

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE MESTRADO EM METEOROLOGIA

FENOLOGIA E CONSUMO HÍDRICO DA
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.) IRRIGADA

MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA

Campina Grande, PB
Fevereiro, 2001

FENOLOGIA E CONSUMO HÍDRICO DA
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.) IRRIGADA

MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA

FENOLOGIA E CONSUMO HÍDRICO DA
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.) IRRIGADA

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Meteorologia da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia

Orientador: Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA

Campina Grande, PB
Fevereiro, 2001

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

Moura, Magna Soelma Beserra de

M929f Fenologia e consumo hídrico de goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada/Magna Soelma Beserra de Moura. – Campina Grande: UFPB, 2001.
124p.: il.

Dissertação (Mestrado). UFPB/CCT/DCA

1. Evapotranspiração 2. Necessidade Hídrica –
Goiabeira 3. Balanço de Radiação e de Energia 4.
Fenologia - Goiabeira
I. Título

CDU: 556.131

MAGNA SOELMA BESERRA DE MOURA

FENOLOGIA E CONSUMO HÍDRICO DA
GOIABEIRA (*Psidium guajava* L.) IRRIGADA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05/02/01

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA – Orientador
Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Universidade Federal da Paraíba



Dr. NAPOLEÃO ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão/EMBRAPA

Às minhas irmãs Mônica e
Aparecida e ao meu
sobrinho Rafael.

OFEREÇO.

Aos meus pais Antônio
Augusto de Moura e Rosa
Maria Beserra de Moura,
com amor e carinho.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Como em tudo o que faço em minha vida, sou eternamente grata a Deus e aos meus pais, que sempre me ensinaram a viver com fé, amor e coragem.

Aos meus avós, tios e primos, muito obrigada pelo carinho e pela força durante a grande caminhada da vida.

Ao CNPq pela concessão da bolsa, sem a qual não seria possível realizar este Curso; ao Banco do Nordeste do Brasil S.A. e a Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), pelo apoio; ao Curso de Mestrado em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba, em especial ao Prof. Dr. T. V. Ramana Rao, pela oportunidade e apoio concedido; à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/Semi-Árido), por ceder suas instalações, funcionários e pesquisadores, em especial aos funcionários Genival e Roque e aos pesquisadores José Moacir P. Filho, Antônio Heriberto de Castro Teixeira e José Monteiro Soares, este que, sem medir esforços, tanto contribuiu para a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo, coordenador do Projeto Integrado de Pesquisa do CNPq, nº 521278/98-8, título "Manejo das condições ambientais e de umidade do solo em áreas irrigadas com fruteiras no Nordeste do Brasil", no qual este estudo foi desenvolvido, obrigada por ceder os equipamentos, pela ajuda financeira e pela oportunidade concedida de me fazer parte deste importante grupo de pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, pessoa pela qual tenho grande admiração, obrigada pela orientação, confiança, incentivo e ensinamentos.

Ao professor José Espínola Sobrinho (ESAM), pela confiança, dedicação, ajuda, amizade e grande incentivo, durante toda minha vida acadêmica.

Aos colegas Fabrício, Betânia e Leilson pela ajuda na campanha de campo e no tratamento dos dados.

Ao Eng. Civil Eurico e a sua esposa, Eng. Agrônomo Denise, proprietários do pomar de goiabeiras, por abrir as portas de sua propriedade e ceder suas instalações e funcionários a esta pesquisa.

Aos meus colegas de curso, em especial a Ramón, Josiclêda, Cláudia, Dayse, Andréa e Emerson, muito obrigada pelo incentivo, ensinamento e valiosa companhia durante esses anos.

Aos colegas e amigos encontrados em Campina Grande e no Centro de Treinamento Diocesano, em Petrolina, pela convivência harmoniosa durante essa importante fase de minha vida.

Ao professor Francisco de Queiroz Porto Filho (ESAM) e a todos os professores e funcionários do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA/CCT/UFPB), em especial aos professores Dr. Mário de Miranda Villas Boas Ramos Leitão e Dr. Vicente de Paulo Rodrigues, e a Divanete Cruz Rocha e Eyres Diana Ventura.

A todos que acreditaram e/ou contribuíram para a realização e conclusão deste curso.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

RESUMO

ABSTRACT

	Pág.
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. O cultivo da goiabeira.....	5
2.2. Balanço de radiação.....	9
2.2.1. Radiação de ondas curtas.....	10
2.2.2. Albedo.....	11
2.2.3. Radiação de ondas longas.....	12
2.3. Balanço de energia baseado na razão de Bowen.....	13
2.4. Taxa de transpiração de culturas.....	17
2.5. Necessidades hídricas de culturas.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1. Experimento de campo.....	26
3.1.1. Localização.....	26

	Pág.
3.1.2. Características climáticas.....	27
3.1.3. Solo.....	28
3.1.4. Cultura estudada.....	29
3.2. Tratos culturais.....	31
3.3. Instalações e Instrumentos utilizados.....	33
3.4. Coleta de dados.....	34
3.5. Balanço de radiação.....	35
3.6. Estimativa da evapotranspiração – ET.....	36
3.6.1. Evapotranspiração real da cultura – ETc.....	36
3.6.2. Evapotranspiração de referência – ETo.....	41
3.7. Balanço de calor no caule.....	42
3.7.1. Teoria.....	42
3.7.2. Instalação dos sensores.....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1. Aspectos gerais do experimento.....	49
4.2. Estudos da fenologia da goiabeira.....	50
4.3. Balanço de radiação.....	56
4.4. Balanço de energia baseado na razão de Bowen.....	71
4.4.1. Comportamento dos componentes do balanço de energia.....	71
4.4.2. Comportamento da razão de Bowen.....	82
4.4.3. Análise de erros.....	90

