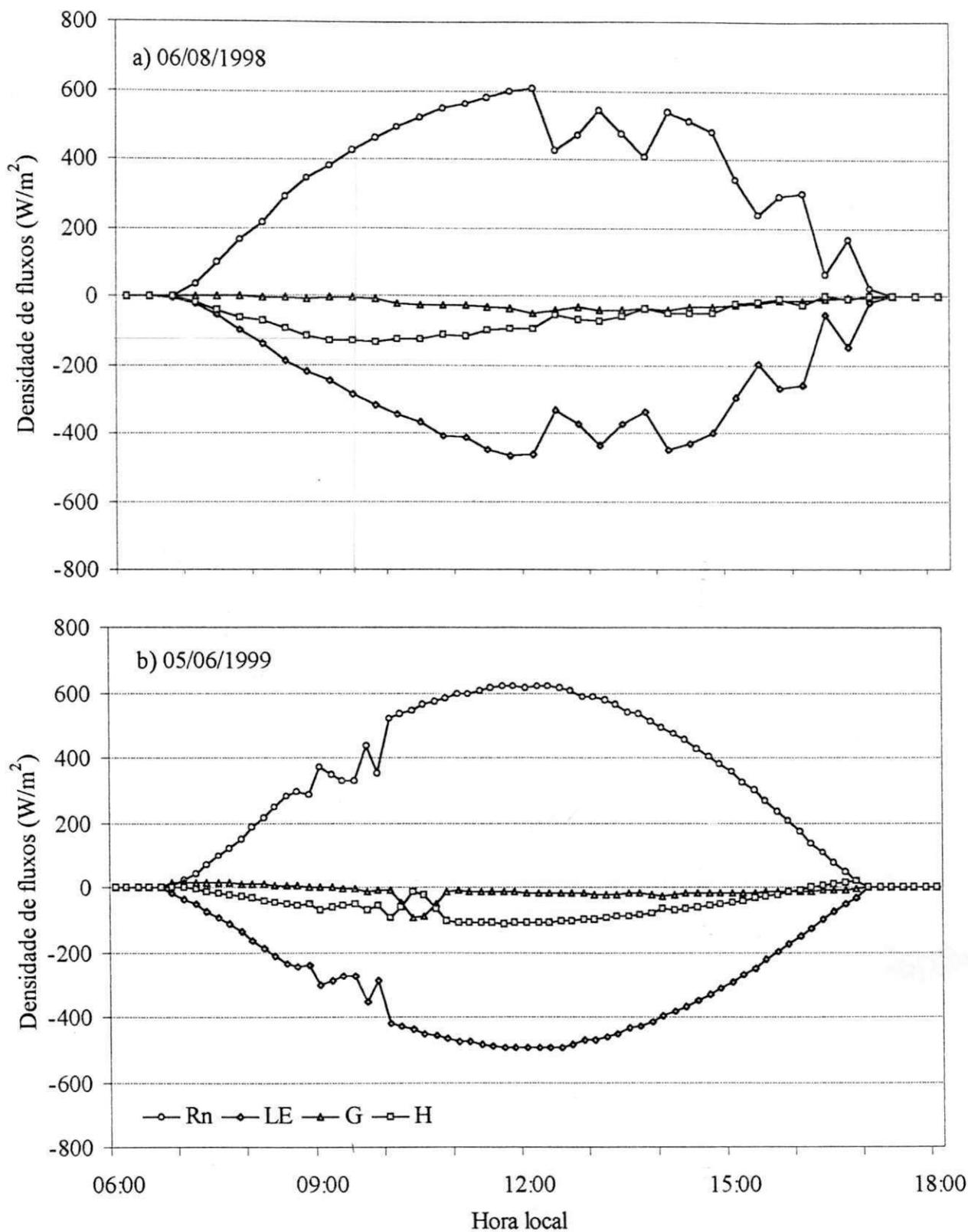


Figura 4.1 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) floração do pomar de mangueiras, em 06/08/1998 e b) indução floral do pomar de mangueiras, em 05/06/1999, em Petrolina, Pe

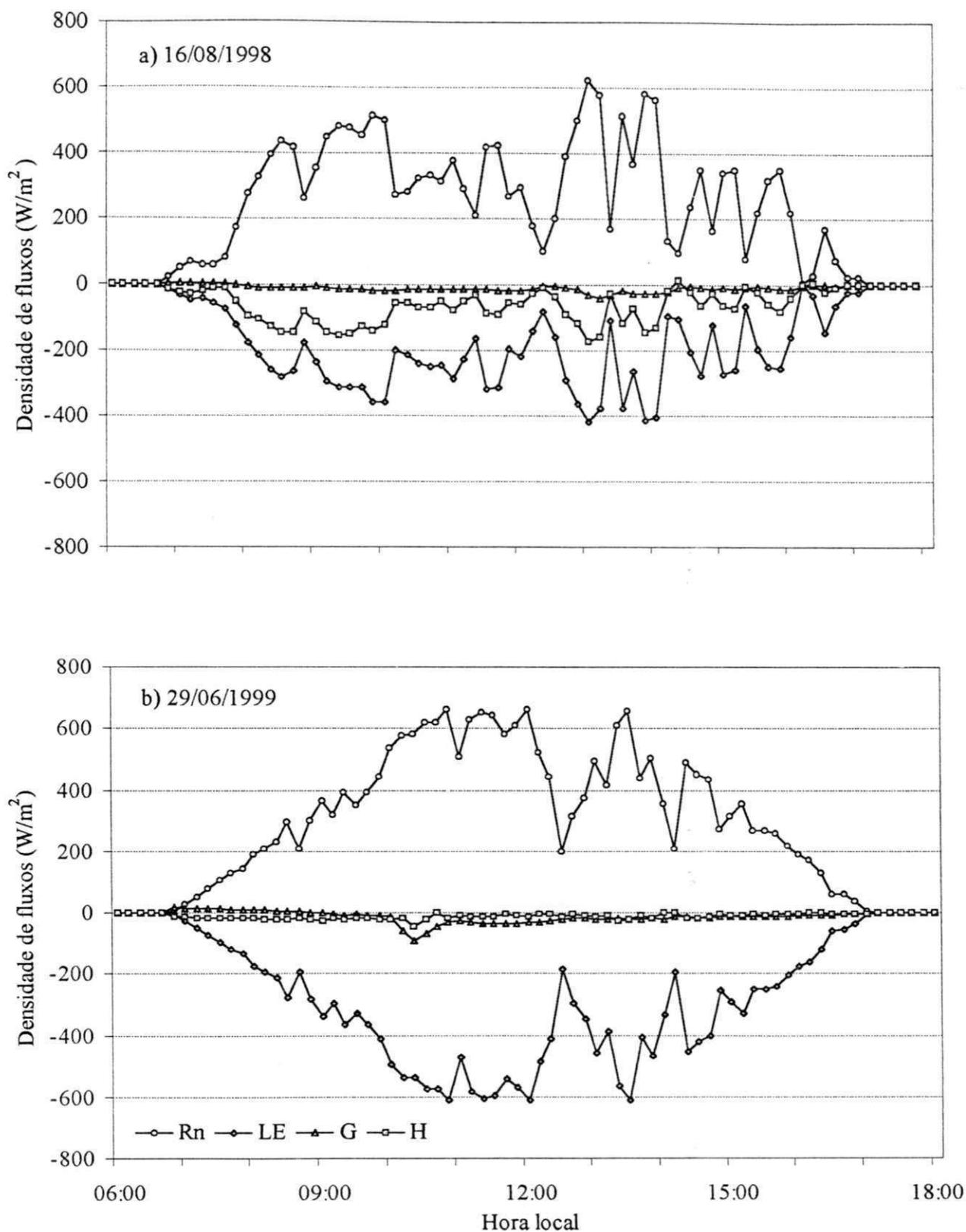


Figura 4.2 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 16/08/1998 e b) floração do pomar de mangueiras, em 29/06/1999, em Petrolina, Pe

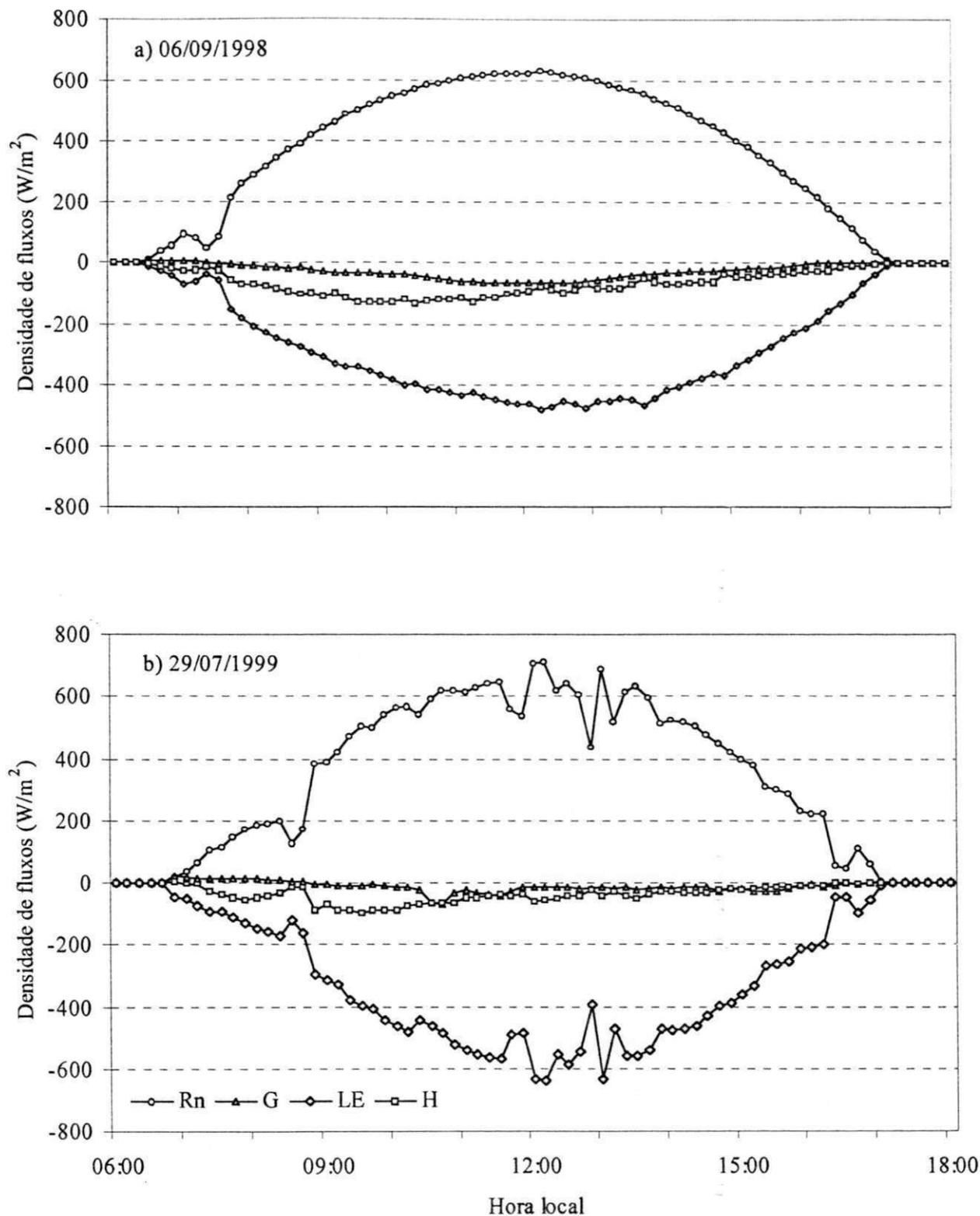


Figura 4.3 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 06/09/1998 e b) queda de frutos do pomar de mangueiras, em 29/07/1999, em Petrolina, Pe

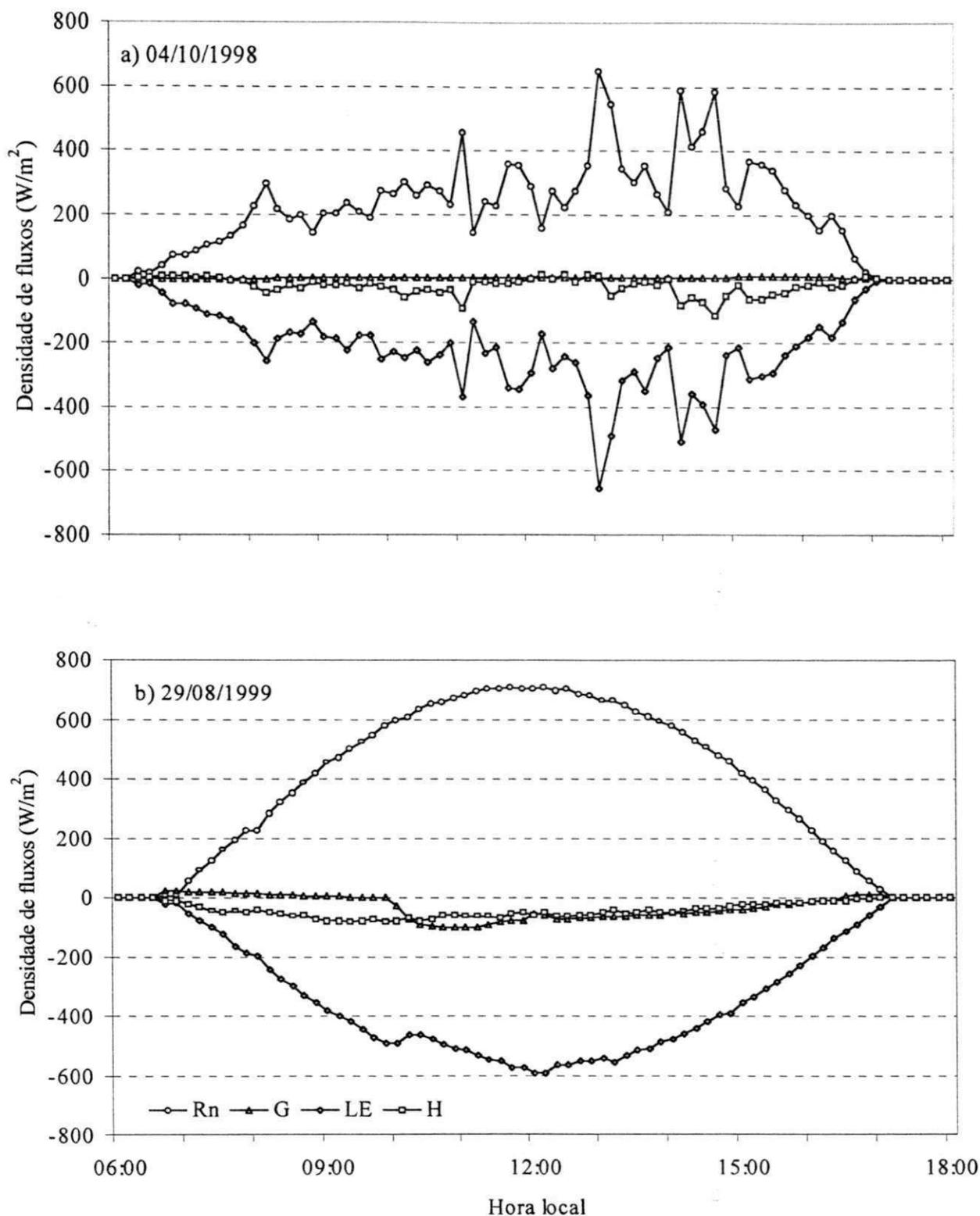


Figura 4.4 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 04/10/1998 e b) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 29/08/1999, em Petrolina, Pe

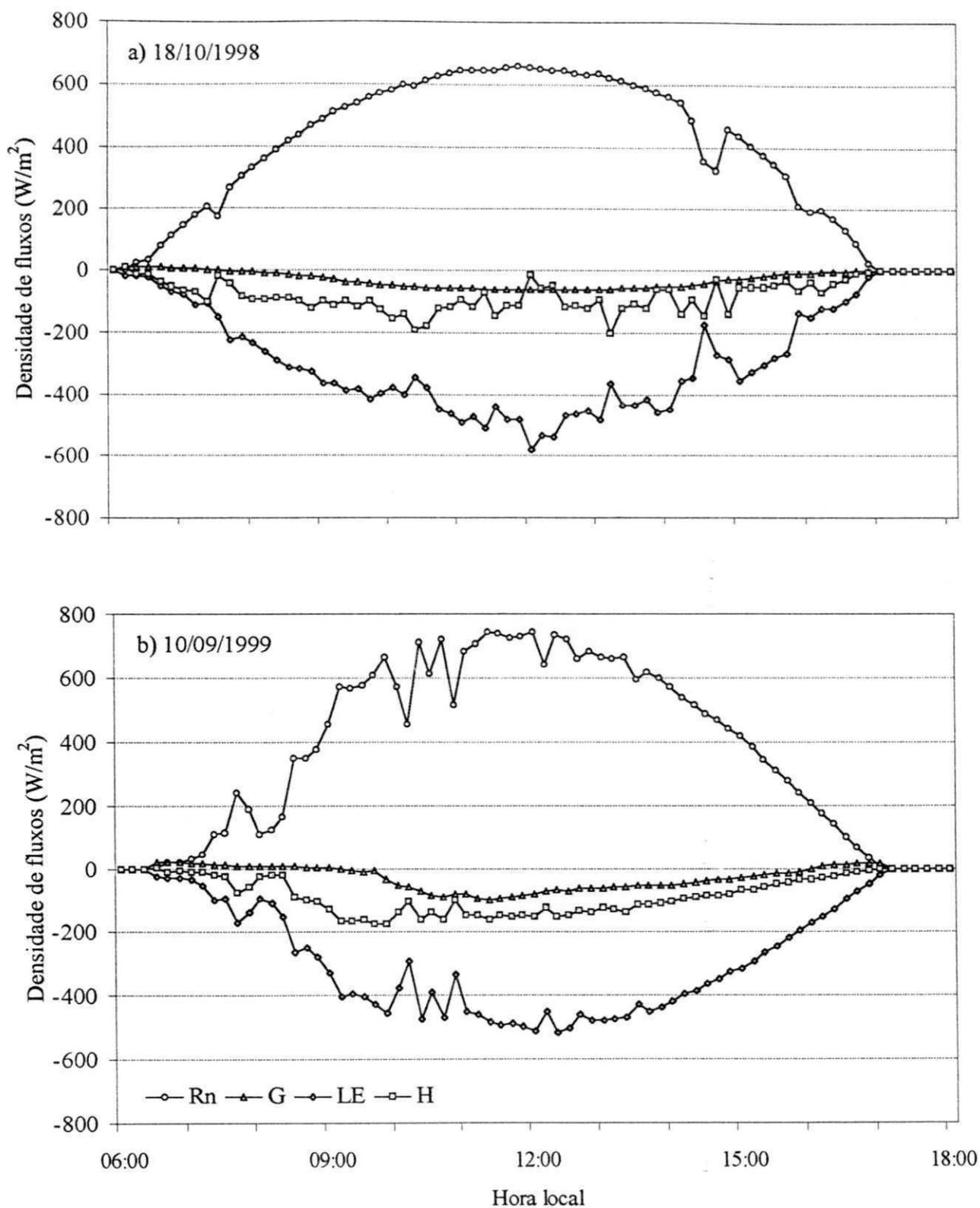


Figura 4.5 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 18/10/1998 e b) formação de frutos do pomar de mangueiras, em 10/09/1999, em Petrolina, Pe