	Pág.
4.4.4. Evapotranspiração pelo método do balanço de energia.....	98
4.5. Coeficiente de cultura.....	100
4.6. Taxa de transpiração da cultura.....	103
5. CONCLUSÕES.....	111
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 4.2.1. Curvas de crescimento dos frutos de goiaba, cultivar Paluma, determinadas através de medidas do comprimento e diâmetro, a intervalos de 5 dias, em Petrolina – PE.....	54
Figura 4.2.2. Curva de colheita dos frutos da goiaba, cultivar Paluma, para os tratamentos com irrigação por gotejamento e por microaspersão, em Petrolina - PE.....	55
Figura 4.3.1. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 1: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade.....	59
Figura 4.3.2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 2: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade.....	60

- Figura 4.3.3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 3: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade..... 61
- Figura 4.3.4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 4: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade..... 62
- Figura 4.3.5. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 1 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE..... 66
- Figura 4.3.6. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 2 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE..... 66
- Figura 4.3.7. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 3 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE..... 67

	Pág.
Figura 4.3.8. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 4 sobre a cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE.....	67
Figura 4.3.9. Comportamento médio diário do albedo da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.) irrigada, variedade 'Paluma', para as Fase 1 (a), Fase 2 (b), Fase 3 (c) e Fase 4 (d), em Petrolina – PE.....	68
Figura 4.3.10. Comportamento dos componentes médios, do balanço de radiação, para o período de saldo de radiação positivo, sobre a goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, durante as quatro fases de desenvolvimento.....	69
Figura 4.3.11. Comportamento do albedo médio diário da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.) irrigada, cultivar 'Paluma', durante todo o ciclo de produção, em Petrolina – PE	70
Figura 4.4.1. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 1: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade.....	74

- Figura 4.4.2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 2: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade..... 75
- Figura 4.4.3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 3: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade..... 76
- Figura 4.4.4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 4: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade..... 77
- Figura 4.4.5. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) durante a Fase 1 em Petrolina – PE..... 80
- Figura 4.4.6. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) durante a Fase 2 em Petrolina – PE..... 80

- Figura 4.4.7. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) durante a Fase 3 em Petrolina – PE..... 81
- Figura 4.4.8. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) durante a Fase 4 em Petrolina – PE..... 81
- Figura 4.4.9. Comportamento médio estacional dos componentes do balanço de energia, para o período de saldo de radiação positivo, sobre a goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, durante as quatro fases de desenvolvimento fenológico..... 82
- Figura 4.4.10. Fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor latente com a razão de Bowen corrigida (LE_c) para as Fases 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d) sobre a goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE..... 84
- Figura 4.4.11 Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE), para dias representativos da Fase 1, sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade..... 85

- Figura 4.4.12. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE), para dias representativos da Fase 2, sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade..... 86
- Figura 4.4.13. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE), para dias representativos da Fase 3, sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade..... 87
- Figura 4.4.14. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE), para dias representativos da Fase 4, sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade..... 88
- Figura 4.4.15. Comportamento médio diurno da razão de Bowen (H/LE), para a Fase 1 (a), Fase 2 (b), Fase 3 (c) e Fase 4 (d), sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE..... 89
- Figura 4.4.16. Comportamento da razão de Bowen (H/LE), médio para o para o período de saldo de radiação positivo, sobre a copa da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante as quatro fases fenológicas..... 89

- Figura 4.4.17. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c), médio da Fase 1, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE..... 93
- Figura 4.4.18. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c), médio da Fase 2, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE..... 94
- Figura 4.4.19. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c), médio da Fase 3, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE..... 95
- Figura 4.4.20. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c), médio da Fase 4, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE..... 96
- Figura 4.4.21. Média diária da diferença de temperatura úmida (a) e seca (b) entre os dois níveis acima da copa, do erro relativo (c) e absoluto na determinação do fluxo de calor latente (d) e da razão de Bowen (e), para todo período estudado, durante o horário de saldo de radiação positivo, sobre a cultura da goiaba, em Petrolina – PE..... 97

- Figura 4.4.22. Comportamento da evapotranspiração durante o ciclo produtivo do pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, obtida pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen..... 99
- Figura 4.4.23. Comportamento médio de cinco dias da evapotranspiração da cultura (ETc, litros) e da irrigação (I, litros) no pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), var. 'Paluma', em Petrolina – PE, durante um ciclo produtivo..... 100
- Figura 4.5.1. Comportamento médio de cinco dias do coeficiente de cultura (Kc) do pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), para as quatro fases de desenvolvimento, em Petrolina – PE..... 101
- Figura 4.5.2. Comportamento médio do coeficiente de cultura (Kc) observado ao longo das fases fenológicas do ciclo produtivo da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE..... 102

- Figura 4.6.1. Variação sazonal do fluxo de seiva diário das plantas 1 e 2, e do valor médio da radiação solar global, para o período de 21/07 a 18/10, na goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina - PE..... 105
- Figura 4.6.2. Fluxo de seiva e radiação solar global diária, para um dia de céu nublado, 09/08, (a) e céu claro, 27/08, (b), para a cultura da goiaba, antes da poda, em Petrolina – PE..... 107
- Figura 4.6.3. Fluxo de seiva e radiação solar global diária, para um dia de céu nublado, 17/09, (a) e céu claro, 24/09, (b), para a cultura da goiaba, após a poda, em Petrolina – PE..... 109
- Figura 4.6.4. Fluxo de seiva acumulado nas Plantas 01 e 02, durante o período de 21/07 a 18/10, em goiaba, em Petrolina – PE..... 110

LISTA DE QUADROS

	Pág.
Quadro 3.1. Vista geral do pomar de goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), var. 'Paluma', em Petrolina – PE.....	27
Quadro 3.2. Localização das plantas monitoradas no pomar de goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.). Em destaque a torre micrometeorológica, as baterias de tensiômetros e os tubos de acesso da sonda de nêutrons nas duas plantas em análise.....	31
Quadro 3.3. Torre micrometeorológica instalada sobre a cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), variedade 'Paluma', em Petrolina – PE.....	33
Quadro 3.4. Sistema automático de aquisição de dados Datalogger CR 21X (a) e CR 10X, com placa multiplexadora (b), da Campbell Scientific, Inc.....	35
Quadro 3.5. Componentes do balanço de calor em um segmento aquecido do caule.....	43

Quadro 3.6. Termojunções instaladas acima e abaixo do aquecedor para determinação da diferença de voltagem (AH e BH), usada para o cálculo dos fluxos verticais de calor para cima e para baixo no sensor.....	45
Quadro 3.7. Etapas da instalação dos sensores do balanço de calor no caule em goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), variedade 'Paluma', em Petrolina – PE: (a) fixação da termopilha e termopares; (b) isolamento com borracha e (c) isolamento com lâminas de papel alumínio.....	48
Quadro 4.1. Diferentes fases fenológicas da cultura da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), cultivar Paluma, em Petrolina – PE. (a) botões florais, (b) ramos com botões florais, flores abertas e fecundadas, (c) frutos caídos ao chão, devido ao ajustamento fisiológico e (d) frutos em diferentes estágios de maturação.....	53

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1. Médias mensais de algumas variáveis climatológicas de Bebedouro, Petrolina – PE, durante o período de maio a novembro de 2000.....	28
Tabela 3.2. Textura e umidade a base de massa, no ponto de murcha permanente e na capacidade de campo, do solo do pomar cultivado com goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), no PISNC, Petrolina – PE.....	29
Tabela 3.3. Resultado da análise química do solo do pomar cultivado com goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), no PISNC, Petrolina – PE.....	29
Tabela 4.1. Fases fenológicas da goiabeira (<i>Psidium guajava</i> L.), cultivar 'Paluma', após a poda de frutificação (10/05). Os dias compreendidos entre a poda e o início da brotação correspondem ao período de entumescimento das gemas.....	52

Tabela 4.2. Valores médios máximos dos componentes do balanço de radiação, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', para as Fases 1, 2, 3 e 4, em Petrolina – PE..... 65

Tabela 4.3. Valores da evapotranspiração da cultura, de referência e do coeficiente de cultura, durante um ciclo produtivo, para a goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, em Petrolina – PE..... 103

Capítulo 1 | INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.), pertencente à família *Myrtaceae*, é uma planta originária da América Tropical, havendo uma indeterminação quanto ao local mais provável de sua origem, que se situa entre o México e a América do Sul. A hipótese mais aceita é que a mesma teria como centro de origem uma região entre Brasil e Peru, de onde se difundiu para todas as regiões tropicais e subtropicais baixas e quentes do mundo.

O Brasil é o terceiro produtor mundial de goiaba, sendo superado apenas pela Índia e Paquistão. No Brasil, as plantações comerciais são encontradas, principalmente, nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Rio de Janeiro. Além do consumo ao natural, a goiaba apresenta grande importância na indústria de doces, no preparo de geléias, pastas, frutas em calda, purê, base para bebidas, refrescos, sucos, xaropes, vinhos e polpa congelada. Destaca-se ainda, por seu valor nutricional, pois segundo Maranca (1991) apresenta baixo teor calórico (60cal/100 g de fruta) e elevado teor de vitamina C (200-300mg/100 g de fruto).

Por se tratar de uma atividade frutícola que permite várias formas de aproveitamento dos frutos e por apresentar amplas possibilidades de consumo nos mercados interno e externo, a cultura da goiabeira integra importantes projetos comerciais de fruticultura irrigada no Nordeste brasileiro (Gonzaga Neto, 1990). No Submédio do São Francisco, somente no Projeto de Irrigação Senador Nilo coelho (PISNC), até o ano de 1997, a área plantada com esta espécie era de 701 ha, constituindo-se em uma ótima opção para a diversificação da fruticultura regional (CODEVASF, 2000). O cultivo irrigado da goiabeira no semi-árido do Nordeste brasileiro, além de apresentar um nível de produtividade relativamente mais alto que o registrado em outras regiões do país, pode produzir até duas safras por ano, devido principalmente a alta disponibilidade de energia solar durante todo o ano, o que permite ao produtor irrigante comercializar seus frutos nos centros consumidores do país e do exterior em diferentes épocas do ano. No entanto, é necessário o aprimoramento tecnológico da cultura, que garanta um padrão de qualidade que só poderá ser alcançado em cultivos racionais, cuja produção é otimizada através do plantio de cultivares selecionadas, adoção de técnicas adequadas de manejo, sistemas de irrigação eficientes e do conhecimento de suas reais necessidades hídricas, o que permite regularidade, quantidade e qualidade aos frutos destinados ao mercado consumidor, principalmente de frutas "in natura" (Gonzaga Neto & Soares, 1994).

A deficiência hídrica verificada nas regiões áridas e semi-áridas, e a necessidade de se conhecer as reais necessidade hídricas das culturas para otimização do uso da água e melhor aproveitamento edafoclimático das áreas irrigadas, tem motivado vários estudos objetivando determinar o consumo de

água necessário ao desenvolvimento de muitas culturas, principalmente no que se refere a determinação da evapotranspiração e do coeficiente da cultura.

A utilização do coeficiente de cultura na agricultura irrigada vem sendo estudada por diversos pesquisadores, e apesar desse coeficiente variar ao longo do ciclo produtivo e de cultura para cultura, recentemente sua utilização está tornando-se mais acessível, em função de diversos fatores, tais como: uma conscientização do produtor da necessidade de racionalização do uso da água e uma maior acessibilidade aos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, através do uso de softwares e estações meteorológicas automáticas. Allen *et al.* (1998) apresentam tabelas com os coeficientes de cultura para diversas espécies cultivadas; porém, para que os mesmos sejam utilizados em locais diferentes de onde foram concebidos, necessário se faz que haja uma calibração dos valores, pois uma irrigação baseada em valores empíricos de coeficiente de cultura, poderá acarretar superestimativa ou subestimativa das reais necessidades hídricas da cultura.