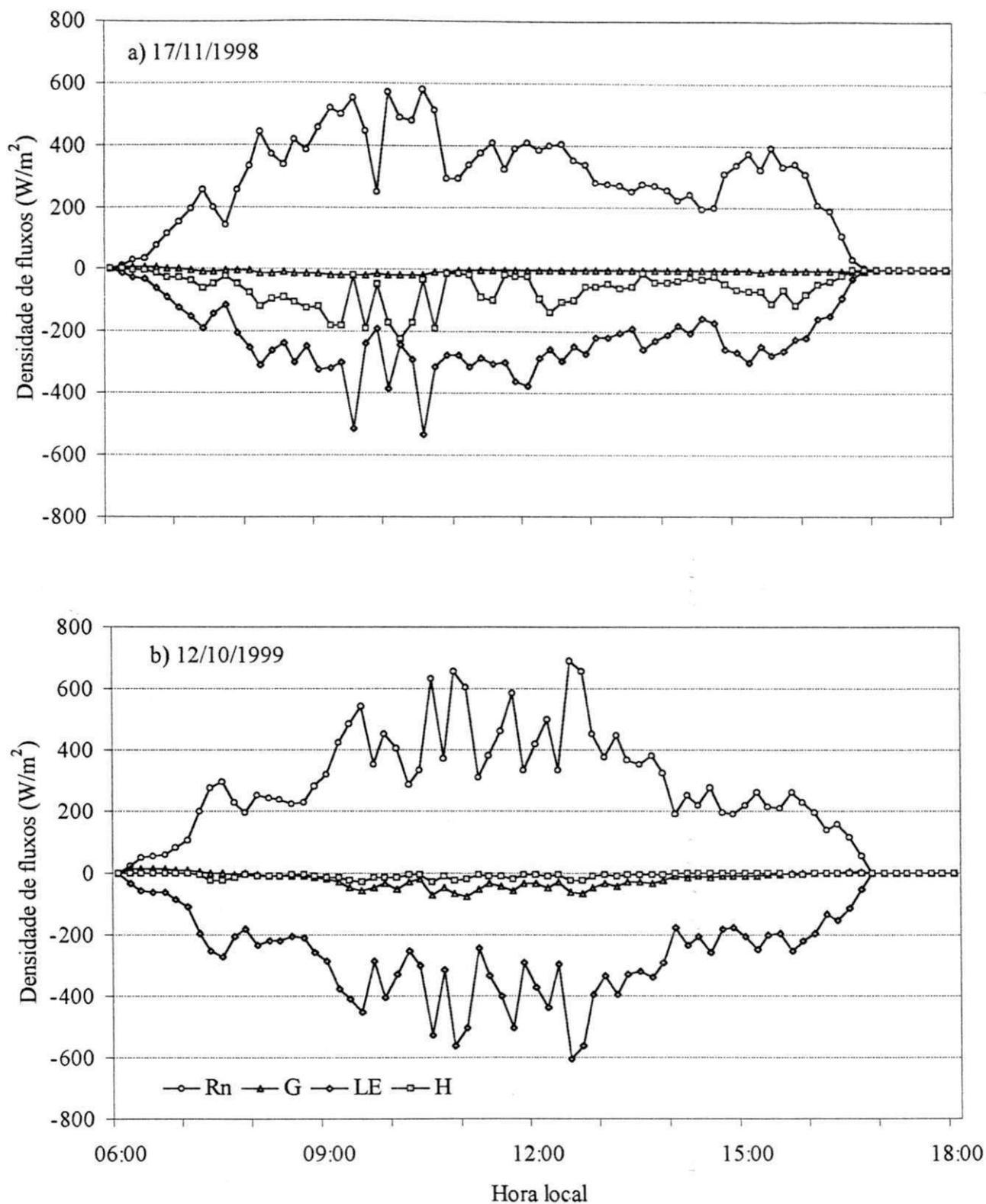


Figura 4.6 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 17/11/1998 e b) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 12/10/1999, em Petrolina, Pe

4.2.2 - Balanço de energia sob condições específicas de nebulosidade

A nebulosidade condiciona a ordem de magnitude do saldo de radiação e influencia outras variáveis atmosféricas, como a temperatura do ar e o transporte de vapor d'água. Assim, foram estabelecidas três faixas de demanda evaporativa, em função dos valores médios para o período de vinte dias do saldo de radiação: a) demanda baixa ($R_n \leq 250 \text{ W/m}^2$), condições típicas de total cobertura de nuvens ou de alta nebulosidade; b) moderada ($250 \text{ W/m}^2 < R_n < 350 \text{ W/m}^2$), caracterizada por nebulosidade média e c) alta ($R_n \geq 350 \text{ W/m}^2$), caracterizada por pouca ou nenhuma nebulosidade.

O comportamento diurno médio dos componentes do balanço de energia (R_n , LE, G e H) para condições de baixa, moderada e alta demanda evaporativa, é apresentado na Figura 4.8. Observa-se que o fluxo de calor latente apresentou comportamento simétrico ao do saldo de radiação, com valores mínimos no início e no final do período diurno e máximo em torno do meio-dia local, enquanto LE variou de acordo com a demanda evaporativa, de forma proporcional ao saldo de radiação.

Desde que bem calibrados, os saldos radiômetros e fluxímetros indicam medidas precisas do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo, respectivamente; no entanto, os gradientes de temperatura e umidade do ar podem apresentar valores inconsistentes, face a problemas de manutenção e calibração dos psicrômetros, inviabilizando a determinação dos fluxos de calor latente e sensível do ar e do solo. Desta forma e com vistas ao preenchimento de falhas na série de valores diários dos componentes do balanço de energia sobre o pomar de mangueiras em 1999, foram determinadas equações de estimativa do fluxo de calor latente em função do saldo de radiação para as três faixas de demanda evaporativa (Tabela 4.3). Procedimento semelhante foi utilizado por HOLSCHEER *et al.* (1997) que completaram os dados faltosos de LE, obtidos pelo método do balanço de energia, com base na fração evaporativa (LE/R_n) média de quatro meses anteriores à data em que tiveram início os problemas técnicos com os equipamentos. Observa-se, ainda, que o fluxo de LE pode ser obtido com precisão, visto que para baixa demanda o coeficiente de determinação foi 0,94, para demanda moderada foi 0,98 e para alta demanda evaporativa foi 0,99. Neste particular, ZHANG & LEMEAR (1995) observaram que o fluxo de calor latente responde fortemente pela incidência de radiação solar e que o déficit de pressão de vapor pode ser ignorado em condições atmosféricas estáveis e de pouca nebulosidade. Também baseados no princípio de que o fluxo de

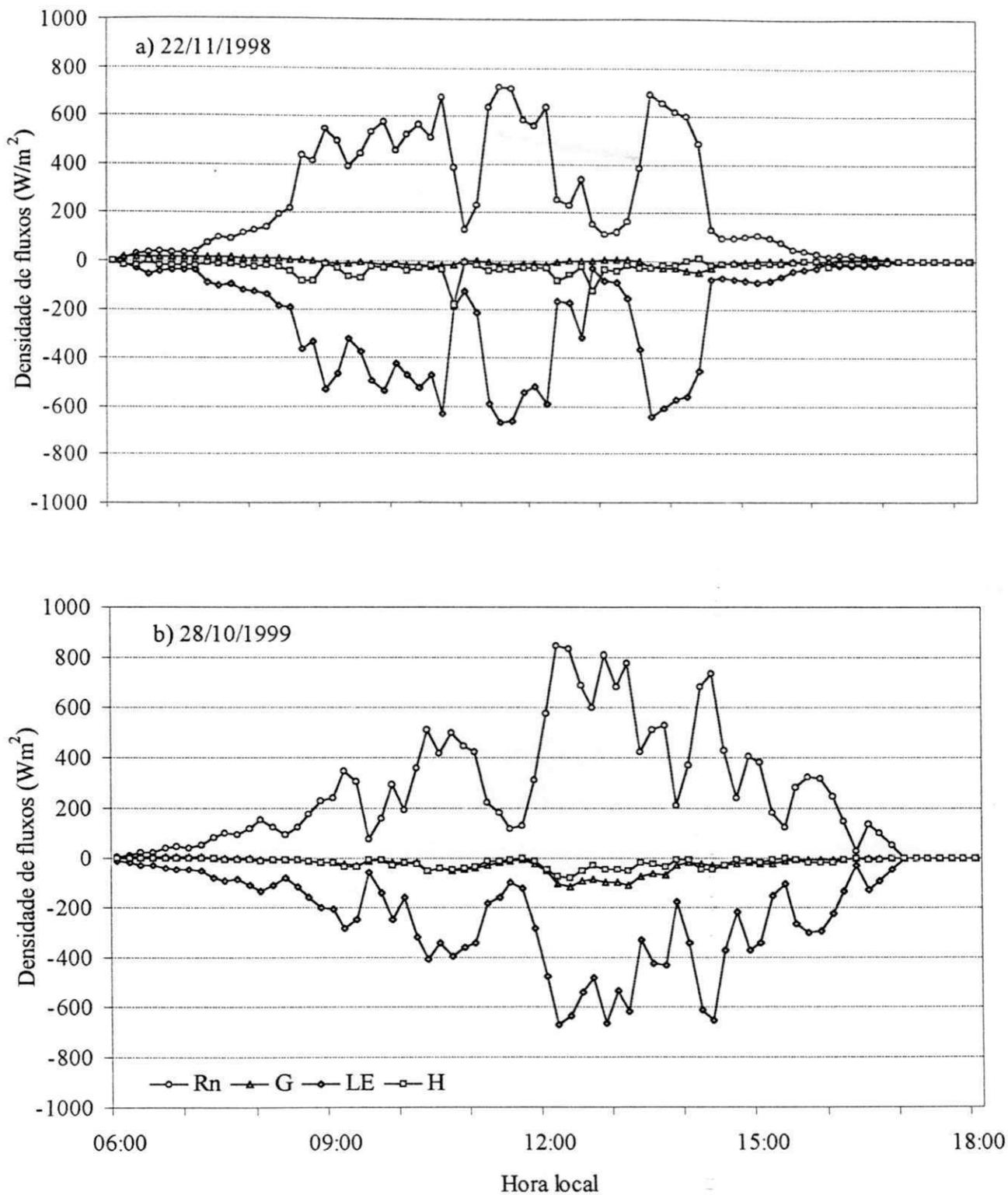


Figura 4.7 - Comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H): a) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 22/11/1998 e b) maturação de frutos do pomar de mangueiras, em 28/10/1999, em Petrolina, Pe

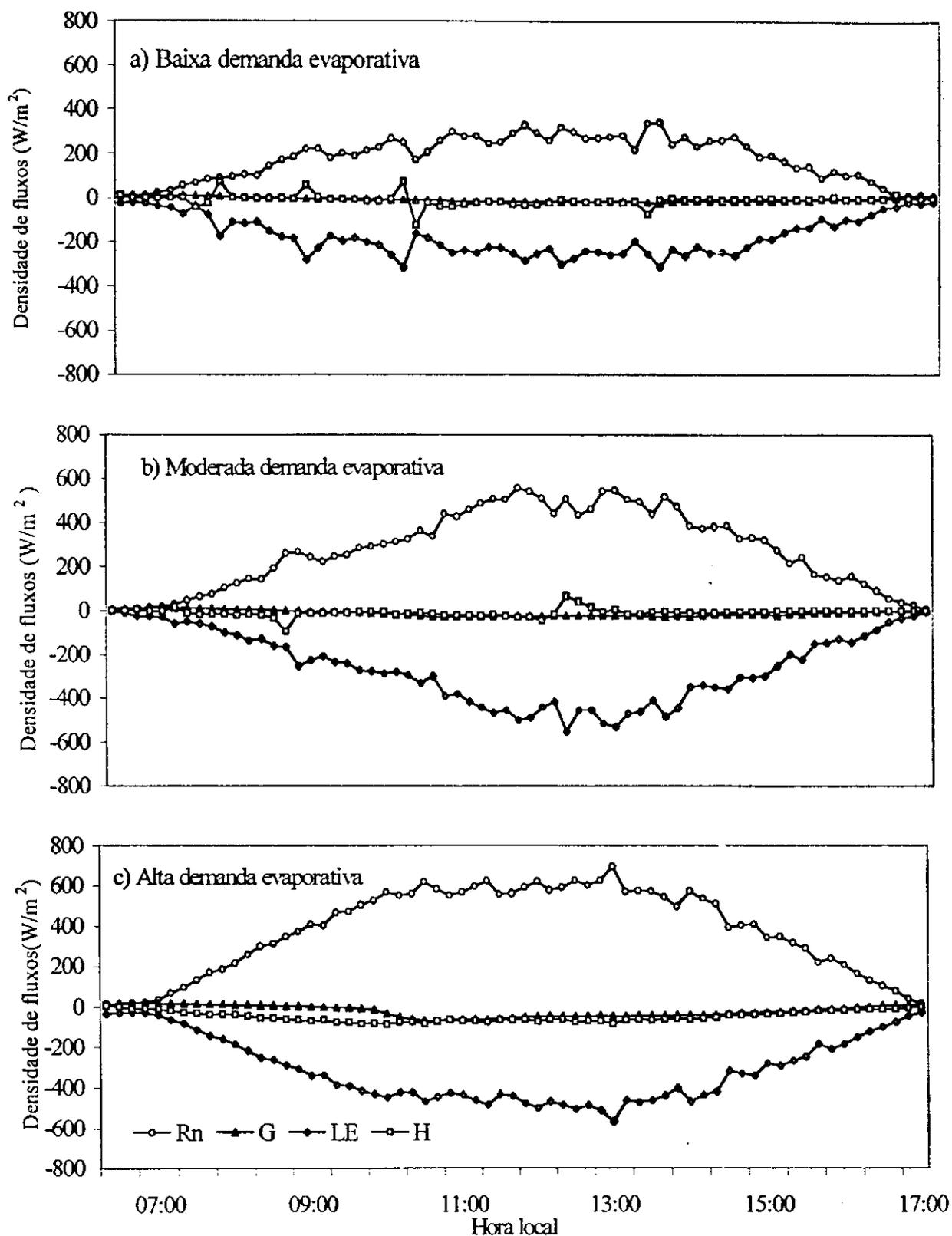


Figura 4.8 - Comportamento diurno médio dos fluxos de saldo de radiação (R_n), calor latente (LE), calor sensível do solo (G) e do ar (H), em condições atmosféricas de: a) baixa demanda, b) moderada demanda e c) alta demanda evaporativa sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999

calor latente segue o mesmo curso da radiação solar, JACKSON *et al.* (1983) e SUGITA & BRUTSAERT (1991) determinaram o fluxo de calor latente com base na similaridade com outros componentes do balanço de energia. Por outro lado, GAY (1988) encontrou um coeficiente de determinação de 0,98 num modelo de estimativa do fluxo de calor latente, em função da energia disponível, gradiente de temperatura e velocidade do vento.

Tabela 4.3 - Equações de estimativa do fluxo de calor latente para três faixas de demanda energética e respectivas relações entre as densidades de fluxo sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999

Demanda evaporativa (W/m ²)	Equação de regressão	r ² (W/m ²)	ε _{yx} (W/m ²)	LE/R _n (%)	G/R _n (%)	H/R _n (%)
Baixa (R _n ≤ 250)	LE = -18,177 - 0,843 R _n	0,94	20,7	94,1	2,9	03,9
Moderada (250 < R _n < 350)	LE = - 2,218 - 0,922 R _n	0,98	18,0	93,0	3,9	03,2
Alta (R _n ≥ 350)	LE = -18,772 - 0,766 R _n	0,99	09,0	81,6	5,6	12,8

r² = Coeficiente de determinação, ε_{yx} = Erro padrão de estimativa

4.2.3 - Análise do comportamento da razão de Bowen

O curso diurno da razão de Bowen em condições atmosféricas de baixa, moderada e alta demanda evaporativa, obtido com base na média de vinte balanços de energia para cada demanda, é apreentado na Figura 4.9. Observa-se que para condições atmosféricas de baixa demanda evaporativa (Figura 4.9a) a razão de Bowen atinge valores positivos no início do período diurno, em torno do meio-dia e antes do anoitecer e negativos nos períodos intermediários, caracterizando que em alguns instantes do dia houve transferência de energia do meio para o sistema solo-planta. Por outro lado, em condições atmosféricas de alta demanda evaporativa (Figura 4.9c) a razão de Bowen manteve-se positiva durante todo o período diurno, exceto logo após ao amanhecer quando o ar atmosférico geralmente é estável, assim como durante à noite. Comportamento semelhante também é observado em dias específicos ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, conforme evidencia a Figura 4.10, nas demandas evaporativas estudadas.