A necessidade de estudos sobre o consumo hídrico da goiabeira, nas suas diferentes fases fenológicas, torna-se clara quando se percebe que a quase totalidade dos agricultores irrigantes da região do Submédio do São Francisco, não utilizam técnicas que possibilitem a identificação adequada do momento de irrigar e da quantidade de água a ser empregada em cada evento de irrigação. Por sua vez, a maioria das empresas responsáveis pela elaboração dos projetos de irrigação na região, utilizam valores do coeficiente de cultura determinado para frutas cítricas, o que pode causar redução na produtividade e na qualidade dos frutos, além do risco de salinização do solo e contaminação do lençol freático.

Em virtude da importância e carência de informações a respeito do consumo hídrico da goiabeira nas condições edafo-climáticas do Nordeste, esta pesquisa objetivou determinar as necessidades hídricas da goiabeira irrigada no Submédio do São Francisco durante um ciclo produtivo. Nesse sentido, foi utilizado o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen para determinação da evapotranspiração da cultura. A pesquisa objetivou, ainda, determinar a transpiração da goiaba através do método do balanço de calor caulinar e realizar uma análise da fenologia da cultivar. Complementarmente, foi apresentado um estudo do comportamento do albedo e dos componentes dos balanços de radiação e de energia.

Capítulo 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Cultivo da Goiabeira

A goiabeira é uma planta da família Mirtaceae, do gênero *Psidium*, sendo *P. guajava* L. a espécie mais conhecida e importante no Brasil. A planta é um arbusto ou árvore de pequeno porte, do tipo perene, com copa arredondada. A altura das plantas não podadas varia entre 3 m a 8 m. O sistema radicular apresenta raízes adventícias primárias, que se concentram até a profundidade de 0,30 m no solo (Zambão & Bellintani Neto, 1998). O tronco apresenta diâmetro médio de 0,15 m a 0,25 m, caracteristicamente liso e cascas que se destacam com facilidade. As folhas são opostas, oblongas ou elípticas, coriáceas e consistentes, apresentando nervuras salientes na face dorsal, de cor verde intensa, com comprimento variável entre 0,05 m e 0,15 m e largura entre 0,03 m e 0,06 m; caem após a maturação, uma característica de plantas com folhas decíduas. As flores são brancas, hermafroditas; eclodem em botões isolados ou em grupo de dois ou três, localizadas na axila das folhas e nas brotações surgidas

em ramos maduros; há predominância da autopolinização. O fruto é do tipo baga, com formato ovalado, periforme ou arredondado, com diâmetro médio de 0,05 m a 0,07 m, peso médio de até 0,400 Kg e coloração variável do branco ao vermelho. A polpa é sucosa e doce, com numerosas sementes reniformes (Zambão & Bellintani Neto, 1998).

A variedade Paluma apresenta frutos de dupla aptidão: mesa e indústria, sendo a cultivar mais amplamente difundida e cultivada no Vale do São Francisco, cujos frutos apresentam peso entre 0,140 Kg a 0,250 Kg, forma ovóide com pescoço curto, diâmetros longitudinal de 0,08 m a 0,10 m e transversal de 0,07 m a 0,09 m; polpa de casca com peso médio de 0,140 Kg, de coloração vermelha intensa, com espessura de 0,012 m a 0,013 m, pequena porcentagem de sementes (4,96%) e bom rendimento de polpa (93,76%) (Medina, 1991). Segundo este mesmo pesquisador, apresenta ainda, consistência firme, sabor muito bom e boa capacidade de conservação pós-colheita

Apesar de ser nativa da região tropical, a goiabeira vegeta e produz bem, desde o nível do mar até a altitude de 1700 m, sendo, por essa razão, amplamente difundida em várias regiões do país (Gonzaga Neto & Soares, 1994). Os limites de difusão da cultura estão condicionados, particularmente, pela temperatura, radiação solar, umidade do ar e disponibilidade de água no solo. Em regiões de clima tropical, a goiabeira pode florescer e frutificar continuamente durante o ano todo, desde que haja disponibilidade hídrica no solo (Medina, 1991).

Para o desenvolvimento de cultivos comerciais, a condição climática favorável compreende a temperatura média anual entre 23 °C e 28 °C. Para o seu cultivo em condições de sequeiro, é necessária uma precipitação pluviométrica

anual entre 800 mm e 1000 mm, bem distribuídos. Seu cultivo em locais onde ocorrem baixas precipitações e elevadas demandas evaporativas é possível, desde que se realize a irrigação complementar. Caso ocorra deficiência hídrica prolongada, pode haver atraso no florescimento e aumento na queda de frutos (Sousa *et al.*, 1997). Os ventos frios e as geadas são altamente prejudiciais à cultura, causando danos físicos tanto nos pomares em formação, com a quebra de ramos novos, quanto naqueles em produção, com a ocorrência de danos mecânicos nos frutos.

A goiabeira desenvolve-se bem em quase todos os tipos de solo, principalmente naqueles profundos, permeáveis, com pH em torno de 5,0 – 6,0; porém, não vegeta bem em solos encharcados ou argilosos (Zambão & Bellintani Neto, 1998). Portanto, recomenda-se que sejam evitados solos argilosos e mal drenados, principalmente nas áreas irrigadas onde existe o risco potencial de encharcamento (Gonzaga Neto, 1990).

Mercado-Silva *et al.* (1998), estudando o desenvolvimento de frutos de goiaba cultivar 'Media China', coletados na primavera-verão e outono-inverno, no México, chegaram a conclusão de que no primeiro período, os frutos precisam de 130 dias para atingir a maturação, enquanto que no segundo período são necessários 190 dias. Já Feldberg *et al.* (1998) estudaram o crescimento de frutos de goiaba Seleção 8502-01, em Jaboticabal - SP, onde encontraram períodos que variam entre 124 e 132 dias da floração à maturação dos frutos. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (1998), que estudando a fenologia dos frutos da variedade Paluma, no semi-árido paraibano, chegaram a conclusão de que são necessários de 121 a 128 dias.