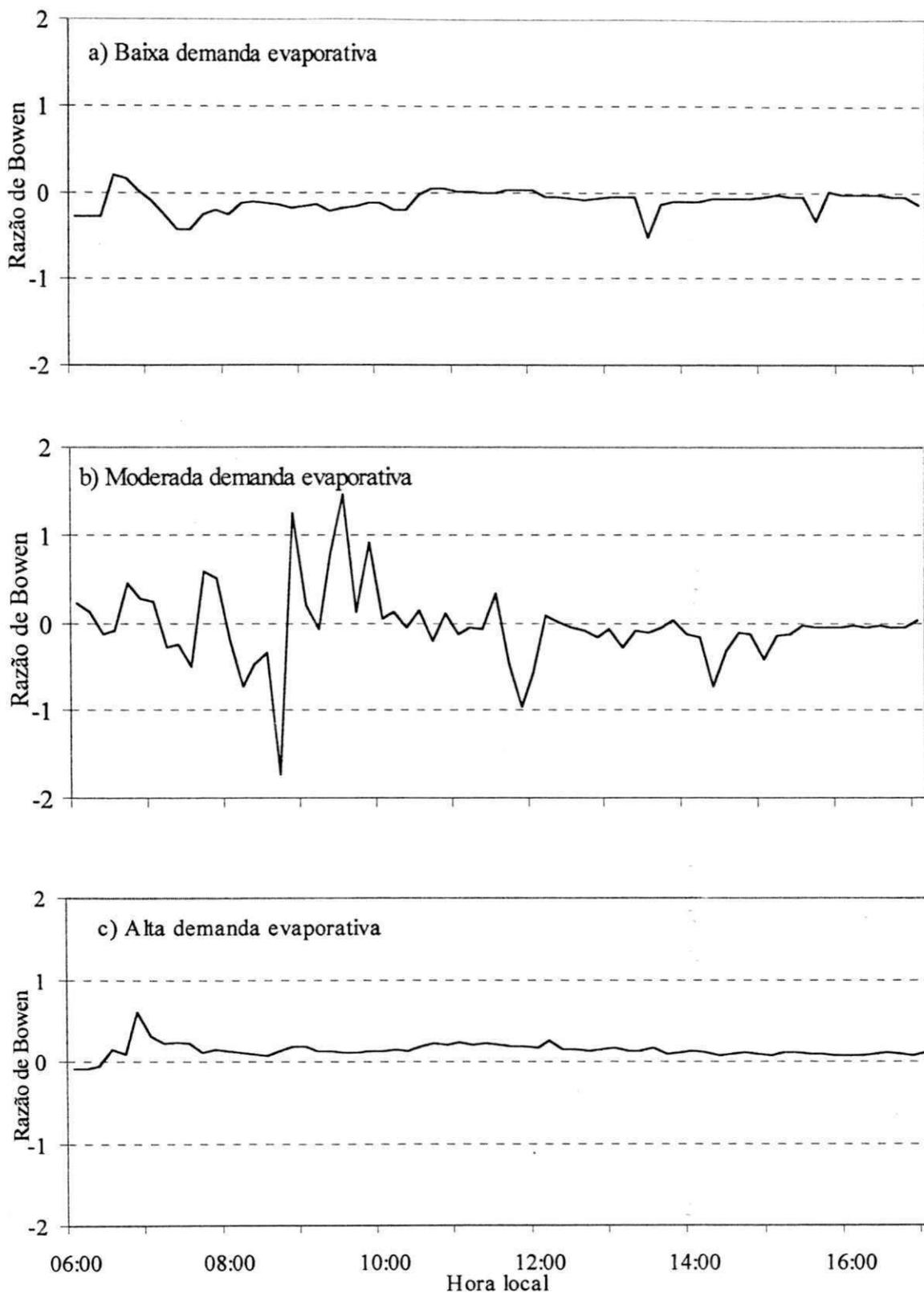


Figura 4.9 - Comportamento diurno da razão de Bowen em condições atmosféricas de: a) baixa demanda, b) moderada demanda e c) alta demanda evaporativa sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE, em 1999

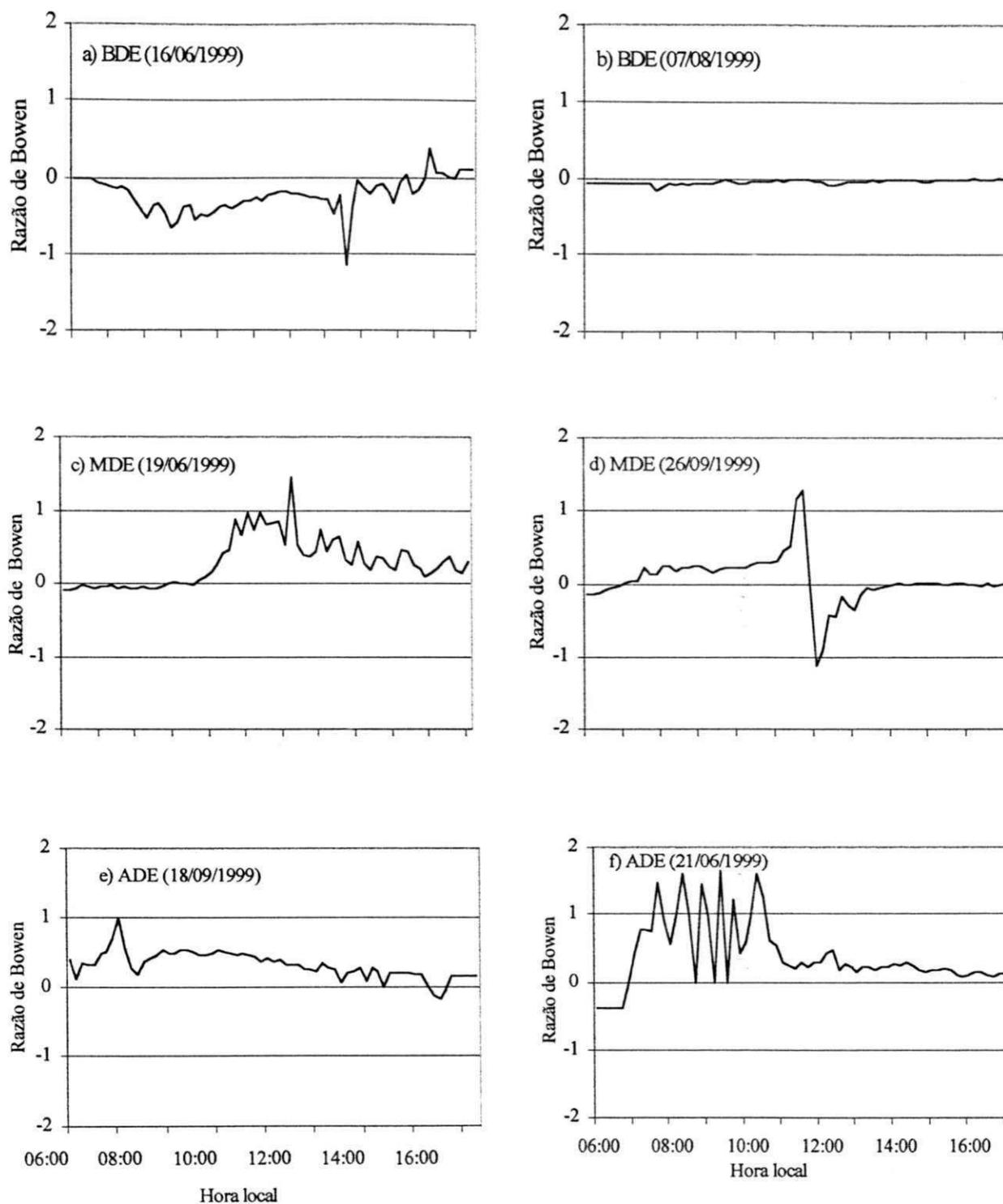


Figura 4.10 - Comportamento diurno da razão de Bowen em condições atmosféricas de baixa demanda evaporativa (BDE), moderada demanda evaporativa (MDE) e alta demanda evaporativa (ADE), nos dias: a) 16/06/1999, b) 07/08/1999, c) 19/06/1999 d) 26/09/1999, e) 18/09/1999 e f) 21/06/1999, sobre o pomar de mangueiras, em Petrolina, PE

Em condições de estabilidade atmosférica a temperatura aumenta com a altura, o sistema recebe energia (o fluxo de calor sensível é positivo) e a razão de Bowen é negativa. De acordo com a Figura 4.9b, em condições de moderada demanda evaporativa, a razão de Bowen apresenta-se bastante variável até meio-dia, com valores positivos e negativos alternados, para em seguida manter-se com valores positivos até o final do período diurno

4.2.4 - Partição dos componentes do balanço de energia

A partição média diária e semanal 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 4.4 e 4.5. 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, só foi possível elaborar-se o balanço de energia diário em 1998 apenas para alguns dias dos estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras.

Tabela 4.4 - Partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante 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	77,68	18,01	4,36

Em média, a partição 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% (Tabela 4.5), enquanto em 1998 foi de 77,68; 18,01 e 4,36% (Tabela 4.4), respectivamente. 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 TEIXEIRA *et al.* (1997), em estudo com a cultura da videira na região do Submédio São Francisco, que obtiveram 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 4.4) e no período de 1 a 28 de junho de 1999 (Tabela 4.5) ocorreram simultaneamente com alta velocidade do vento, registrada nesse período (Tabela 4.1). A média menor desta partição de fluxos em 1999 foi devida a utilização do $K_c = 1,0$, provocando maior umidade no solo e menor transferência de energia na forma de calor sensível.

Tabela 4.5 - Partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) durante 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	83,37	11,40	5,66

Os Quadros 4.1 e 4.2 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 fenológico de floração em 1998, visto que a coleta de dados somente teve início no estágio fenológico 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 fenológico de formação de frutos as plantas encontravam-se no máximo desenvolvimento vegetativo, com o peso do fruto aumentando quase linearmente com o tempo para, em seguida, no estágio fenológico de maturação, manter-se constante, embora com um consumo acentuado do saldo de radiação na liberação de fluxo de calor latente.

Quadro 4.1 - Valores médios instantâneos diários 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, em Petrolina, Pe

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 4.2 - Valores médios instantâneos diários 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, em Petrolina, Pe

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 partição de R_n em LE apresentou os maiores valores no estágio fenológico de maturação de frutos em 1998 (82,1%) e na queda 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 fenológicos de floração e maturação da cultura do trigo, os quais sugeriram a razão LE/R_n como indicador de demanda hídrica de culturas. 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 fenológico 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), em estudos realizados num pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', na região do Submédio São Francisco.

A porção do saldo de radiação utilizada como calor sensível foi maior em 1998 do 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 devido a redução da temperatura do ar, que neste ano foi 2 °C menor que em 1998. As baixas temperaturas registradas em 1999 resultaram numa redução do déficit de pressão de vapor e, por conseguinte, reduzida utilização de R_n em H. Ainda de acordo com os Quadros 4.1 e 4.2 e as Tabelas 4.4 e 4.5, durante os experimentos de 1998 e 1999 não ocorreram fontes secundárias de energia na forma de transporte horizontal de calor (advecção) visto que, nos períodos semanais ou nos estádios fenológicos, a energia disponível ($R_n + G$) não superou a energia utilizada no processo de evapotranspiração. 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 (Anexo 1) observa-se alguns dias em que LE foi superior a R_n , mas esses casos são poucos representativos para caracterizar uma região com fonte advectiva de energia acentuada.

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 4.11 e 4.12, 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 4.11), principalmente os fluxos de calor sensível do ar e do solo, que se mantiveram praticamente constantes durante todo o 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 e sem nenhuma tendência aparente. Neste ano, os fluxos de calor no solo e sensível foram mais variados e com menores intensidades do 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/m^2 , 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/m^2 . 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/m^2 . 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 do que em 1998, sendo que este último se manteve negativo durante o período de realização do experimento, nos anos de 1998 e 1999 (Figuras 4.11 e 4.12). 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.

4.3 - Evapotranspiração do pomar de mangueiras

4.3.1 - Método do balanço de energia

A evapotranspiração diária ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, obtida pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, em 1999, é apresentada na Figura 4.13. A evapotranspiração diária variou de 3,0 mm/dia, no início da floração, a 5,5 mm/dia durante a formação de frutos; decresceu para 3,7 mm/dia

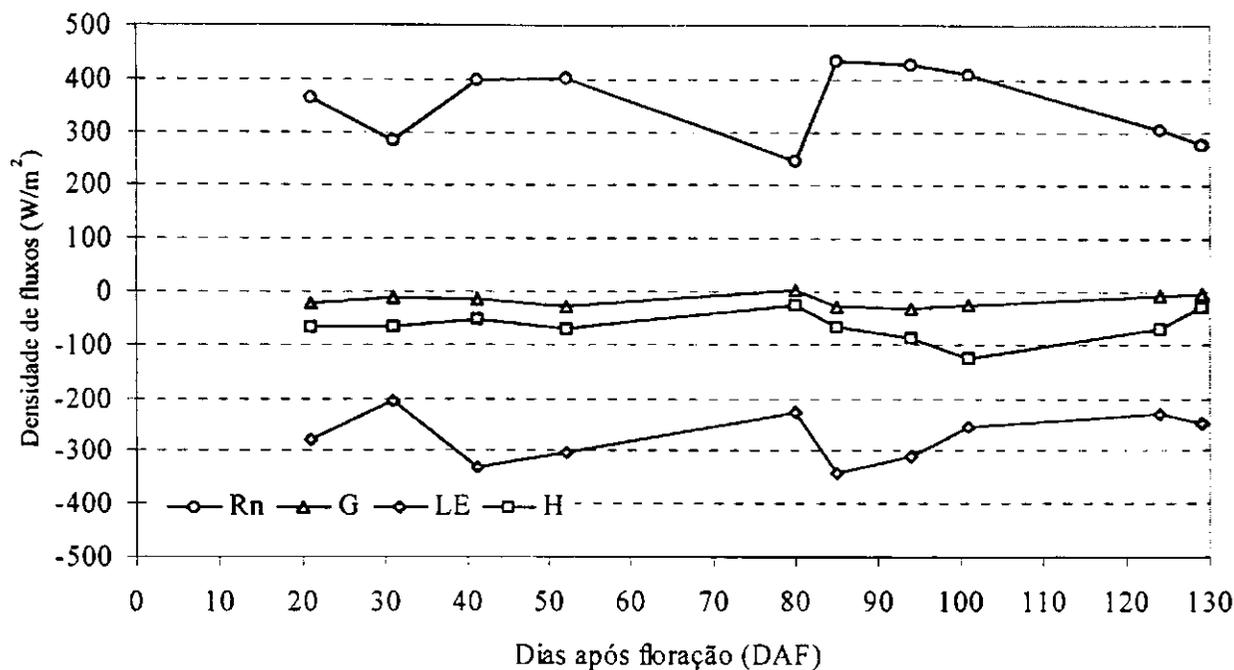


Figura 4.11 - Comportamento das médias diárias do saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1998

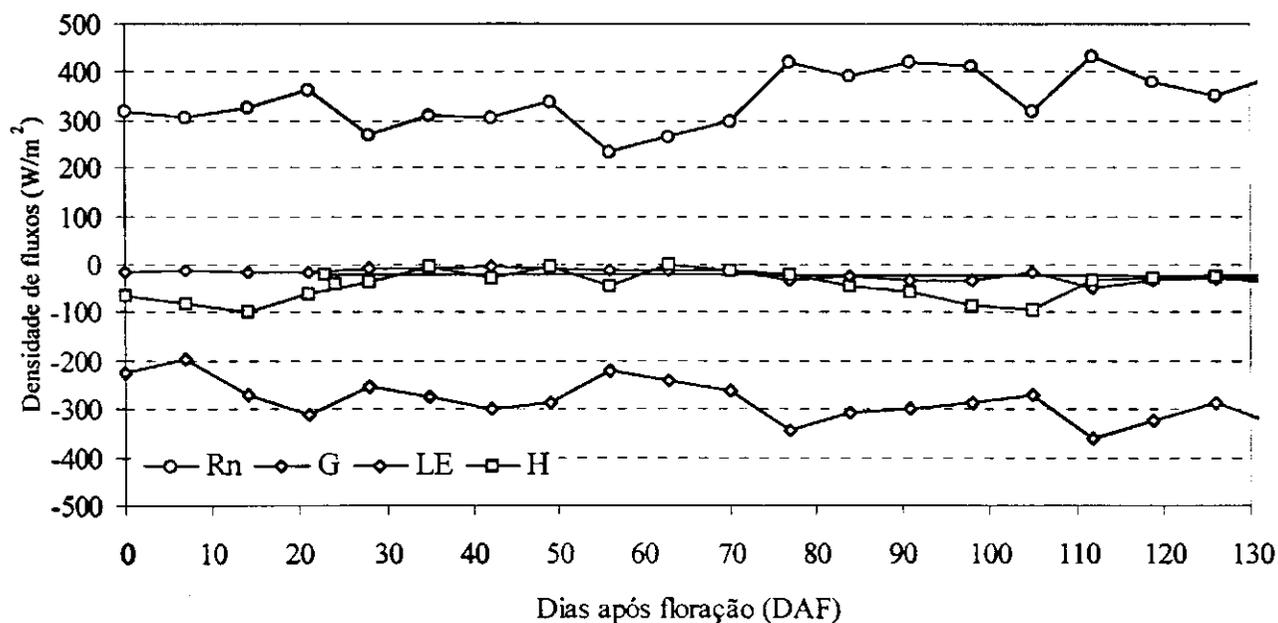


Figura 4.12 - Comportamento das médias diárias do saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, ano de 1999

no início do estágio fenológico de maturação, devido ao total pluviométrico registrado no período e, em seguida, apresentou tendência crescente acentuada, chegando a superar a taxa de 5,0 mm/dia no final desse estágio fenológico.

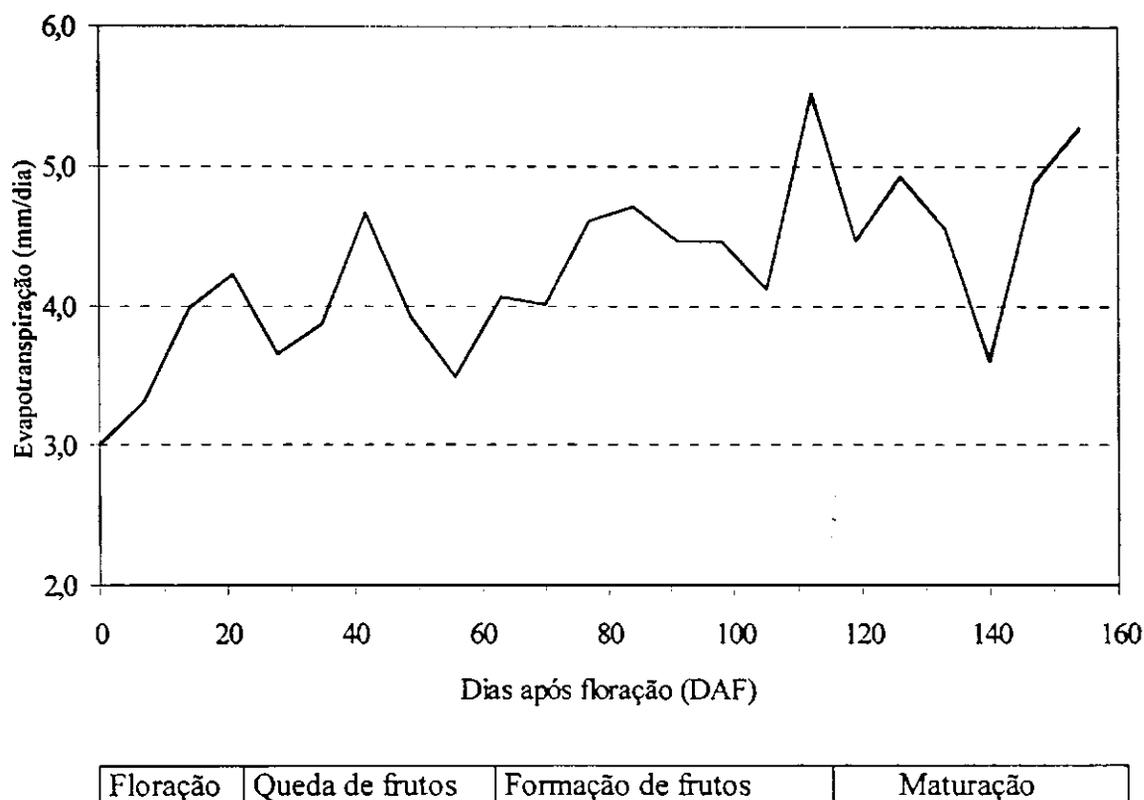


Figura 4.13 - Comportamento da evapotranspiração durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999, obtido pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen

No estudo do balanço de energia em 1999 foi analisada a resposta dos psicrômetros às pequenas variações dos gradientes de temperatura dos bulbos seco e úmido. O distanciamento entre os níveis de instalação dos psicrômetros, inferior a 1,4m, não produziu gradientes consistentes de temperatura e umidade, face à presença frequente de estabilidade atmosférica registrada pelos instrumentos quando, na maioria das vezes, essa condição era irreal. Resultado similar foi obtido por UNLAND *et al.* (1996) que, aplicando o BERB em florestas, observaram gradientes de temperatura muito pequenos. Nesse estudo, os autores somente obtiveram gradientes adequados quando os psicrômetros foram distanciados 3m acima da copa da plantas. A combinação desses resultados permitiu estabelecer-se que a utilização do método do BERB, na determinação da evapotranspiração

de plantas de grande porte, a distância vertical entre psicrômetros deve ser determinada em função da altura do dossel vegetativo, da uniformidade da copa da planta e do “fetch”.

Em 1999, a torre micrometeorológica foi localizada numa área homogênea, protegida por um quebra-ventos natural, formado por árvores de grande porte localizadas na direção predominante do vento (sudeste). Desta forma, com a redução da radiação solar disponível, houve, também, redução do aquecimento do sistema solo-planta-atmosfera e no processo de transferência de calor latente, resultando numa transferência menor de calor sensível e numa contribuição também menor da advecção. Estes resultados são confirmados pelos dados apresentados no Quadro 4.2, em que as taxas de calor sensível foram em 1999 menores do que em 1998.

4.3.2 - Método do balanço hídrico no solo

Os coeficientes das funções paramétricas de retenção de água no solo de van GENUCHTEN (1980), condutividade hidráulica saturada e densidade aparente do solo nas profundidades de 20 a 200cm, são exibidos na Tabela 4.6. O Anexo 8 apresenta as curvas de retenção de água no solo, nas profundidades de 20 a 200cm. A condutividade hidráulica do solo saturado, no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, atingiu os maiores valores na camada de solo, compreendida entre 60 e 120cm, variando de 6,77 a 4,09 cm/h. O menor valor encontrado em todo o perfil foi de 1,72 cm/h na profundidade de 180cm e a média foi de 4,27 cm/h. Esses resultados condizem com aqueles obtidos por REICHARDT (1985) em que a condutividade hidráulica é maior em solos saturados do que em solos não saturados. A densidade aparente do solo apresentou máximo nas profundidades de 20 e 160cm (1,62 g/cm³) e mínimo na profundidade de 140cm (1,46 g/cm³).

Os componentes do balanço hídrico no solo dos experimentos de 1998 e 1999 são apresentados nas Tabelas 4.7 e 4.8, respectivamente, com a evapotranspiração corrigida pelo fator de correção (relação entre a área de molhamento e a área de projeção da copa da planta no solo). Esta correção, que em 1998 e 1999 foi, respectivamente, de 0,48 e 0,56, variou em função da vazão dos emissores, distanciamento das linhas de gotejadores e do desenvolvimento vegetativo, sendo que este último praticamente não apresentou nenhuma variação ao longo dos experimentos.

Os dados de tensiometria em 1998 não permitiram a determinação do BH no período de floração. Porém, de acordo com a Tabela 4.7, no período de 25/08 a 23/11/1998, a lâmina de irrigação, somada ao total pluviométrico, resultou em 800,3mm

d'água aplicada ao solo, enquanto a evapotranspiração no período foi de 411,4mm. O lençol freático contribuiu com 23,1mm na forma de ascensão capilar, predominantemente no período de 25/08 a 29/09/1998. Após essa data, apesar de pequena, ocorreu drenagem profunda até 23/11/1998. A evapotranspiração diária média foi de 4,6 mm/dia, com taxas mínimas no início e no final do período, respectivamente de 3,9 e 4,1 mm/dia, e máxima de 5,5 mm/dia na formação de frutos, que correspondeu ao período de maior desenvolvimento vegetativo das plantas.

Tabela 4.6 - Parâmetros da equação de van Genuchten e propriedades físicas do solo do perímetro irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE

Profundidades (cm)	Parâmetros de van Genuchten				Propriedades do solo		
	α	m	N	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_s (cm ³ /cm ³)	ρ_a (g/cm ³)	K_0 (cm/h)
20	0,0024	0,6936	3,2640	0,0450	0,1270	1,62	3,93
40	0,1321	0,3728	1,5945	0,0490	0,5510	1,58	3,97
60	0,0030	0,6265	2,6774	0,0610	0,1670	1,56	6,77
80	0,0251	0,4426	1,7941	0,0640	0,2930	1,49	6,65
100	0,0131	0,4193	1,7220	0,0740	0,2340	1,58	5,21
120	0,0111	0,4396	1,7843	0,0720	0,2420	1,54	4,09
140	0,0060	0,4962	1,9848	0,0660	0,2000	1,46	3,22
160	0,0133	0,4552	1,8356	0,0710	0,3110	1,62	3,89
180	0,0194	0,4306	1,7564	0,0710	0,3810	1,49	1,72
200	0,0221	0,4709	1,8899	0,0860	0,5010	1,58	3,33

θ_r e θ_s = Umidades residual e de saturação, ρ_a = Densidade aparente e K_0 condutividade hidráulica saturada do solo

Os valores da evapotranspiração do pomar de mangueiras em 1998 diferem daqueles obtidos em 1999 (Tabela 4.8), devido o período de elaboração do balanço ter sido mais longo, ou seja, de 31/05 a 15/11/1999, englobando todo o ciclo produtivo do pomar de mangueiras. Além disso, em 1998 as medições tensiométricas foram realizadas apenas uma vez por dia e a drenagem/ascensão capilar foi calculada para o mesmo período de elaboração do balanço (uma semana), fazendo com que o método apresentasse pouca precisão. O balanço hídrico no solo em 1999, elaborado para o mesmo período de 1998 (90 dias), indicou uma evapotranspiração média de 4,9 mm/dia.

Em 1999, a drenagem profunda totalizou 178,3mm e ascensão capilar apenas 2,7mm, enquanto a média semanal da irrigação foi de 54,5mm. Este aumento da drenagem foi atribuído ao aumento da vazão dos emissores de 3,1 para 4,1 l/h e, do coeficiente de cultura empregado, de 0,75 para 1,0, em 1999. O excesso d'água causado pela irrigação e precipitação pluvial em 1999 e não utilizado nos processos metabólicos da planta, foi depositado no lençol freático através da drenagem profunda.

Tabela 4.7 - Variação do armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A), evapotranspiração do pomar de mangueiras pelos métodos do balanço de energia - ET_c (BE) e pelo balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1998

Período	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (BE) (mm/dia)	ET_c (BH) (mm/dia)
25/08-01/09	3,8	64,0	0,0	6,5	5,2	5,1
02/09-08/09	4,9	51,1	0,0	0,3	4,6	3,9
09/09-15/09	-2,7	66,4	0,6	4,6	-	4,7
16/09-22/09	1,8	49,9	0,0	7,7	-	4,1
23/09-29/09	4,4	51,8	0,0	5,0	-	4,9
29/09-05/10	6,3	55,6	0,0	-0,8	3,6	4,2
06/10-13/10	6,4	73,3	0,0	-0,4	5,2	4,8
14/10-20/10	-2,3	74,7	0,0	1,5	4,8	5,1
21/10-27/10	1,7	78,5	0,0	-0,1	3,8	5,5
28/10-03/11	6,4	48,3	0,0	0,1	-	3,8
04/11-16/11	6,4	83,9	34,0	-0,3	-	4,6
17/11-23/11	-6,9	49,8	18,4	-1,0	3,5	4,1
Média	2,5	62,3	4,4	1,9	4,4	4,6

Em 1999, a evapotranspiração do pomar de mangueiras aumentou sistematicamente de 2,4 mm/dia, no início da floração, quando ainda não tinha sido iniciada a irrigação, para 7,9 mm/dia, no final da formação de frutos, decrescendo, em seguida, para atingir 3,5 mm/dia no estágio fenológico de maturação de frutos (Tabela 4.8). A drenagem profunda atingiu os valores mais elevados, que variaram de 22,8 a 12,6 mm/semana, com máximo de 31,1 mm/semana, no período de 03 de agosto a 13 de

setembro. Os valores elevados da drenagem profunda, observados nesse período, foram devidos à baixa demanda energética registrada na região, conforme evidencia a Tabela 4.1. AVILA NETTO (1997) encontrou uma contribuição máxima do lençol freático, da ordem

Tabela 4.8 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras pelos métodos do balanço de energia - ET_c (BE) e pelo balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1999

Período	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (BE) (mm/dia)	ET_c (BH) (mm/dia)
31/05-17/06	34,0	0,0	0	1,0	3,2	2,1
18/06-29/06	26,5	0,0	0	0,0	3,7	2,4
30/06-12/07	6,1	25,8	0,4	1,0	3,9	2,8
13/07-19/07	-18,9	55,7	1,2	0,7	3,9	3,1
20/07-26/07	-22,5	64,6	0,5	-5,2	4,3	3,0
27/07-02/08	-14,8	75,1	0	-4,1	4,2	4,5
03/08-09/08	-0,9	66,1	1,1	-22,6	3,3	3,5
10/08-16/08	12,7	61,1	0	-23,5	4,1	4,0
17/08-23/08	-7,0	78,5	0,2	-24,5	3,8	3,8
24/08-30/08	-3,3	75,5	0	-31,1	5,2	3,3
31/08-06/09	12,2	81,3	0	-20,2	4,6	5,9
07/09-13/09	10,4	52,7	0	-12,6	4,6	4,0
14/09-20/09	19,2	44,7	0	-7,5	4,3	4,5
21/09-27/09	-1,1	34,0	30,4	-3,1	4,1	4,8
28/09-04/10	-3,0	54,4	0	-6,4	5,5	3,6
05/10-11/10	10,2	73,9	4	-3,9	4,9	7,9
12/10-18/10	6,0	60,7	8	-3,3	4,4	5,7
19/10-25/10	1,4	71,3	0	-1,8	5,1	5,7
26/10-01/11	-5,8	73,2	6,3	-4,3	3,2	5,5
02/11-08/11	4,4	45,3	0	-2,9	4,6	3,7
09/11-15/11	-0,7	50,6	0	-1,3	5,2	3,5
Média	3,1	54,5	2,5	-8,4	4,3	4,1

de 7,9 mm/semana, nos subperíodos de chubinho e de desenvolvimento de baga da videira, cultivada no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE. Esses valores são conflitantes com aqueles obtidos para a mangueira em 1998 (Tabela 4.7) nas mesmas condições de solo e clima da região do Submédio São Francisco.

Em 1998, a ascensão capilar e a drenagem representaram, respectivamente, 3,21 e 0,32% da lâmina total aplicada no mangueiral, através de irrigação e precipitação, enquanto em 1999 o fluxo ascendente foi de 0,23% e a drenagem profunda 16% da lâmina total de água aplicada ao solo. Esses resultados sugerem que a lâmina de irrigação aplicada em 1998 foi insuficiente para atender às necessidades evapotranspiratórias da mangueira; no entanto, em 1999, com $K_c = 1,0$, ocorreu drenagem acentuada em praticamente todo o ciclo produtivo, exceto no período anterior à irrigação. Mesmo para períodos semanais, de acordo com a disponibilidade dos dados de umidade do solo, o balanço hídrico no solo é mais preciso quando a drenagem profunda e a ascensão capilar são obtidas para períodos iguais ou inferiores a um dia (LIBARDI, 1995).

O fluxo d'água na zona de raízes da planta e o conteúdo de umidade no solo estão ligados à demanda energética, a qual é responsável pela alimentação do sistema solo-planta-atmosfera. Em períodos de baixa demanda energética, durante os experimentos de campo, o pomar de mangueiras reduziu a taxa evapotranspiratória e a água excedente drenou para o lençol freático, enquanto em períodos de alta demanda a planta extraiu água do solo, quando necessário, até mesmo do lençol freático, para atender suas exigências metabólicas.

Durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1999 (de 10/06 a 09/11/1999) a evapotranspiração totalizou 612,4mm, com uma média de 4,0 mm/dia. A lâmina d'água aplicada ao solo por irrigação foi de 1106,5mm e a pluviometria no período foi de 52,7mm. A drenagem profunda para o lençol freático no período estudado foi de 175,3mm, com valores mínimo no início e final do ciclo produtivo e máximo na fase intermediária.

4.3.3 - Comparação de métodos de determinação da evapotranspiração

No período estudado em 1998, a evapotranspiração média do pomar de mangueiras, pelo método do balanço hídrico no solo, foi de 4,6 mm/dia e pelo balanço de energia 4,4 mm/dia, com máximos de 5,5 mm/dia na formação de frutos (Tabela 4.7). O balanço hídrico superestimou levemente, em média, o balanço de energia, em 4,3%;

porém, esse resultado deve ser visto com cautela devido ao reduzido número de BE utilizado na determinação da média do período estudado. Os métodos utilizados na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras, nos dois anos de experimento, indicaram tendência crescente, desde a floração até a formação de frutos, e leve declínio na maturação de frutos. O consumo hídrico total durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras foi, em 1999, de 612,42 e 642,88mm, respectivamente, pelos métodos do BH e BE, tendo este último superestimado o BH em aproximadamente 4,73% (Tabela 4.8). A evapotranspiração diária média foi de 4,1 mm/dia e 4,3 mm/dia, respectivamente, pelos métodos do BH e BE. PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) observaram que o método do BH aplicado na determinação da evapotranspiração de floresta subestimou o balanço de energia, em 1%. Por outro lado, AVILA NETTO (1997) analisando o comportamento da evapotranspiração da videira no mesmo perímetro irrigado, observou que o BH superestimou o BE, em 24,95%.

As taxas médias diárias da evapotranspiração ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1998 e 1999, são apresentadas na Tabela 4.9. A taxa média em 1998, obtida pelo BH, foi de 4,57 mm/dia e pelo BE, foi de 4,39 mm/dia; já em 1999, a taxa média da evapotranspiração estimada pelo BH (3,52 mm/dia) foi menor que aquela estimada pelo BE (4,19 mm/dia).

Tabela 4.9 - Evapotranspiração média durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, pelos métodos do balanço de energia (BE) e balanço hídrico no solo (BH) em 1998 e 1999

Estádio fenológicos	Ano: 1998			Ano: 1999		
	Períodos	ET _c (BE) (mm/dia)	ET _c (BH) (mm/dia)	Períodos	ET _c (BE) (mm/dia)	ET _c (BH) (mm/dia)
Floração	16/07-04/08	-	-	10/06-30/06	3,52	2,29
Queda de frutos	05/08-13/09	4,26	4,60	01/07-09/08	3,84	3,19
Formação de frutos	14/09-02/11	4,44	4,70	10/08-30/09	4,49	3,99
Maturação	03/11-01/12	4,46	4,40	01/10-09/11	4,90	4,60
Média	-	4,39	4,57	-	4,19	3,52

Observa-se, ainda, que em 1998 o BH superestimou o BE durante a queda de frutos, a formação de frutos e em todo o ciclo produtivo, enquanto que apenas no

estádio fenológico de maturação de frutos, o BH apresentou valores inferiores aos do BE, todavia, bastante próximos. Resultados semelhantes foram observados por: MALEK & BINGHAM (1993), PHERSSON & PETTERSON (1997) e AVILA NETTO (1997). Em 1999, o BH subestimou o BE em todas as etapas fenológicas, assim como, em todo o ciclo produtivo do pomar de mangueiras. Entretanto, a superestimativa do BE pelo BH em 1998 e subestimativa em 1999 pode ser atribuída à localização da torre micrometeorológica, que em 1998 foi localizada numa área aberta, livre de obstáculos e com falhas no plantio.