A curva de crescimento do fruto da goiabeira é importante para a exploração comercial voltada à exportação de frutos para o consumo “in natura”, como também para o melhor planejamento das atividades agronômicas, tais como: período de carência para a pulverização, ensacamento do fruto e colheita. Pereira & José (1987) realizaram estudos sobre o crescimento do fruto da variedade Paluma, tendo constatado que a sua curva de crescimento é do tipo dupla sigmoideal, com três períodos de crescimento, sendo o primeiro caracterizado por um crescimento rápido, o segundo com crescimento mais lento, compreendendo o endurecimento da polpa e das sementes e o terceiro por um crescimento rápido com alteração na cor da polpa, culminando com a completa maturação do fruto, características estas também encontradas por Feldberg *et al.* (1998), Mercado-Silva *et al.* (1998), Silva *et al.* (1998), Singh & Sehgal (1968) e Rathore (1976).

O abortamento de frutos pode representar um sério problema nos pomares comerciais de goiabeira. Segundo Singh & Sehgal (1968), o índice de pegamento de frutos varia muito com a cultivar. Estes pesquisadores encontraram valores deste índice variando de 54% a 96% para o período de 20 dias após a antese, e verificaram que esse índice é ainda menor (6% a 56%) quando se observa o período de 2 meses após a abertura das flores. O elevado índice de abortamento em todas as cultivares foi atribuído aos pássaros, fatores climáticos e distúrbios fisiológicos.

2.2. Balanço de Radiação

O balanço de radiação em uma determinada superfície é a contabilização líquida entre a energia radiante recebida e refletida pela superfície. O saldo de radiação, também denominado de radiação líquida, constitui-se da soma algébrica dos balanços de radiação de ondas curtas e longas, considerando-se positivos, os fluxos verticais na direção da superfície e negativos quando na direção do espaço. Seu estudo é muito importante, dada sua influência sobre o comportamento de vários elementos meteorológicos e na evapotranspiração das culturas, proporcionando importantes alterações no clima e microclima em diferentes regiões do globo terrestre.

Neste sentido, diversos pesquisadores desenvolveram trabalhos a fim de determinar o comportamento e/ou a quantificação da radiação disponível para as trocas termodinâmicas entre a atmosfera, o solo e as culturas.

Teixeira *et al.* (1997) determinaram o saldo de radiação acima ($R_{n,s}$) e abaixo ($R_{n,i}$) da folhagem da cultura da videira e sua correlação com o índice de área foliar (IAF), em Petrolina – PE. Observaram que a relação de $R_{n,i}/R_{n,s}$ decresce e o IAF cresce rapidamente, alternado as proporções de energia disponível ao sistema de cultivo, absorvidas pelo solo e pelas plantas. Já Alves & Azevedo (1997), ao determinarem o balanço de radiação num cultivo de melão, observaram que o saldo de radiação representou 55%, 59% e 64% da radiação solar incidente no 5^o, 20^o e 48^o dia após a semeadura, respectivamente.

O saldo de radiação é um termo de grande importância e muito significativo em estudos meteorológicos de meso e micro escalas, por constituir a principal fonte de energia para os fluxos turbulentos de calor sensível e de calor latente, ou

seja, para o aquecimento da biomassa e para os processos fotossintéticos. Em aplicações hidrológicas e agrícolas, a evaporação pode ser estimada através de modelos físicos se o saldo de radiação for conhecido (Manzi *et al.*, 1985).

2.2.1. Radiação de ondas curtas

O Sol é uma gigantesca usina termonuclear, geradora e emissora de energia para o espaço, parte da qual a Terra intercepta. O fluxo radiante emitido pelo sol atravessa o espaço sideral e alcança a atmosfera terrestre, interagindo com a mesma, onde sofre processos de absorção e difusão, e se constitui na principal fonte de energia para os processos físicos que ocorrem no sistema Terra-atmosfera. Assim, variações na fonte de energia causam, diretamente, variações em diversos parâmetros, dentre os quais: temperatura, pressão, umidade, entropia e massa específica.

Quase todo espectro da radiação solar é limitado ao comprimento de onda entre aproximadamente $0,15 \mu\text{m}$ e $4,0 \mu\text{m}$ (99%), sendo mais ou menos 50% desta energia total contida na banda do visível (Rosenberg *et al.*, 1983).

André *et al.* (1988) estudaram as variações diárias dos componentes do balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica de terra firme, e encontraram valores máximos da R_g iguais a 900 W/m^2 e 1000 W/m^2 , e de R_n iguais a 600 W/m^2 e 700 W/m^2 , respectivamente, para as estações seca e chuvosa. Moura (1998) realizou o balanço de radiação sobre a superfície do solo descoberto em Mossoró – RN, para primavera e inverno, e verificou que na primavera o balanço de radiação apresentou superioridade, em termos de valores, quando comparado com a estação de inverno, em todos os seus componentes, com acréscimo de

22,02% para a radiação global, 34,33% para a radiação refletida e 5,81% para o saldo de radiação.

2.2.2. Albedo

Albedo ou poder refletor é a fração da radiação solar global que atinge uma superfície qualquer e é refletida por ela. Segundo Rosenberg *et al.* (1983) o termo albedo é usado para descrever a reflexão dos raios solares entre 0,3 e 4,0 μm , ou a reflexão somente no comprimento de onda do visível (0,4 – 0,7 μm). O termo albedo, em trabalhos mais recentes, tem sido definido como coeficiente de reflexão da superfície para a radiação de ondas curtas. O albedo varia de acordo com a superfície e é altamente dependente do ângulo de incidência dos raios solares ou ângulo zenital do Sol, que varia ao longo do dia, apresentando valor mínimo próximo ao meio-dia e máximos no início da manhã e final da tarde.

Embora para uma determinada superfície o albedo seja variável, via de regra utiliza-se um valor constante. Diversos pesquisadores, entre eles Burman & Pochop (1994) e Rodrigues *et al.* (1997) sugerem valores mínimos, máximos e médios para diversas superfícies. Rosenberg *et al.* (1983) afirmaram que o albedo de ondas curtas para superfícies vegetadas não varia muito e que muitas culturas refletem em torno de 20-30% da radiação solar incidente.

Os resultados obtidos por Idso *et al.* (1975), mostram que para solo úmido, a variação diurna do albedo exibe uma simetria em torno do meio-dia solar em resposta aos efeitos do ângulo de elevação do Sol. Este efeito pode ser atenuado, à medida que o solo perde umidade, tendendo novamente à simetria quando o solo torna-se completamente seco. Oliveira (1998), trabalhando com a cultura do

amendoim irrigada por aspersão, no semi-árido nordestino, constatou para dias claros e sem irrigação valores de albedo na ordem de 25%. Já para dias com irrigação observou-se uma queda brusca do albedo médio, em torno de 9%, por volta do meio dia. Verificou também redução no albedo médio diário à medida que a cultura foi se desenvolvendo e cobrindo totalmente o solo.

2.2.3. Radiação de ondas longas

A superfície terrestre absorve energia do sol e passa a emitir energia radiante denominada de "ondas longas", no comprimento de onda entre 3 e 80 μm (Rosenberg *et al.*, 1983).

O saldo de radiação de ondas longas pode ser determinado por diferença, quando se dispõe de equipamentos que possibilitem medir simultaneamente o saldo de radiação, a radiação global e a radiação refletida. Atualmente, existem aparelhos que permitem a realização do balanço de radiação de ondas longas, bem como a determinação de seus componentes; no entanto, ainda são instrumentos de difícil acesso devido ao seu elevado custo de aquisição. Devido ao elevado preço de aquisição e manutenção dos equipamentos, bem como, de um sistema de aquisição dos dados, diversos pesquisadores têm dedicado-se à tarefa de investigar expressões empíricas para estimar a radiação de ondas longas. Tais expressões, não obstante práticas, têm o inconveniente de apresentarem resultados confiáveis, em princípio, apenas nas condições para as quais foram desenvolvidas. Sua utilização em outras regiões, com características diferentes das de origem, pode conduzir a erros grosseiros. Por esse motivo, seu

uso deve ser recomendado apenas após serem testadas e ajustadas às condições locais.

Santos *et al.* (1984) apresentam uma revisão a respeito da radiação de onda longa, em Tucuruí, que inclui estudos sobre emissividade, irradiância e o efeito das nuvens, e a estimativa da radiação de onda longa utilizando observações de superfície. Manzi *et al.* (1985) testaram modelos que permitem a estimativa da radiação de onda longa em pesquisa realizada em floresta, na região de Manaus. André *et al.* (1988) observaram que o saldo de radiação de onda longa apresentou o mesmo comportamento diário dos demais termos do balanço de radiação, com amplitudes de $-187,67 \text{ W/m}^2$ e $-131,17 \text{ W/m}^2$, para as estações chuvosa e seca, respectivamente, sobre a Floresta Amazônica.

2.3. Balanço de Energia baseado na razão de Bowen

O saldo de radiação sobre um dossel vegetal representa a quantidade de energia na forma de ondas eletromagnéticas, que este dispõe para repartir entre os fluxos de energia necessários aos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e do solo e para fotossíntese (Tubelis *et al.*, 1976). Em outras palavras, a radiação líquida representada pelo saldo de radiação é o resultado das trocas de energia que se estabelecem na atmosfera.

O fluxo máximo de uma propriedade, em uma dada direção, é definido como a quantidade dessa propriedade que atravessa uma superfície unitária perpendicular àquela direção na unidade de tempo. Há, essencialmente, quatro tipos de fluxos de energia em uma superfície ideal, conhecidos como saldo de

radiação à superfície (R_n), fluxos de calor sensível (H), de calor latente (LE) e de calor do solo (G) (Arya, 1988).

Durante o dia a superfície do solo recebe radiação e vai se aquecendo continuamente, resultando em fluxos de calor para o interior do solo (durante o dia) e para a atmosfera (durante a noite). A energia usada no processo fotossintético pode ser contabilizada ao longo do desenvolvimento da cultura, multiplicando-se o índice de produção de matéria seca (g/cm^2) no período, pela constante energética apropriada da cultura, necessária para produzir uma grama de matéria seca. Em muitos casos essa energia é desprezível (Leitão, 1989).

O fluxo de calor sensível sobre uma superfície é resultante da diferença entre as temperaturas do ar e da superfície. Certamente, a temperatura na camada limite varia continuamente com a altura. Próximo à interface, a transferência de calor ocorre por condução molecular. O fluxo de calor sensível geralmente é dirigido para fora da superfície durante o dia quando a superfície é mais quente que o ar, e vice versa durante a noite.

O fluxo de calor latente ou de vapor d'água é resultado da evaporação e/ou evapotranspiração em uma superfície e é dado pelo produto do calor latente de evaporação pela massa de água evaporada. A evaporação ocorre tanto em superfícies líquidas como em solo úmido e superfícies vegetadas, quando o ar não encontra-se saturado de vapor. Este processo é mais acentuado durante o dia, devido a maior quantidade de energia disponível que produz aquecimento do ar e conseqüentemente provoca déficit de pressão de vapor.