O relacionamento da evapotranspiração, obtida pelos métodos do balanço de energia e balanço hídrico no solo, é exibido na Figura 4.14. A análise de regressão evidenciou uma fraca correlação entre os métodos de determinação da evapotranspiração, expressa por: $ET_c(\text{BH}) = 2,97 + 0,31 ET_c(\text{BE})$ e $r^2 = 0,47$. Comparando os valores da ET_c , obtidos pelos métodos do balanço de energia e balanço hídrico no solo, MALEK & BINGHAM (1993) encontraram um coeficiente de determinação de 0,98; por outro lado, DAAMEN *et al.* (1999) obtiveram bom ajuste entre os métodos das correlações turbulentas e do balanço de energia.

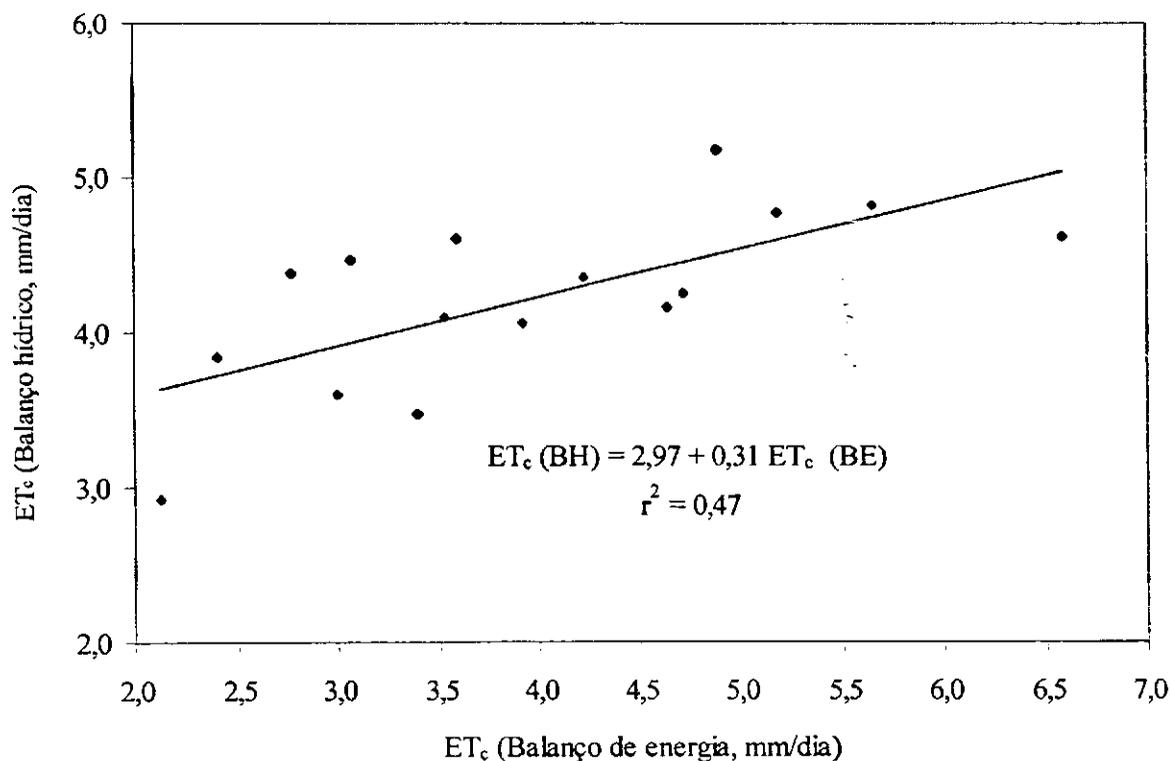


Figura 4.14 - Relacionamento entre os métodos dos balanços de energia e hídrico no solo, utilizados na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999

4.3.4 - Análise de erros

4.3.4.1 - Método do balanço hídrico no solo

Os somatórios dos componentes do balanço hídrico no solo em 1999 e o percentual de erros, por período de realização do balanço, são apresentados no Quadro 4.3. Observa-se que o maior nível de erro foi associado ao balanço hídrico realizado para períodos de um dia. Quando o balanço hídrico no solo foi realizado para períodos intermediários de 2, 3 e 5 dias, o percentual de erro atribuído ao método foi de 16,42; 17,43 e 20,50%, respectivamente, o qual não decresceu necessariamente com o aumento do período de elaboração do balanço, porém se manteve em nível elevado. Entretanto, quando o balanço hídrico foi realizado para períodos iguais ou superiores a uma semana (7, 10 e 15 dias) o percentual de erro manteve-se bastante reduzido, variando de 8,02 a 6,99%. MICKSON *et al.* (1997) utilizando a mesma metodologia, encontraram um nível de erro na elaboração do balanço hídrico, aplicado num plantio de hortaliças, variando de 0,47 a 45,6%, em condições variadas de tratamento, o qual foi atribuído às incertezas das medições tensiométricas.

Quadro 4.3 - Erro percentual $\varepsilon(\%)$, por período de realização do balanço hídrico no solo, conteúdo de umidade no solo nos instantes inicial (ST_0) e final (ST_f), precipitação pluvial e/ou irrigação (ΣR_j), drenagem/ascensão (ΣQ_j) e evapotranspiração (ΣET_c) acumulada no período de 13/07 a 11/11/1999

Períodos	ST_0 (mm)	ST_f (mm)	ΣR_j (mm)	ΣQ_j (mm)	ΣET_c (mm)	$\varepsilon(\%)$
1 dia	252,0	258,7	1134,9	177,70	842,60	41,70
2 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	908,00	16,42
3 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	905,40	17,43
5 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	897,45	20,50
7 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	971,27	8,02
10 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	968,73	7,05
15 dias	252,0	258,7	1134,9	177,70	968,60	6,99

Os Anexos 2 a 7 exibem a evapotranspiração do pomar de mangueiras calculada pelo método do balanço hídrico no solo, para períodos de 1, 2, 3, 5, 10 e 15 dias. Os valores inconsistentes foram substituídos por VI, os quais ocorreram nos balanços

hídricos de 1, 2 e 5 dias, sendo mais freqüentes quando elaborados para o período de 1 dia. Muito embora o balanço hídrico elaborado para períodos superiores a uma semana tenha exibido um percentual de erro inferior, foi utilizado o período de sete dias na determinação da ET_c , com vistas à determinação do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras. A utilização de períodos maiores pode não contemplar as alterações fenológicas dos estádios fenológicos do ciclo produtivo da planta.

O balanço hídrico no solo, face ao baixo nível de erro associado ao método, mostrou-se eficiente na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras quando elaborado para período de sete dias ou mais. Resultados similares foram encontrados por TRAMBOUZE *et al.* (1998), os quais com a videira observaram que o método do balanço hídrico no solo somente oferece determinações precisas da evapotranspiração quando elaborado para períodos mínimos de uma semana.

Para períodos inferiores a uma semana, as medições tensiométricas podem não refletir efetivamente o volume d'água armazenado no solo, devido: (i) a resposta lenta dos tensiômetros, face o tempo necessário para a cápsula porosa do instrumento entrar em equilíbrio com o solo, e (ii) os tensiômetros não acusam variações de umidade quando o teor de água no solo está acima da capacidade de campo, situação mais freqüentes nas primeiras camadas de solo, logo após a irrigação. Por estas razões, o balanço hídrico no solo elaborado para os períodos de 1, 2, 3 e 5 dias, apresentou erros apreciáveis, sugerindo que o método não funciona adequadamente para períodos curtos, nas condições de clima e solo da região do Submédio São Francisco. PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) observaram que o período máximo para aplicação do balanço hídrico, com confiabilidade de 90%, é de treze dias e que a probabilidade de erros é menor para períodos com pouca precipitação e alta taxa evaporativa.

4.3.4.2 - Método do balanço de energia

A análise de erros no cálculo da razão de Bowen (β) e do fluxo de calor latente (LE) obtida pelo método do balanço de energia sobre o pomar de mangueiras, em condições de demanda evaporativa variada, é apresentada no Quadro 4.4. Observa-se que o erro percentual no cálculo do fluxo de calor latente variou de 14,0%, em condições atmosféricas de baixa demanda evaporativa, a 40,9%, em condições de alta demanda evaporativa, e valores intermediários em torno de 24%, em condições de moderada demanda evaporativa.

Quadro 4.4 - Erros absolutos da razão de Bowen ($\epsilon\beta$) e do fluxo de calor latente (ϵLE), obtidos em função dos gradientes de temperatura de bulbo seco (ΔT_s) e bulbo úmido (ΔT_u) na elaboração do balanço de energia sobre o pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999

Demanda evaporativa (W/m^2)	Data	ΔT_s ($^{\circ}C$)	ΔT_u ($^{\circ}C$)	$\epsilon\beta$ (%)	ϵLE (%)
Baixa ($R_n \leq 250$)	17/07/1999	-0,23	-0,91	2,2	14,0
	26/10/1999	-0,33	-0,27	1,4	20,6
Moderada ($250 < R_n < 350$)	18/07/1999	-0,42	-1,96	2,4	24,8
	30/07/1999	-0,39	-1,54	2,7	24,7
Alta ($R_n \geq 350$)	15/07/1999	-0,76	-2,28	4,4	35,2
	29/08/1999	-0,77	-1,88	3,2	40,9

O erro absoluto no cálculo do fluxo de calor latente foi fortemente influenciado pela magnitude dos gradientes de temperatura e pelo erro absoluto na obtenção da razão de Bowen. As maiores diferenças de temperatura de bulbo úmido (-2,28 e -1,88 $^{\circ}C$) associadas às altas percentagens de erros na razão de Bowen (4,4 e 3,2%) no período de alta demanda evaporativa, produziram os maiores erros no fluxo de calor latente, 35,2 e 40,9%, respectivamente. Entretanto, no período de baixa demanda evaporativa os erros ϵLE foram os menores de todo o período analisado (14,0 e 20,6%) devido aos baixos valores dos gradientes de temperatura e dos erros na razão de Bowen nos períodos correspondentes. Estes resultados sugerem que o balanço de energia oferece mais precisão na determinação de evapotranspiração em condições atmosféricas nas quais os gradientes de temperatura são mínimos, visto que a aproximação de derivada parcial para diferença finita se aproxima da condição de continuidade exigida pelo componente vertical do vetor gradiente. Neste contexto, PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) encontraram um nível de erro no BERB, variando de 15 a 27,6% e de 9,7 a 14,8%, para as diferenças de temperatura de 0,01 e 0,005 $^{\circ}C$, respectivamente.

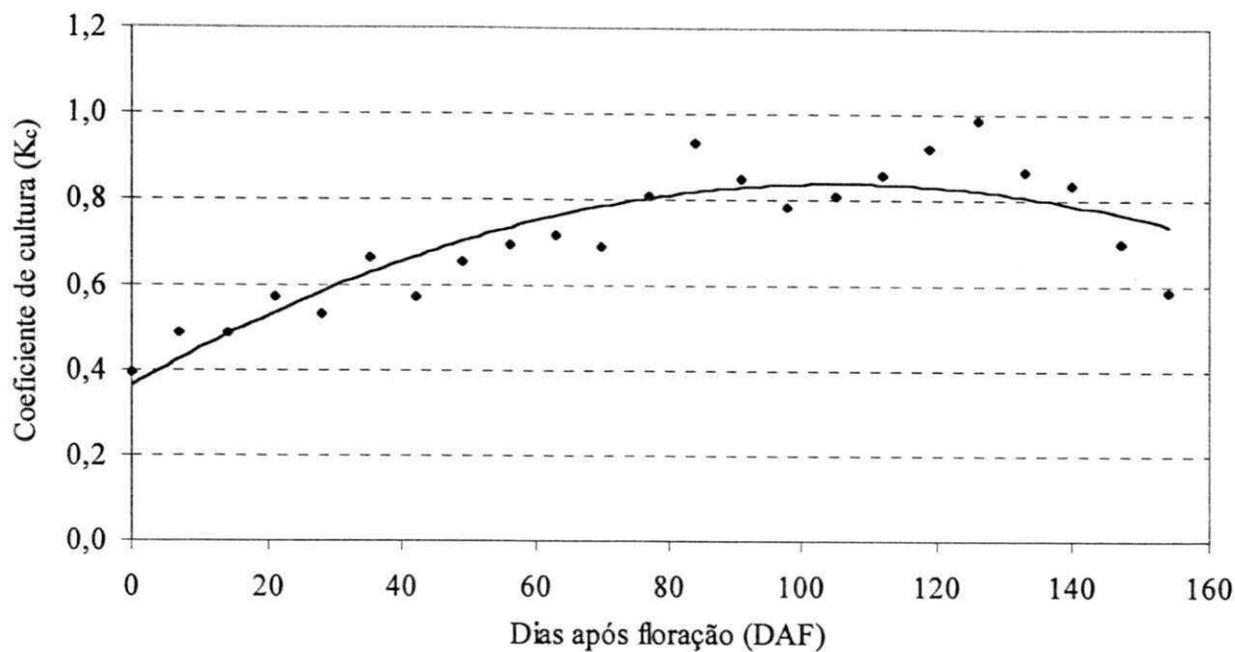
4.4 - Curva característica do coeficiente de cultura para o pomar de mangueiras

Os valores obtidos do coeficiente de cultura (K_c) para o pomar de mangueiras utilizando-se, na determinação da evapotranspiração, os métodos do balanço hídrico no solo e do balanço de energia, são apresentados nas Figuras 4.15 e 4.16,

respectivamente. A função de ajuste do K_c , obtida pelo método do balanço hídrico no solo em função do número de Dias Após a Floração (DAF) foi a seguinte: $K_c = 0,36 + 0,009(\text{DAF}) - 4 \times 10^{-5}(\text{DAF})^2$ com $r^2 = 0,79$ e pelo método do balanço de energia foi: $K_c = 0,71 + 0,001(\text{DAF}) - 8 \times 10^{-6}(\text{DAF})^2$ com $r^2 = 0,04$. Assim, observa-se péssimo ajuste da curva do K_c pelo método do balanço de energia, o qual se manteve praticamente constante, em torno 0,76, durante todo o ciclo produtivo do pomar de mangueiras (Figura 4.16), e próximo do valor adotado no manejo de irrigação da mangueira na região do Submédio São Francisco, que, segundo SOARES & COSTA (1995), é de 0,75.

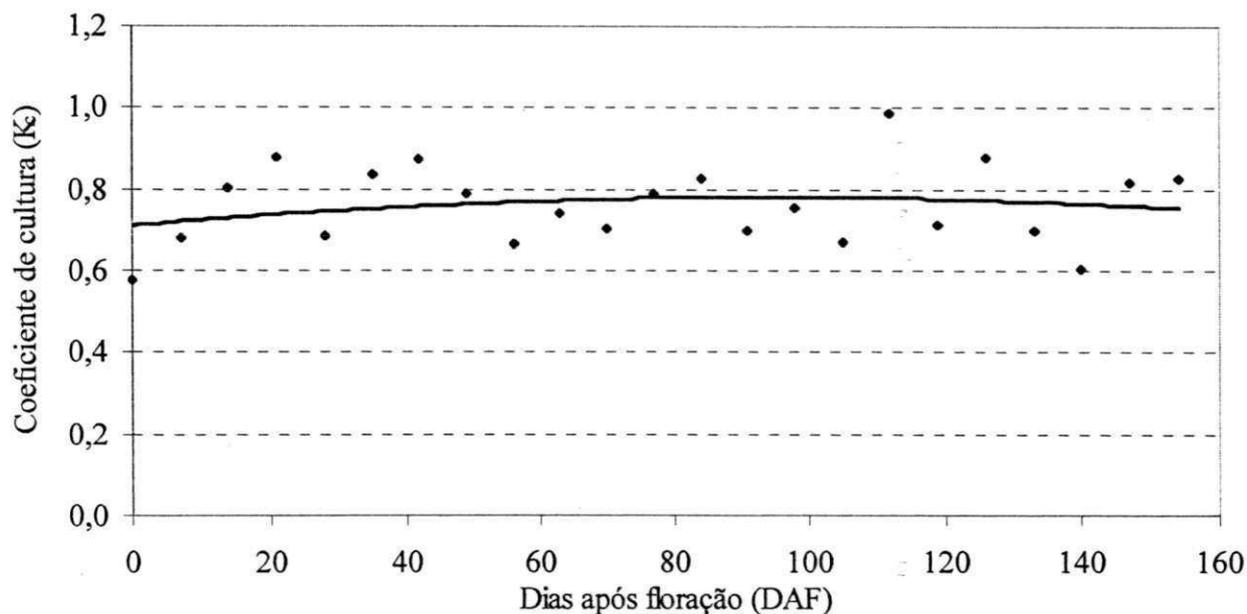
A utilização do coeficiente de cultura constante de 0,75, durante todo o ciclo produtivo do pomar de mangueiras em 1998, provocou uma situação de excesso d'água no estágio fenológico de floração e de deficiência hídrica nos estádios fenológicos subsequentes refletindo-se, assim, no rendimento, qualidade e tamanho dos frutos. CASTEL (1994) observou que num laranjal irrigado com uma lâmina 50% da capacidade evapotranspiratória da cultura, provocou alto grau de estresse hídrico e reduzido crescimento das árvores e do número de frutos. O balanço hídrico no solo, elaborado com base nos dados de umidade do solo do ano de 1999, mostrou-se eficiente na determinação do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras, visto que o método respondeu bem às variações fenológicas das plantas durante o ciclo produtivo (Figura 4.15). O coeficiente de cultura do pomar de mangueiras aumentou de 0,39 no estágio fenológico de floração, para 0,85, no meio do estágio fenológico de formação de frutos, quando a planta se encontrava em seu desenvolvimento vegetativo máximo, decrescendo em seguida para atingir o valor de 0,58, durante a maturação de frutos.