A razão entre os fluxos de calor sensível e latente foi proposta por Bowen (1926), como forma de estudar a partição de energia disponível, e ficou conhecida como razão de Bowen (β). O valor de β depende fundamentalmente das

condições hídricas da superfície evaporante. Se a superfície estiver umedecida, a maior parte de R_n será utilizada na forma de LE, resultando em pequenos valores de β . Porém, se a superfície apresentar restrição hídrica, a maior parte de R_n será utilizada para o aquecimento do ar, resultando em elevado valor de β (Pereira *et al.*, 1997).

Por se tratar de um método prático de determinação da evapotranspiração, a razão de Bowen tem sido utilizada por diversos pesquisadores, mais recentemente por: Silva (2000), Lopes (1999), Kustas *et al.* (1999), Oliveira (1998), Dugas *et al.* (1998), Devitt *et al.* (1998), Eltahir (1998), Chan *et al.* (1998), dentre outros.

Todd *et al.* (2000) compararam o fluxo de calor latente estimado pelo método do balanço de energia-razão de Bowen com medidas de lisímetros em uma superfície vegetada com alfafa (*Medicago sativa* L.) em condição irrigada no semi-árido. Foram utilizados dois lisímetros de pesagem e dois sistemas da razão de Bowen. Observou-se diferenças da ordem de 5-15% entre os lisímetros, durante o dia e de 25-45% durante a noite. As diferenças observadas nos dois sistemas da razão de Bowen foram menores, cerca de 8%, quando os mesmos foram colocados no mesmo local e mesma altura; porém, esta diferença aumentou quando os sensores foram colocado em mesmo local e em diferentes alturas, ou quando a altura do sensor era a mesma em diferentes locais do campo. Quando compararam os dois métodos, verificou-se grandes diferenças nos valores do fluxos de latente, principalmente no primeiro e segundo corte, diminuindo durante os três cortes seguintes. Essas grandes diferenças foram observadas quando a razão de Bowen foi menor que zero, condição esta

observada em dias quente, seco e ventilados, ou quando o fluxo de calor latente foi maior que o ($R_n - G$).

Asseng & Hsiao (2000) realizaram estudo sobre o balanço de energia em uma cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.), antes do último corte, imediatamente após o corte, durante a rebrota e a fase inicial de senescência. Antes do corte o valor da evapotranspiração da cultura apresentava-se bastante próximo do valor da evapotranspiração de referência, com a maior parte do saldo de radiação sendo utilizado para evaporação e uma pequena parte para o fluxo de calor sensível. Imediatamente após o corte, a evapotranspiração da cultura era visivelmente reduzida, tendo a menor fração do saldo de radiação sido usada no processo de evapotranspiração, enquanto a maior foi dissipada como fluxo de calor sensível e de calor no solo. A evapotranspiração caiu para 1 mm por dia, mas começou a aumentar logo após o corte durante duas semanas seguintes.

Uma série de medidas do balanço de energia foi realizada por Barradas *et al.* (1999) em uma área com vegetação natural na Cidade do México, durante o final da estação seca e início da estação úmida. Estes autores observaram que durante a estação seca 69% do saldo de radiação foi dissipado como calor sensível e 25% como calor latente. Já durante a época úmida, houve aumento da utilização do saldo de radiação nos processos evaporativos, tendo o fluxo de calor latente atingido valores na ordem de 70% de R_n e o fluxo de calor sensível de 27% de R_n . Essas variações foram atribuídas às condições de umidade do solo e à fenologia da planta. Mokate *et al.* (1995), também estudaram as variações dos fluxos de calor sensível e latente, durante as várias fases de desenvolvimento do trigo. Estes pesquisadores concluíram que a razão LE/R_n se constitui no melhor

indicador da demanda hídrica da cultura, superando o coeficiente de cultura e outros fatores da cultura comumente usados.

Os estudos em que se aplica o método do balanço de energia são vários; no entanto, raros são aqueles que incluem uma análise de erros associada à utilização desse método. Um dos poucos estudos reservados à discussão dos erros provocados em LE devido às medições dos parâmetros do balanço de energia foi apresentado por Fuchs & Tanner (1970). A técnica empregada por esses pesquisadores baseou-se no estudo de McCuen (1973), e que foi aprimorado por Angus & Watts (1984). A análise clássica de erros consistia em se comparar as medições de LE obtidas com o BERB com métodos independentes, geralmente obtidas usando-se lisímetros. Algumas contribuições foram fornecidas por Angus & Watts (1984), Silva (2000), Lopes (1999) e Perez *et al.* (1999). Perez *et al.* (1999) analisaram os erros associados ao método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, para determinar analiticamente a confiabilidade nos valores de β e dos fluxos de calor latente e sensível. Verificaram que se a advecção é negligenciada, o método é capaz de determinar, corretamente, a partição dos fluxos na superfície quando certas condições, consistentes com gradiente-fluxo, são satisfeitas. Estes autores propõem um método analítico para encontrar o limite de β ao redor de -1 , que resulta em cálculos de fluxos de calor latente e sensível inaceitáveis.

2.4. Taxa de Transpiração de Culturas

Quando se trabalha com culturas que cobrem de forma descontínua, a superfície do solo, as plantas podem ser tratadas de forma individualizada, no que

se refere ao consumo hídrico. A irrigação de pomares utiliza métodos de fornecimento localizado de água e, neste caso, o conhecimento da transpiração de cada árvore é fundamental, porque esse será o consumo hídrico mínimo da árvore. A partir da década de 80, o método do balanço de calor no caule tem sido aprimorado para estimativa do fluxo de seiva, e conseqüentemente, da transpiração (Pereira *et al.*, 1997).

O fluxo de seiva reflete muito bem a absorção de água no solo para intervalo de 24 horas e desde que não haja deficiência hídrica acentuada, indica o volume real de água transpirada pela planta (Pereira *et al.*, 1997).