A média do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras em 1999 foi de 0,71, inferior ao valor utilizado no manejo do mangueiral na região (0,75). A variação do K_c ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras foi similar à variação do índice de área foliar no mesmo período: 12,9 m^2/m^2 na floração, 15,0 m^2/m^2 na queda de frutos e 14,1 m^2/m^2 na maturação de frutos. O crescente aumento do K_c , IAF e evapotranspiração do pomar de mangueiras no estágio fenológico de formação de frutos, foi atribuído à máxima atividade fisiológica da planta na formação de grande quantidade de fitomassa de frutos em curto espaço de tempo. Por outro lado, o decréscimo dessas variáveis até a maturação de frutos foi atribuído ao envelhecimento das folhas, que nesse estágio fenológico perdem a turgidez e aumentam a resistência estomática, reduzindo, assim, a capacidade transpiratória.



Floração	Queda de frutos	Formação de frutos	Maturação
----------	-----------------	--------------------	-----------

Figura 4.15 - Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço hídrico no solo, em 1999



Floração	Queda de frutos	Formação de frutos	Maturação
----------	-----------------	--------------------	-----------

Figura 4.16 - Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço de energia, em 1999

4.5 - Análise de rendimento do pomar de mangueiras

A análise de rendimento do pomar de mangueiras foi efetuada com base na classificação do fruto, em termos de tamanho e peso. Os resultados apresentados na Tabela 4.10 foram obtidos com base na média da produção de duas plantas em 1998 e de três plantas em 1999, sendo o rendimento determinado para uma planta e extrapolada para um hectare. Os frutos classificados entre os Tipos 9 e 11 foram considerados grandes, entre os Tipos 12 e 14 médios e entre os Tipos 15 e 18 pequenos. A média de frutos por planta em 1999 foi inferior à de 1998, na faixa de classificação entre os Tipos 9 e 11. Observa-se que o peso médio dos frutos produzidos em 1999 foi superior àquele em 1998, para toda a faixa de classificação (Tipos 9 a Tipo 18). Na faixa de classificação de frutos menores (Tipos 15 a 18) a média de frutos por planta em 1999 foi superior à de 1998.

Tabela 4.10 - Rendimento do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', por tipo de fruto, em Bebedouro, Petrolina, PE, em 1998 e 1999

Classificação Do fruto	Peso médio do fruto (g)		Média de frutos por Planta (g)		Produtividade kg/ha	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Tipo 9	637a	695a	88,5a	8,3b	14.094a	1.447b
Tipo 10	568a	575a	46,0a	33,7a	6.532a	4.839a
Tipo 11	486b	573a	104,0a	32,7b	12.636a	4.679b
Tipo 12	442b	494a	72,0a	92,3a	7.956b	11.403a
Tipo 13	389a	450a	20,5a	26,3a	1.994a	2.962a
Tipo 14	338a	404a	6,5b	88,7a	549b	8.955a
Tipo 15	-	376	-	78,0	-	7.332
Tipo 16	-	357	-	17,3	-	1.547
Tipo 18	224b	306a	16,5b	69,7a	924b	5.329a
Médias	441a	470a	51,0a	50,0a	6.384a	5.388a

* Para a mesma variável, nas linhas, médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

De acordo com GORGATTI NETTO (1994) os importadores europeus admitem frutos com peso entre 250 a 750g, dando preferência ao peso médio de 300 a 400g; já os consumidores americanos preferem frutos com 250 a 650g, principalmente aqueles com peso em torno de 400g. A percentagem média de frutos por planta nos anos de

1998 e 1999, na faixa de classificação entre os Tipos 9 e 11, foi, respectivamente, de 87,7 e 37,34% da média total de frutos produzidos.

Em 1998, o maior rendimento foi de frutos Tipo 9, e o menor de frutos Tipo 14, enquanto em 1999 o maior rendimento foi de frutos Tipo 12 e o menor de frutos Tipo 9. Não obstante o rendimento média do pomar de mangueiras em 1998 ter sido superior ao de 1999, o rendimento total em 1998 (44.684 kg/ha) foi inferior ao de 1999 (48.491 kg/ha) e ao rendimento médio nacional (47.648 kg/ha). A análise de variância dos dados de rendimento evidenciou que não existe diferença significativa, em nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey, entre as médias anual de peso médio de frutos, média de frutos por planta e rendimento. O aumento do volume de água aplicada, devido o aumento do coeficiente de cultivo de 0,75 em 1998 para 1,0 em 1999, provocou aumento no rendimento do mangueiral, da ordem de 4.257kg. Segundo DOORENBOS & KASSAN (1979) em condições de suprimento limitado de água a cultura sofre maior perda de rendimento quanto maior for o fator de resposta da cultura, que relaciona a queda de rendimento e déficit hídrico do solo.

O Quadro 4.5 apresenta a comparação do volume total de água aplicado ao solo pela irrigação com os coeficientes de cultura de 0,75 e 1,0 e a curva característica do K_c , em 1998 e 1999. O volume d'água aplicado por planta, utilizando-se o $K_c = 0,75$ em 1998, aproximou-se do valor previsto pela função característica do K_c , utilizando-se a evaporação observada no tanque "classe A".

Quadro 4.5 - Volume de água aplicado por planta ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em 1998 e 1999, com base no coeficiente de cultura (K_c) e na função característica do K_c (modelo)

Anos	Coeficiente de cultura	Volume d'água aplicado (l)	Volume médio aplicado por dia (l)
1998	$K_c = 0,75$	15.770	199,9
	Modelo	15.499	271,9
1999	$K_c = 1,0$	21.321	236,9
	Modelo	17.064	189,6

Em 1999, essa diferença foi bem superior à do ano de 1998, devido a irrigação ter sido realizada no período de maior demanda evaporativa, provocando uma

superestimativa da irrigação pela função característica do K_c . Por outro lado, deduz-se que se a parcela em 1999 tivesse sido irrigada com a função característica do K_c , teria resultado numa redução de 4.257l por planta, com uma economia de 1.064m³ de água por hectare.

A subestimativa do volume d'água aplicado ao solo com $K_c = 0,75$, no estágio fenológico de floração, foi compensada pela superestimativa da curva característica do K_c no estágio fenológico de formação de frutos, quando o K_c atingiu valores da ordem de 0,85. De acordo com os resultados apresentados no Quadro 4.5, a utilização do modelo de determinação do K_c no manejo de irrigação do pomar de mangueiras em 1999 indicaria o mesmo nível de rendimento com o $K_c = 1,0$, porém com considerável redução do custo de produção, face à economia de água, energia, nutrientes e mão-de-obra.

5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos experimentos de campo realizados nos anos de 1998 e 1999, no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, com o pomar mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', permitem as seguintes conclusões:

1. nas condições de clima e solo dos experimentos, a técnica de balanço hídrico no solo mostrou-se mais eficiente na determinação da evapotranspiração e do consumo hídrico da mangueira do que o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen;
2. 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;
3. o percentual do saldo de radiação utilizado como fluxo de calor latente sobre o pomar de mangueiras, é maior durante a queda e formação de frutos e menor na floração e maturação de frutos;
4. sob condições de baixa nebulosidade, o fluxo de calor latente pode ser obtido, com precisão adequada, em função do saldo de radiação;
5. o manejo de irrigação da mangueira pode ser efetuado conforme o modelo de determinação do coeficiente de cultura em função do número de dias após floração;

6. o balanço hídrico no solo somente é eficiente na determinação da evapotranspiração do mangueiral quando se considera o termo referente à drenagem profunda/ascensão capilar;
7. o método do balanço hídrico no solo não deve ser aplicado para períodos inferiores a uma semana, nas condições de solo e clima da área estudada;
8. nas condições climáticas da região do Submédio São Francisco, o consumo hídrico da mangueira não se mantém constante durante todo o ciclo produtivo, varia em função do número de dias após floração segundo o modelo genérico: $K_c = 0,36 + 0,009 (DAF) - 4 \times 10^{-5} (DAF)^2$;
9. a utilização do K_c de 0,75 no manejo de irrigação da mangueira na região do Submédio São Francisco, superestima as reais necessidades hídricas da cultura durante a floração e parte da queda de frutos e as subestima nos estádios fenológicos subsequentes;
12. a produtividade da mangueira é fortemente influenciada pela lâmina d'água aplicada no período de maior atividade evapotranspiratória, que ocorre no período compreendido entre os estádios fenológicos de queda e formação de frutos.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L.; *et al.* Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n.4, p. 650-662, 1989.

_____ ; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; *et al.* An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 35 - 90, 1994a.

_____ ; SMITH, M.; PERRIER, A.; *et al.* An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43 n. 2, p. 1-31, 1994b.

_____ ; SMITH, M.; WILLIAM, O.; *et al.* Modifications to the FAO crop coefficient approach. 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. 124-132, 1996.

ANDRADE, C.L.T.; SEDIYAMA, G.C.; COUTO, L; *et al.* Balanço hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão. **Agronômica Ceres**, São Paulo, v. 35, p.89-104, 1988.

ANGUS, D.E.; WATTS, P.J. Evapotranspiration: how good is the Bowen ratio method?. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.

ASHKTORAB, H.; PRUITT, W.O.; PAW, K.T.; *et al.* Energy balance determinations close to the soil surface using a micro-Bowen ratio system. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 46, p. 259-274, 1989.

AVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira européia**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1997. 85p. (Dissertação de mestrado).

AZEVEDO, P.V. de; RAMANA RAO, T.V.; AMORIM NETO, M.da S.; *et al.* Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28. n.7, p.863-870, 1993.

_____ ; TEIXEIRA, A.H.C.; SILVA, B.B.; *et al.* Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira européia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.1-7, 1997.

_____ ; SILVA, B.B. da; RODRIGUES DA SILVA, V.P.; *et al.* Avaliação do índice de área foliar da mangueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, e REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999, CD Rom.

BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K. Estimativa da condutividade hidráulica do solo através do escalonamento do potencial matricial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 1-6, 1992.

_____ ; CORRENTE, J.E.; REICHARDT, K. Análise comparativa de dois métodos simplificados de determinação da condutividade hidráulica de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 249-252, 1991.

BEZERRA, F.M.L., FREITAS, A.A., OLIVEIRA, C.H.C. Evapotranspiração máxima da acerola (*Malpighia glabra L.*) no primeiro ano de produção. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 671-672.
- BLAD, B.L.; ROSENBERG, N.J. Lysimetric calibration of the Bowen ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation on the Central 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**, American 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.
- CASTEL, J. Response of young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. **Journal of Horticultural Science**, Ashford – Kent, v. 69, n. 3, p. 481-489, 1994.
- 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.
- CENTURION, J.F.; MORAES, M.H.; LIBERA, C.L.F.D. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 173-179, 1997.
- CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, N.N.; MALANO, H.M.; *et al.* Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 9-21, 1995.
- CLARK, G.A.; ALBREGTS,E.E.; STANLEY, C.D.; *et al.* Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transactions of the SAE**, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, v. 39, n.3, p. 905-912, 1996.

- CUNHA, G.A.; SAMPAIO, J.M.M.; NASCIMENTO, A.S.; *et al.* **Manga para exportação: aspectos técnicos da produção.** Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. - Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994, 35p - (Série Publicações Técnicas FRUPEX; 8).
- 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.
- DAAMEM, C.C.; DUGAS, W.A; PRENDERGAST, P.T. *et al.* Energy flux measurements in a sheltered lemon orchard **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p.171-183, 1999.
- DONADIO, L.C. **Noções práticas de fruticultura.** Fundação GARGILL, Campinas, SP. 74p, 1993.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Roma, FAO, 1979, 193p. (Irrigation & Drainage paper 33).
- _____; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** Roma: FAO, 1977, 198p. (Irrigation & Drainage paper 24).
- DOURADO NETO, D; van LIER, Q.J. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização do balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.9-15, 1993.
- du PLESSIS, H.M. Evapotranspiration of citrus as affected by soil water deficit and soil salinity. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.6, p. 51-61, 1985.

- DUGAS, W.A.; FRITSEHEN, L.J.; GAY, L.W.; *et al.* Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 56, n. 1, p. 1-20, 1991.
- EVANS, R.G.; SPAYD, S. E.; WAMPLE, R.L.; *et al.* Water use of *Vitis Vinifera* Grapes in Washington. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 109-124, 1993.
- FAO Yearbook Annuaire Production. Rome, 1993, 254p. (v. 47).
- FARAHANI, H.J.; AHUJA, L.R. Evapotranspiration modeling of partial canopy/residue-covered fields. **Transactions of the ASAE**, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, v. 39, n. 6, p. 2051-2064, 1996.
- FERREIRA, M.I.; VALANCOGNE, C.; DAUDET, F.A; *et al.* Evapotranspiration and crop-water relations in a peach orchard. 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. 61-68, 1996.
- FRUIT WORLD. **The journal for the international produce trade**. Special, p. 18-19, 1999.
- 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.
- GARCIA, S.S.; VALDIVIA, V.V. Physiological persistence of paclobutrazol on the 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica L.*) under rainfed conditions. **Journal of Horticultural Science**, Ashford – Kent, v. 72, n. 2, p. 339-345, 1997.
- 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.
- GORGATTI NETTO, A; GAYET, J.P.; BLEINROTH, E.W.; *et al.* Manga para exportação: procedimento de colheita e pós-colheita. EMBRAPA, Brasília, DF, p.1-28, 1994.
- GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, p. 173-186, 1994a.
- _____ ; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n.3, p. 652-657, 1994b.
- HAJI, F.N.P.; CARVALHO, R.S.; YAMAGUCHI, C.; *et al.* Principais pragas e controle. In: **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro**. Brasília: EMBRAPA/CPATSA, 1995, Cap. 4, p. 103-121.
- 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.
- HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of a drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. **Soil Science**, Maryland, v. 114, n.1, p.395-400, 1972.
- HÖLSCHER, D.; SÁ, T.D.A.; BASTOS, T.X.; DENICH, M.; FÖLSTER, H. Evaporation from young secondary vegetation in eastern Amazonia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 193, n.1, p. 293-305, 1997.

- JACKSON, R.D.; HATFIELD, J.L.; REGINATO, R.J.; *et al.* Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.7, n.1, p. 351-362, 1983.
- JENSEN, D.T.; HARGREAVES, G.H.; TEMESGEN, B.; *et al.* Computation of ET_0 under nonideal conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 123, n.5, p. 394-399, 1997.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. Chapman & Hall, New York, 1st ed., 321p, 1990.
- KONZELMANN, T.; CALANCA, P.; MÜLLER, G.; *et al.* Energy balance and evapotranspiration in a high mountain area during summer. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 36, n.1, p. 966-973, 1997.
- KUSTAS, W.P.; CHOUDHURY, B.J.; MORAN, M.S.; *et al.* Determination of sensible heat flux over sparse canopy using thermal infrared data. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 44, n.1, p. 197-216, 1989.
- 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.
- LHOMME, J.P.; MONTENY, B.; CHEHBOUNI, A.; *et al.* Determination of sensible heat flux over sahelian fallow savannah using infra-red thermometry. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, n.1, p. 93-105, 1994a.
- _____ ; MONTENY, B.; AMADOU, M. Estimating sensible heat flux from radiometric temperature over sparse millet. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, n.1, p. 77-91, 1994b.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 1^o ed. Piracicaba, 497p., 1995.

LOBATO, E.J.V.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um Latossolo Roxo Distrófico tratado com água/vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 181-188, 1998.

LOPES, P.M.O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1999. 108p. (Dissertação de mestrado).

MALEK, E. Rapid changes of the surface soil heat flux and its effects on the estimation of evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 142, n.1, p. 89-97, 1993.

_____; BINGHAM. Comparison of Bowen ratio-energy balance and the water balance methods for the measurement of evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 146, n.1, p. 209-220, 1993.

MASTRORILLI, M.; KATERJI, N.; RANA, G.; *et al.* Daily actual evapotranspiration measured with TRD technique in Mediterranean conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, n.1, p. 81-89, 1998.

MAYOCCHI, C.L.; BRISTOW, K.L. Soil surface heat flux: some general questions and comments on measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 75 p. n.1, 43-50, 1995.

MICELLI, C.V. Aspectos estatísticos da manga. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.8, n.86, p.1-10, 1982.

MICHALOPOULOU, H.; PAPAIOANNOU, G. Reference crop evapotranspiration over Greece. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 20, p. 209-221, 1991.

MICHELAKIS, N.; VOUYOUKALOU, E.; CLAPAKI, G. Water use and soil moisture depletion by olive trees under different irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 29, n.3, p. 315-325, 1996.

- MICKSON, S.B.; YOMOTA, A; MIURA, T. Water balance of field plots planted with soybean and pumpkin. **Trasactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 899-909, 1997.
- 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.
- MOREIRA, H.J.C. **Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas: manual prático para o manejo da irrigação**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 90p, 1993.
- MUALEN, Y.A. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v.12, n.3, p.513-522, 1976.
- NIE, D.; FLITCROFT, I.D.; KANEMASU, E.T. Performance of Bowen ratio system on a slope. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 59, n.1, p.165-181, 1992.
- NIZINSKI, J.; MORAND, D.; FOURNIER, C. Actual evapotranspiration of a thorn scrub with *Acacia tortilis* and *Balanites aegyptiaca* (North Senegal). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, n.1, p. 93-111, 1994.
- OLIVEIRA, S.L.; ALVES, E.J.; CALDAS, R.C. Coeficiente de cultura para irrigação da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 15, n. 3, p.15-20, 1993.
- 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.
- ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; ENGLISH, M.; *et al.* Hourly grass evapotranspiration in modified maritime environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 121, n. 6, p. 369-373, 1995.

- PAPAKYRIAKOU, T.N.; McCAUGHEY, J.H. An evaluation of the water balance technique for the estimation of evapotranspiration for a mixed forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v.21, n.11, p. 1622-1631, 1991.
- PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; *et al.* Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 189-195, 1988.
- PEREIRA, L.S.; ALLEN, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118-143, 1997.
- _____ ; PERRIER, A.; ALLEN, R.G.; *et al.* Evapotranspiration: Review of concepts and future trends. 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. 109-115, 1996.
- PHERSSON, M.; PETTERSSON, O. Energy and water balances of a bog in central Sweden. **Nordic Hydrological Conference**, Akureyi, Iceland, v. 28, n. 4-5, p. 263-272, 1996.
- PINTO, A.C.Q. Melhoramento da mangueira (*Mangifera indica* L.) no ecossistema dos cerrados do Brasil central por meio de hibridação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.3, p.369-374, 1995.
- PLAUBORG, F. Evaporation from bare soil in a temperate humid climate-measurement using micro-lysimeters and time domain reflectometry. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, n.1, p. 1-17, 1995.
- PREVEDELLO, C.L.; KOBİYAMA, M.; JACOBS, G.A.; *et al.* Comparação dos métodos do perfil instantâneo e de van Genuchten na obtenção da condutividade hidráulica de uma areia marinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n.1, p. 1-5, 1995.

- 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.
- RAMOS, V.H. Variedades de Mangueiras. **Informativo Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 8, n. 86, p.11-19, 1982.
- RANA, G.; KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; *et al.* Validation of a model of actual evapotranspiration for water stressed soybeans. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 215-224, 1997.
- REDDY, Y.T.N.; SINGH, G. Further studies on the relationship between leaf number and area fruit development in mango (*Mangifera indica L.*). **Journal of Horticultural Science**, Ashford – Kent, v. 66, n. 4, p. 471-478, 1991.
- REEDY, S.J.; AMORIM NETO, M. da S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina, EMBRAPA/CPATSA, 1983, 280p.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4ª ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L. ; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. 2nd Edition, Lincoln - Nebraska: John Wiley & Sons, 1983, 495p.
- ROSSET, M.; RIEDO, M.; GRUB, A.; *et al.* Seasonal variation in radiation and energy balances of permanent pastures at different altitudes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 245-258, 1997.
- SAUER, T.J.; HATFIELD, J.L.; PRUEGER, J.H.; *et al.* Surface energy balance of a corn residue-covered field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 155-168, 1998.

- SEPASKHAH, A.R.; KASHEFIPOUR, S.M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 27, p. v.1, 331-340, 1995.
- SERIO, L.A. **Estimación de la evapotranspiración máxima del cultivo de maíz**. Buenos Aires: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias de la Atmosfera, 1998, 41p. (Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Atmosfera).
- SHUTTLEWORTH, W.J.; GURNEY, R.J. The theoretical relationship between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 116, n. 1, p. 497-519, 1990.
- SHUTTLEWORTH, W.J.; WALLACE, J.S. Evaporation from sparse crops - an energy combination theory. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, London, v. 111, n. 1, p. 839-855, 1985.
- SILANS, A.P.; MONTENY, B.A.; LHOMME, J.P. The correction of soil heat flux measurements to derive an accurate surface energy balance by the Bowen ratio method. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 1-4, n. 1, p. 453 - 465, 1997.
- SINGH, B.; TAILLEFER, R. The effect of synoptic-scale advection on the performance of the Priestley-Taylor evaporation formula. **Boundary-Layer Meteorology**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 267-282, 1986.
- SINHG, R.V.; CHAUHAN, H.S. Irrigation scheduling in wheat under shallow water table conditions. In: 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. 104-109, 1996.
- SMITH, M.; ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. 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. 116 - 123, 1996.

- SOARES, J.M.; COSTA, F.F. Irrigação. In: **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro**. EMBRAPA, Brasília, 1995. Cap. 2, p. 43-80.
- SOARES, J.M.; COSTA, F.F.; SANTOS, C.R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: FARIA, M.S.; SILVA, É.L.; VILELA, L.A.A.; SILVA, A.M. (ed.). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: DE/UFLA, 1998. Cap 4, p.281-308.
- SOUZA, F.X.; PINTO, A.C.Q. Avaliação de Cultivares de Mangueira sob cultivo de sequeiro em Parnaíba, PI. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, BA, v.18, n.1, p.7-13, 1996.
- STANNARD, D.I.; BLANFORD, J.H.; KUSTAS, W.P.; NICHOLS, W.D.; *et al.* Interpretation of surface flux measurements in heterogeneous terrain during the Monsoon '90 experiment. **Water Resources Research**, Washington, v. 30, n.5, p. 1227-1239, 1994.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C. Maize canopies under two soil water regimes IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 215-228, 1998.
- STRABBIOLI, G. A study on strawberry water requirements. **Annali dell'Intituto Sperimentale per la Frutticoltura**, Italia, v. 16, n. 1, p. 75-84, 1985.
- SUGITA, M.; BRUTSAERT, W. Daily evaporation over a region from lower boundary layer profiles. **Water Resources Research**, Washington, v. 27, n. 1, p.747-752, 1991.
- TRAMBOUZE, W.; BERTUZZI, P.; VOLTZ, M. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 193-208, 1998.
- UNLAND, H.E.; HOUSER, P.R.; SHUTTEWORTH, W.; *et al.* Surface flux measurement and modeling at a semi-arid sonoran desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p.119-153, 1996.

- VIEIRA, S.R.; CASTRO, O.M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. n. 1, 87-90, 1987.
- 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.
- VILLAGRA, M.M.; BACCHI, O.O.S.; TUON, R.L.; *et al.* Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, n.1, p. 317-325, 1995.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science American Journal**, Haiston, v. 44, n. 1, p. 898-982, 1980.
- van LIER, Q.J.; DOURADO NETO, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.325-329, 1993.
- 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.
- WALLACE, J.S.; LLOYD, C.R.; SIVAKUMAR, M.V.K. Measurements of soil, plant and total evaporation from millet in Niger. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 63, p. 49-169, 1993.
- _____ ; Calculating evaporation: resistance to factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdan, v. 73, p. 353-366, 1995.

WHALLEY, W.R.; LEEDS-HARRISON, P.B.; JOY, P.; HOEFSLOOT, P. Time domain reflectometry and tensiometry combined in an integrated soil water monitoring system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 59, n. 1, p. 141-144, 1994.

WRIGHT, J.L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 108, n. 2, p. 57-74. 1982.

WRIGHT, E.; CARR, M.K.V.; HAMER, P.J.C. Crop production and water-use. I. A model for estimating crop water-use with limited data. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 123, n.1, p. 9-13, 1994.

Anexo 1 - Variação diária da partição do saldo de radiação (R_n) em fluxo de calor latente (LE), calor sensível do ar (H) e do solo (G) e evapotranspiração (ET_c), pelo método do balanço de energia, evapotranspiração de referência (ET_0), pelo método de Penman-Monteith/FAO e coeficiente de cultura (K_c), em função do número de Dias Após a Floração (DAF) ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', em Petrolina, PE, em 1999

Continua

DATA	DAF	LE/ R_n (%)	H/ R_n (%)	G/ R_n (%)	ET_c (mm/dia)	ET_0 (mm/dia)	K_c
10/06/99	0	73,95	21,50	4,57	3,18	4,63	0,69
11/06/99	1	73,95	21,50	4,53	3,18	4,92	0,65
12/06/99	2	74,50	20,64	4,84	3,18	4,60	0,69
13/06/99	3	71,65	23,66	4,67	3,18	5,29	0,60
14/06/99	4	71,16	24,12	4,71	3,18	3,64	0,87
15/06/99	5	68,51	27,86	3,63	3,38	4,52	0,75
16/06/99	6	70,94	22,61	6,45	1,79	3,19	0,56
17/06/99	7	43,39	53,72	2,90	1,75	3,79	0,46
18/06/99	8	64,68	30,68	4,64	3,45	4,47	0,77
19/06/99	9	65,09	29,50	5,41	2,95	4,51	0,65
20/06/99	10	65,92	28,04	6,04	3,05	4,47	0,68
21/06/99	11	65,82	29,90	4,28	3,64	5,07	0,72
22/06/99	12	73,86	21,99	4,15	4,08	4,96	0,82
23/06/99	13	80,19	15,26	4,55	4,31	4,99	0,86
24/06/99	14	81,58	14,05	4,37	4,41	4,66	0,95
25/06/99	15	81,61	14,48	3,91	4,39	5,10	0,86
26/06/99	16	81,92	13,37	4,72	4,20	5,01	0,84
27/06/99	17	94,32	1,98	3,70	2,42	4,26	0,57
28/06/99	18	92,17	2,20	5,64	3,18	5,03	0,63
29/06/99	19	92,84	3,90	4,41	4,71	3,17	0,79
30/06/99	20	81,53	14,68	3,80	4,52	4,81	0,94
01/07/99	21	87,15	9,10	4,03	4,41	5,77	0,76
02/07/99	22	85,72	10,40	3,92	4,41	5,59	0,79

Continuação

DATA	DAF	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)	ET _c (mm/dia)	ET ₀ (mm/dia)	K _c
03/07/99	23	92,88	3,30	3,83	4,30	5,58	0,77
04/07/99	24	81,39	14,54	4,07	4,43	5,43	0,82
05/07/99	25	81,56	14,90	3,54	4,43	5,61	0,79
06/07/99	26	91,18	8,69	3,58	4,02	5,29	0,76
07/07/99	27	93,02	2,49	4,48	3,61	5,26	0,69
08/07/99	28	108,79	11,01	2,23	5,33	5,56	0,96
09/07/99	29	81,66	15,20	3,14	4,35	5,36	0,81
10/07/99	30	106,33	12,12	5,80	3,42	4,52	0,76
11/07/99	31	83,53	17,40	-0,93	1,43	4,55	0,31
12/07/99	32	93,02	3,11	3,87	3,55	4,37	0,81
13/07/99	33	93,02	1,84	5,14	3,42	4,80	0,71
14/07/99	34	81,60	14,27	4,13	4,01	4,80	0,84
15/07/99	35	86,03	10,84	3,13	4,68	5,13	0,91
16/07/99	36	88,64	9,02	2,34	4,99	5,30	0,94
17/07/99	37	90,83	8,75	0,42	2,07	2,93	0,71
18/07/99	38	91,45	7,18	1,37	3,89	4,78	0,81
19/07/99	39	91,18	7,88	0,94	4,51	4,79	0,94
20/07/99	40	91,10	7,49	1,42	4,06	4,89	0,83
21/07/99	41	90,83	9,44	-0,27	2,85	4,07	0,70
22/07/99	42	88,02	9,56	2,71	4,32	4,54	0,95
23/07/99	43	101,19	-2,79	1,60	5,80	4,87	1,19
24/07/99	44	101,19	-3,40	1,84	5,60	5,06	1,11
25/07/99	45	100,8	-3,02	2,18	4,21	3,81	1,11
26/07/99	46	102,95	-3,54	0,60	3,43	4,01	0,86
27/07/99	47	88,98	9,00	2,02	4,44	4,69	0,95
28/07/99	48	87,17	9,94	2,88	4,89	4,89	1,00
29/07/99	49	87,33	9,70	2,96	5,07	4,56	1,11
30/07/99	50	88,00	8,81	3,19	3,57	4,47	0,80
31/07/99	51	88,63	9,02	2,35	3,62	3,97	0,91

Continuação

DATA	DAF	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)	ET _c (mm/dia)	ET ₀ (mm/dia)	K _c
01/08/99	52	86,35	10,47	3,19	4,88	5,26	0,93
02/08/99	53	62,84	32,88	4,28	2,98	5,24	0,57
03/08/99	54	100,02	-4,45	4,43	3,12	3,85	0,81
04/08/99	55	103,71	-8,09	4,39	4,23	3,55	1,19
05/08/99	56	71,00	25,91	3,09	1,94	2,14	0,91
06/08/99	57	95,25	1,32	6,07	3,68	2,98	1,23
07/08/99	58	98,28	3,81	5,53	3,16	2,86	1,11
08/08/99	59	99,4	4,79	5,37	3,48	3,40	1,02
09/08/99	60	91,43	3,35	5,28	4,06	4,27	0,95
10/08/99	61	92,13	4,24	3,56	4,06	5,06	0,80
11/08/99	62	91,60	3,57	3,56	4,06	3,52	1,15
12/08/99	63	91,60	3,57	4,59	4,06	4,94	0,82
13/08/99	64	91,85	4,07	3,93	4,06	4,71	0,86
14/08/99	65	91,02	4,53	4,19	4,06	5,08	0,80
15/08/99	66	91,02	4,12	4,35	4,06	4,90	0,83
16/08/99	67	91,50	3,79	4,48	4,06	5,14	0,79
17/08/99	68	91,68	4,09	4,03	4,06	3,76	1,08
18/08/99	69	91,51	3,82	4,41	4,06	3,31	1,23
19/08/99	70	91,67	4,07	4,06	4,06	4,03	1,01
20/08/99	71	91,15	4,37	4,38	4,06	4,84	0,84
21/08/99	72	92,86	1,93	5,20	4,64	4,78	0,97
22/08/99	73	94,23	7,37	-1,60	2,51	3,04	0,82
23/08/99	74	81,54	11,90	6,56	4,22	4,55	0,93
24/08/99	75	81,87	11,16	6,95	4,30	5,05	0,85
25/08/99	76	81,82	11,16	7,19	4,30	5,28	0,81
26/08/99	77	83,89	10,39	5,73	4,30	4,33	0,99
27/08/99	78	84,80	9,52	5,68	4,30	5,15	0,83
28/08/99	79	84,00	10,28	5,72	4,30	6,02	0,71
29/08/99	80	82,20	10,44	7,35	5,41	5,26	1,03

Continuação

DATA	DAF	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)	ET _c (mm/dia)	ET ₀ (mm/dia)	K _c
30/08/99	81	81,70	10,34	7,94	5,07	5,21	0,97
31/08/99	82	83,15	11,02	5,82	4,35	5,05	0,86
01/09/99	83	80,67	13,45	5,87	4,56	5,14	0,89
02/09/99	84	80,06	13,81	6,13	3,96	4,82	0,82
03/09/99	85	78,10	15,22	6,66	4,65	5,98	0,78
04/09/99	86	78,10	15,22	6,66	4,65	6,03	0,77
05/09/99	87	76,15	16,63	7,21	5,04	6,15	0,82
06/09/99	88	75,75	16,67	7,57	5,05	5,95	0,85
07/09/99	89	74,24	18,03	7,72	4,98	6,14	0,81
08/09/99	90	73,13	18,91	7,96	4,62	5,92	0,78
09/09/99	91	73,92	19,04	7,04	4,39	5,90	0,74
10/09/99	92	71,52	21,34	7,14	4,60	5,85	0,79
11/09/99	93	70,80	22,07	7,12	4,69	6,24	0,75
12/09/99	94	70,60	22,29	7,11	4,39	5,78	0,76
13/09/99	95	67,15	24,82	8,03	4,28	5,37	0,80
14/09/99	96	66,08	25,38	8,54	4,24	6,03	0,70
15/09/99	97	67,85	25,12	7,02	4,65	6,50	0,72
16/09/99	98	68,82	24,97	6,21	4,50	6,32	0,71
17/09/99	99	68,17	25,07	6,76	3,18	4,70	0,68
18/09/99	100	69,33	23,23	7,43	3,89	5,80	0,67
19/09/99	101	70,18	21,56	8,25	4,72	6,47	0,73
20/09/99	102	74,12	17,49	8,37	5,11	6,47	0,79
21/09/99	103	79,79	13,71	6,49	4,65	5,83	0,80
22/09/99	104	73,46	18,00	8,59	5,20	6,13	0,85
23/09/99	105	83,44	13,47	3,10	4,04	4,37	0,92
24/09/99	106	84,63	11,51	3,85	4,04	2,78	0,81
25/09/99	107	93,44	8,94	-2,38	2,48	3,54	0,70
26/09/99	108	93,05	3,48	3,47	3,83	4,65	0,82
27/09/99	109	92,89	1,73	5,38	4,54	4,94	0,92

Continuação

DATA	DAF	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)	ET _c (mm/dia)	ET ₀ (mm/dia)	K _c
28/09/99	110	92,85	1,40	5,76	5,03	4,74	1,06
29/09/99	111	81,37	9,01	9,62	4,90	5,70	0,86
30/09/99	112	80,46	6,19	13,35	5,90	5,76	1,02
01/10/99	113	80,50	6,52	12,97	5,62	6,01	0,94
02/10/99	114	80,55	6,85	12,60	5,86	6,20	0,94
03/10/99	115	80,57	7,24	12,19	5,82	6,13	0,95
04/10/99	116	80,82	8,43	10,75	5,59	6,31	0,89
05/10/99	117	88,26	1,01	10,73	5,98	7,18	0,83
06/10/99	118	78,89	14,26	6,85	3,87	5,33	0,73
07/10/99	119	92,25	8,06	-0,31	3,23	3,41	0,95
08/10/99	120	83,27	10,23	6,50	3,69	4,04	0,91
09/10/99	121	82,60	5,48	11,91	6,03	6,01	1,00
10/10/99	122	83,48	5,69	10,83	6,23	6,42	0,97
11/10/99	123	87,18	3,59	9,24	5,40	6,12	0,88
12/10/99	124	89,30	3,30	7,40	4,16	5,24	0,79
13/10/99	125	78,34	23,82	-2,16	2,57	3,31	0,78
14/10/99	126	77,86	16,58	5,56	2,83	2,78	1,02
15/10/99	127	76,52	17,19	6,29	3,50	3,75	0,93
16/10/99	128	80,02	10,53	9,46	5,87	5,99	0,98
17/10/99	129	82,97	5,25	11,78	5,94	6,59	0,90
18/10/99	130	84,50	3,77	11,73	6,04	5,82	1,04
19/10/99	131	85,40	4,66	9,93	5,54	5,35	1,03
20/10/99	132	88,00	4,94	7,05	4,81	6,02	0,80
21/10/99	133	85,27	4,57	10,15	5,92	6,26	0,95
22/10/99	134	87,44	3,17	9,38	5,89	5,73	1,03
23/10/99	135	81,15	8,65	10,21	5,71	6,01	0,95
24/10/99	136	79,21	11,84	8,96	4,87	5,74	0,85
25/10/99	137	81,03	12,24	6,73	3,29	3,43	0,96
26/10/99	138	78,81	19,76	1,42	3,03	2,84	1,07

Continuação

DATA	DAF	LE/R _n (%)	H/R _n (%)	G/R _n (%)	ET _c (mm/dia)	ET ₀ (mm/dia)	K _c
27/10/99	139	88,70	5,96	5,34	3,10	3,07	1,01
28/10/99	140	84,61	6,61	8,78	3,88	3,81	1,02
29/10/99	141	87,26	6,21	6,52	3,50	3,32	1,05
30/10/99	142	87,37	6,20	6,40	3,50	6,02	0,58
31/10/99	143	86,99	7,34	5,90	3,50	3,57	0,98
01/11/99	144	89,92	5,82	4,27	2,85	3,47	0,82
02/11/99	145	86,39	6,49	7,11	4,17	4,18	1,00
03/11/99	146	90,89	1,72	7,39	3,84	3,51	1,09
04/11/99	147	92,74	1,36	8,62	4,70	5,01	0,94
05/11/99	148	81,03	8,59	10,38	5,58	6,18	0,90
06/11/99	149	82,54	7,90	9,56	6,06	6,62	0,91
07/11/99	150	81,91	8,73	9,36	4,84	5,08	0,95
08/11/99	151	91,98	2,63	5,39	3,21	5,06	0,64
09/11/99	152	83,43	7,92	8,65	4,97	5,66	0,88
10/11/99	153	82,65	10,71	6,64	4,76	5,63	0,85
11/11/99	154	81,24	10,75	8,02	5,27	5,95	0,89
12/11/99	155	81,06	11,06	7,87	5,30	6,36	0,83
13/11/99	156	81,40	10,83	7,77	5,10	5,54	0,92
14/11/99	157	81,35	9,91	8,74	5,07	5,89	0,86
15/11/99	158	80,84	9,71	9,45	5,65	5,73	0,99
Média	-	83,39	11,38	5,66	4,24	4,93	0,86

Anexo 2 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 1 dia, em Petrolina, PE, em 1999

Continua

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07	2,7	9,1	0,0	0,0	6,6
14/07	-3,7	12,1	0,0	0,0	4,7
15/07	1,5	12,1	0,0	0,0	7,6
16/07 - 18/07	-10,5	12,1	1,2	0,6	0,6
19/07	-8,9	10,4	0,0	0,1	0,8
20/07	-6,2	10,4	0,0	-0,2	2,2
21/07	-4,2	10,4	0,0	-0,7	3,0
22/07	-2,2	10,4	0,0	-0,6	4,2
23/07 - 25/07	-11,1	20,7	0,0	-2,8	1,3
26/07	1,1	12,8	0,5	-0,9	7,5
27/07	-1,0	12,8	0,0	-0,9	6,1
28/07	-11,5	12,8	0,0	-0,1	0,7
29/07	2,1	12,8	0,0	-0,6	8,0
30/07 - 01/08	40,9	25,5	0,0	-1,5	VI
02/08	-45,3	11,3	0,0	-1,2	VI
03/08	-2,4	11,3	0,0	-0,8	4,5
04/08	-3,2	11,3	0,0	-1,3	3,8
05/08	0,7	11,3	0,0	-2,4	5,4
06/08 - 8/08	1,8	22,6	1,1	-14,3	2,1
09/08	2,2	9,6	0,0	-3,8	4,5
10/08	-0,5	9,6	0,0	-4,0	2,8
11/08	0,1	9,6	0,0	-4,0	3,2
12/08	2,9	9,6	0,0	-3,8	4,9
13/08 - 15/08	10,7	9,6	0,0	-9,2	2,1
16/08	-0,6	13,1	0,0	-2,5	5,6
17/08	1,0	13,1	0,0	-3,5	5,9

Continuação

Periodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET _c (mm/dia)
18/08	-3,5	13,1	0,0	-3,0	3,7
19/08	2,1	13,1	0,0	-3,1	6,8
20/08 - 22/08	-7,6	26,1	1,0	-10,3	1,7
23/08	0,8	12,1	0,2	-4,6	4,8
24/08	-2,2	12,1	0,0	-5,1	2,7
25/08	-0,3	12,1	0,0	-5,4	3,6
29/08	-1,3	12,1	0,0	-5,3	3,1
27/08 - 29/08	1,8	24,3	0,0	-11,6	2,7
30/08	-1,2	14,3	0,0	-3,7	5,3
31/08	7,0	14,3	0,0	-3,9	9,8
01/09	-2,8	14,3	0,0	-3,0	4,8
02/09	0,5	14,3	0,0	-2,7	6,8
03/09 - 05/09	4,2	28,6	0,0	-4,1	5,4
06/09 - 07/09	3,3	9,7	0,0	-6,5	1,8
08/09	3,5	9,7	0,0	-1,9	6,4
09/09	-1,6	9,7	0,0	-3,5	2,6
10/09 - 12/09	5,1	19,4	0,0	-5,7	3,5
13/09	3,4	13,9	0,0	-1,5	8,8
14/09	4,3	13,9	0,0	-1,3	9,5
15/09	-4,5	13,9	0,0	-1,4	4,5
16/09	7,1	0,0	0,0	-1,4	3,2
17/09 - 19/09	5,7	0,0	0,0	-2,4	VI
20/09 - 21/09	6,5	17,0	0,0	-1,0	6,3
22/09	2,5	17,0	0,0	-0,4	VI
23/09	-6,4	17,0	0,0	-0,4	5,7
24/09 - 26/09	-1,7	0,0	30,4	-1,6	5,1
27/09	4,4	0,0	0,0	-0,6	2,1
28/09	2,6	0,0	0,0	-0,3	1,3

Continuação

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
29/09	0,7	13,3	0,0	-0,5	7,6
30/09	1,4	13,3	0,0	-0,3	8,1
01/10 - 04/10	-7,6	27,9	0,0	-5,4	2,1
05/10	14,0	14,6	0,0	-0,8	VI
06/10	0,1	14,6	0,0	-0,5	8,0
07/10	-2,5	14,6	4,0	-0,3	8,8
08/10 - 10/10	-0,1	14,6	0,0	-1,4	2,5
11/10 - 12/10	-1,3	15,6	0,0	-1,0	3,7
13/10	-3,5	15,6	1,1	-0,7	7,0
14/10	3,2	15,6	1,1	-0,8	VI
15/10 - 17/10	-1,7	15,6	5,8	-1,4	3,4
18/10	8,0	13,9	0,0	-0,3	VI
19/10	-2,1	13,9	0,0	-0,2	6,5
20/10	2,1	13,9	0,0	-0,2	8,9
21/10	0,8	13,9	0,0	-0,3	8,0
22/10 - 24/10	2,1	13,9	0,0	-0,8	2,8
25/10	-1,5	15,6	0,0	-0,3	7,7
26/10	-2,1	15,6	5,6	-0,3	VI
27/10	2,3	15,6	0,0	-0,4	9,8
28/10	-0,8	15,6	0,0	-0,4	8,0
29/10 - 31/10	-3,6	15,6	0,5	-1,8	2,0
01/11 - 02/11	-1,6	10,9	0,2	-1,4	2,3
03/11	6,6	10,9	0,0	-0,6	9,4
04/11	-3,1	10,9	0,0	-0,6	4,0
05/11 - 07/11	0,0	10,9	0,0	-1,3	1,8
08/11	0,9	12,7	0,0	-0,4	7,4
09/11	-1,0	12,7	0,0	-0,3	6,4
10/11	0,3	12,7	0,0	-0,3	7,1
11/11		12,7	0,0	-0,3	6,9

Anexo 3 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 2 dias, em Petrolina, PE, em 1999

Continua

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07 - 14/07	-1,0	21,2	0,0	0,0	5,7
15/07 - 16/07	-9,0	24,2	0,0	0,6	4,4
17/07 - 20/07	-15,1	20,7	1,2	-0,1	0,9
21/07 - 22/07	-6,4	20,7	0,0	-1,4	3,6
23/07 - 26/07	-10,0	33,5	0,5	-3,7	2,8
17/07 - 28/07	-12,5	25,5	0,0	-1,0	3,4
29/07 - 01/08	-0,1	38,3	0,0	-2,0	5,1
02/08 - 03/08	-4,6	22,6	0,0	-1,9	4,5
04/08 - 05/08	-2,5	22,6	0,0	-3,7	4,6
06/08 - 09/08	4,0	32,2	1,1	-18,1	2,7
10/08 - 11/08	-0,4	19,2	0,0	-8,0	3,0
12/08 - 13/08	13,6	19,2	0,0	-13,0	5,6
14/08 - 17/08	0,4	26,1	0,0	-6,0	2,9
18/08 - 19/08	-1,3	26,1	0,0	-6,0	5,3
20/08 - 23/08	-6,7	38,3	0,2	-14,9	2,4
24/08 - 25/08	-2,5	24,3	0,0	-10,5	3,2
26/08 - 27/08	0,4	24,3	0,0	-16,8	2,2
28/08 - 30/08	-1,2	14,3	0,0	-3,7	1,8
31/08 - 01/09	4,2	28,6	0,0	-6,9	7,3
02/09 - 03/09	4,7	28,6	0,0	-6,8	7,4
04/09 - 06/09	-4,7	24,0	0,0	-6,5	2,4
07/09 - 08/09	3,5	9,7	0,0	-1,9	3,2
09/09 - 10/09	3,5	19,4	0,0	-9,2	3,8
11/09 - 13/09	3,4	23,6	0,0	-1,5	4,7
14/09 - 15/09	-0,1	27,7	0,0	-2,7	7,0

Continuação

Periodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET _c (mm/dia)
16/09 - 17/09	12,8	0,0	0,0	-3,9	2,5
18/09 - 20/09	6,5	17,0	0,0	-1,0	6,3
21/09 - 22/09	2,5	17,0	0,0	-0,4	5,4
23/09 - 24/09	-8,1	17,0	30,4	-2,1	VI
25/09 - 27/09	4,4	00,0	0,0	-0,6	VI
28/09 - 29/09	3,2	13,3	0,0	-0,7	4,4
30/09 - 01/10	-6,2	26,6	0,0	-5,7	4,1
02/10 - 05/10	14,0	29,1	0,0	-0,8	5,9
06/10 - 07/10	-2,4	29,1	4,0	-0,8	8,4
08/10 - 11/10	-1,4	30,2	0,0	-2,4	3,7
12/10 - 13/10	-3,5	15,6	1,1	-0,7	3,5
14/10 - 15/10	1,5	31,2	1,4	-2,2	8,9
16/10 - 18/10	8,0	13,9	5,5	-0,3	5,1
19/10 - 20/10	0,0	27,9	0,0	-0,4	7,7
21/10 - 22/10	2,9	27,9	0,0	-1,1	8,3
23/10 - 25/10	-1,5	15,6	0,0	-0,3	2,6
26/10 - 27/10	-3,6	31,2	5,6	-0,7	9,1
28/10 - 29/10	-4,4	31,2	0,0	-2,2	6,9
30/10 - 02/11	-1,6	10,9	0,5	-1,4	VI
03/11 - 04/11	3,5	21,7	0,0	-1,2	6,7
05/11 - 07/11	0,0	10,9	0,0	-1,3	1,8
08/11 - 09/11	-0,1	25,3	0,0	-0,7	6,9
10/11 - 11/11	0,3	25,3	0,0	-0,6	7,0

Anexo 4 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 3 dias, em Petrolina, PE, em 1999

Continua

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07 - 15/07	0,6	33,3	0,0	0,0	6,3
16/07 - 18/07	-10,5	12,1	1,2	0,6	VI
19/07 - 21/07	-19,3	31,1	0,0	-0,9	2,0
22/07 - 25 /07	-13,3	31,1	0,0	-3,4	2,7
26/07 - 28/07	-11,3	38,3	0,5	-1,9	4,8
29/07 - 01/08	-0,1	38,3	0,0	-2,0	5,1
02/08 - 04/08	-7,8	33,9	0,0	-3,3	4,3
05/08 - 08/08	2,5	33,9	1,1	-16,7	2,9
09/08 - 11/08	1,8	28,8	0,0	-11,7	3,5
12/08 - 15/08	13,6	19,2	0,0	-13,0	2,8
16/08 - 18/08	-3,0	39,2	0,0	-9,0	5,1
19/08 - 22/08	-5,4	39,2	1,0	-13,4	3,0
23/08 - 25/08	-1,6	36,4	0,0	-15,1	3,7
26/08 - 29/08	0,4	24,3	0,0	-16,8	VI
30/08 - 01/09	3,0	43,0	0,0	-10,6	6,6
02/09 - 05/09	4,7	43,0	0,0	-6,8	5,7
06/09 - 08/09	6,9	19,4	0,0	-8,4	3,3
09/09 - 12/09	3,5	29,1	0,0	-9,2	3,3
13/09 - 15/09	3,2	41,6	0,0	-4,1	7,6
16/09 - 19/09	12,8	0,0	0,0	-3,9	1,3
20/09 - 22/09	9,1	34,0	0,0	-1,4	7,8
23/09 - 26/09	-8,1	17,0	30,4	-2,1	5,2
27/09 - 29/09	7,6	13,3	0,0	-1,4	3,7
30/09 - 04/10	-6,2	41,2	0,0	-5,7	3,3
05/10 - 07/10	11,6	43,7	4,0	-1,6	VI

Continuação

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
08/10 - 10/10	-0,1	14,6	0,0	-1,4	2,5
11/10 - 13/10	-4,8	31,2	1,1	-1,7	4,8
14/10 - 17/10	1,5	31,2	6,9	-2,2	5,2
18/10 - 20/10	8,0	41,8	0,0	-0,7	9,2
21/10 - 24/10	2,9	27,9	0,0	-1,1	4,1
25/10 - 27/10	-1,3	46,7	5,6	-1,1	9,3
28/10 - 31/10	-4,4	31,2	0,5	-2,2	3,5
01/11 - 03/11	5,0	21,7	0,2	-1,9	4,7
04/11 - 07/11	-3,1	21,7	0,0	-1,9	2,3
08/11 - 11/11	0,2	50,6	0,0	-1,2	6,9

Anexo 5 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 5 dias, em Petrolina, PE, em 1999

Continua

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07 - 14/07	-1,0	21,2	0,0	0,0	5,7
15/07 - 19/07	-17,9	34,6	1,2	0,7	2,1
20/07 - 22/07	-12,5	31,1	0,0	-1,6	3,2
23/07 - 27/07	-11,0	46,2	0,5	-4,6	3,5
28/07 - 01/08	-11,6	51,0	0,0	-2,1	4,2
02/08 - 05/08	-7,1	45,2	0,0	-5,7	4,5
06/08 - 10/08	3,5	41,8	1,1	-22,1	2,7
11/08 - 15/08	13,7	28,8	0,0	-16,9	2,9
16/08 - 19/08	-0,9	52,2	0,0	-12,0	5,5
20/08 - 24/08	-8,9	50,4	1,2	-20,0	2,5
25/08 - 29/08	0,2	36,4	0,0	-22,3	1,6
30/08 - 02/09	3,4	57,3	0,0	-13,3	6,6
03/09 - 07/09	7,5	38,4	0,0	-10,6	3,9
08/09 - 12/09	7,0	38,8	0,0	-11,1	3,9
13/09 - 16/09	10,3	41,6	0,0	-5,6	6,5
17/09 - 21/09	12,3	17,0	0,0	-3,4	2,9
22/09 - 26/09	-3,8	34,0	30,4	-0,9	6,7
27/09 - 30/09	9,0	26,6	0,0	-1,6	4,8
01/10 - 05/10	6,4	42,4	0,0	-6,2	4,8
06/10 - 10/10	-2,4	43,7	4,0	-2,1	4,8
11/10 - 14/10	-1,6	46,7	2,2	-2,6	6,3
15/10 - 19/10	4,2	43,5	5,8	-1,9	5,8
20/10 - 24/10	5,0	41,8	0,0	-1,3	5,1
25/10 - 28/10	-2,2	62,3	5,6	-1,5	VI

Continuação

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
29/10 - 02/11	-5,2	26,5	0,7	-3,2	2,1
03/11 - 07/11	3,5	32,6	0,0	-2,5	3,8
08/11 - 11/11	0,2	50,6	0,0	-1,2	6,9

Anexo 6 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 10 dias, em Petrolina, PE, em 1999

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07 - 22/07	-31,4	86,8	1,2	-0,8	3,5
23/07 - 02/08	-24,8	108,5	0,5	-7,8	4,3
03/08 - 12/08	1,6	94,9	1,1	-34,4	3,9
13/08 - 23/08	3,1	100,1	1,2	-36,1	3,8
24/08 - 02/09	1,4	105,8	0,0	-40,7	3,7
03/09 - 13/09	17,9	91,1	0,0	-23,2	4,8
14/09 - 23/09	15,4	78,7	0,0	-8,4	5,3
24/09 - 04/10	-0,3	54,4	30,4	-8,7	4,3
05/10 - 14/10	10,0	105,0	6,2	-5,5	7,2
15/10 - 25/10	7,7	100,9	5,8	-3,5	6,2
26/10 - 04/11	-2,4	94,9	6,3	-5,5	5,8
05/11 - 11/11	0,2	74,1	0,0	-3,0	4,4

Anexo 7 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta h$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras (ET_c), pelo método do balanço hídrico no solo no período de 15 dias, em Petrolina, PE, em 1999

Períodos	$-\Delta h$ (mm)	I (mm)	Pr (mm)	D/A (mm)	ET_c (mm/dia)
13/07 - 28/07	-53,8	145,9	1,7	-5,5	3,3
29/07 - 12/08	-0,7	144,5	1,1	-37,6	4,0
13/08 - 29/08	1,0	148,7	1,2	-63,5	3,1
30/08 - 14/09	25,6	162,2	0	-37,8	5,6
15/09 - 30/09	18,4	91,4	30,4	-10,3	4,8
01/10 - 14/10	2,3	132,9	6,1	-10,9	5,6
15/10 - 31/10	3,4	163,2	11,9	-6,5	6,0
01/11 - 12/11	2,1	94,1	0,2	-5,1	3,9

Anexo 8 - Curvas de retenção de umidade de Latossolo Vermelho-Amarelo, em Bebedouro, Petrolina, PE, nas profundidades de 20 a 200cm. O potencial matricial é expresso em valores negativos