Medidas diretas do uso da água em plantas isoladas, sem que haja alteração no meio ambiente ou nos fatores fisiológicos que alteram a transpiração, têm sido possível desde o início das pesquisas de Sakuratani (1981) e Baker & Van Bavel (1987). A partir daí, um grande número de estudos tem usado o método do fluxo de seiva para determinação da transpiração de plantas herbáceas como algodão (Baker & Van Bavel, 1987; Dugas, 1990; Ham *et al.*, 1990), girassol (Sakuratani, 1981; Baker & Van Bavel, 1987), soja (Sakuratani, 1981;1987), e outras espécies, como *Acacia mangium* (Cienciala *et al.*, 2000), eucalipto (Vertessy *et al.*, 1997), maçã (Nadezhdina, 1999), dentre outros. No Brasil esta técnica ainda é recente e vem sendo aplicada principalmente em fruteiras, como uva (Silva *et al.*, 2000) e lima ácida (Marin *et al.*, 2000, Angelocci *et al.*, 2000).

Diversos estudos têm sido desenvolvidos visando a aplicação do método do fluxo de seiva em plantas de diâmetro elevado e pequeno, bem como a influência do uso de aquecedores de diferentes larguras e a aplicação de potência variável na performance do sensor.

Ham & Heilman (1990) aplicaram o método do balanço de calor no caule em plantas de girassol com 16 mm de diâmetro, utilizando aquecedores de 10 e 20 mm de largura, e concluíram que a relação entre o diâmetro do caule e o aquecedor é muito importante para o adequado desempenho do sensor; e que a largura do aquecedor deve ser proporcional ao diâmetro do caule. Concluíram ainda que o aumento no calor aplicado ao caule não provoca variação na performance do sensor.

Senock & Ham (1993) apresentaram modificações no desenho dos sensores para serem utilizados em plantas com caule irregular e de pequeno diâmetro. Eles obtiveram $\pm 5\%$ de precisão dos instrumentos, para solo úmido, tanto em casa de vegetação como no campo, para a *Glycine max*. Já Kjeldgaard *et al.* (1997) utilizaram dois tipos de sensores para medir o fluxo de seiva no caule de plantas de girassol, tomate e milho. Num dos sensores aplicou-se voltagem constante e no outro voltagem variável. Eles concluíram que os sensores que utilizaram voltagem variável tendem a subestimar os fluxos, tanto diários como para 15 minutos; e que o sensor que aplicou voltagem constante apresentou melhores resultados, quando comparados com a transpiração determinada por lisímetros.

Além de pesquisas com diferentes sensores, aquecedores e voltagem aplicada, muitos pesquisadores visam, realmente, a aplicabilidade do método para determinação da transpiração de diversas culturas. Então, existem diversos trabalhos comparando a transpiração determinada pelo método do fluxo de seiva com outros métodos de medida ou estimativa. Dugas (1990) comparou medidas do fluxo de seiva com a transpiração determinada através de lisímetros de pesagem na cultura do algodão. Inicialmente, para confirmar a precisão do

método, valores do fluxo de seiva foram comparados com a transpiração determinada por pesagem dos vasos com plantas, em casa de vegetação, onde encontraram raiz quadrada do erro médio de 8,6%. No campo, observou-se similaridade entre os valores horários de fluxo de seiva e transpiração dos lisímetros; no entanto, grande variação nos valores do fluxo de seiva entre as plantas, variação essa que o autor atribuiu aos diferentes tamanhos entre as plantas com sensores e as plantas dos lisímetros. Então, chegou a conclusão que o método fornece medidas precisas do fluxo de seiva para plantas herbáceas individuais.

Angelocci *et al.* (1997) compararam fluxos diários de transpiração máxima, estimados pelo método de Penman-Monteith adaptado, com os fluxos de seiva determinados pelo método do balanço de calor no caule, em pomares de macieira, em dois locais no sudoeste da França. Esses autores observaram que em determinadas situações houve concordância entre os métodos, e em outras não, possivelmente ou devido, a erros na estimativa do fluxo de seiva, pois o método do balanço de calor não havia sido testado para macieiras com tronco nas dimensões utilizadas; ou pode ter ocorrido advecção de calor não perceptível pelo método de estimativa de Penman-Monteith; ou ainda, devido a possível ocorrência de erros nas estimativas pelo método de Penman-Monteith devido as aproximações do próprio modelo ou simplificações adotadas.

Lascano *et al.* (1992) determinaram o uso de água em plantas de uva para vinho, var. Chardonnay de três anos de idade, durante o período compreendido entre a antese e a colheita, com a transpiração determinada por medida gravimétrica e por fluxo de seiva. Os resultados mostraram uma concordância de 5 a 10% entre os métodos. O valor médio acumulado do fluxo de seiva variou de

124 mm \pm 12 mm, enquanto que a evapotranspiração média acumulada no período foi de 528 mm \pm 13 mm, implicando em uma evaporação do solo igual a 77% da evapotranspiração.

Gutiérrez & Meinzer (1994) determinaram a transpiração do café, no Hawái, através do método do balanço de calor no caule, e observaram que a transpiração variou de 40% a 95% da evapotranspiração da cultura, com índice de área foliar respectivamente variando de 1,4 a 6,7. Eles verificaram valores da transpiração em plantas de 3 anos de idade, igual a $3,58 \pm 0,40$ mm/dia, para uma evapotranspiração da cultura igual a $5,31 \pm 0,39$ mm/dia, e índice de área foliar de 5,3. Silva *et al.* (2000) confirmaram a possibilidade de se medir o fluxo de seiva na videira. Estes pesquisadores encontraram valores de transpiração na ordem de 55% a 60% da evapotranspiração real da cultura determinada através do balanço hídrico no solo, sendo observada elevada evaporação.

2.5. Necessidades Hídricas de Culturas

A razão entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência origina os coeficientes de cultura (K_c), que dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da densidade de plantio e das condições atmosféricas dominantes. Segundo Doorembos & Pruitt (1977), o K_c relaciona a evapotranspiração de uma cultura que cresce sob condições ótimas produzindo rendimentos máximos com a de uma cultura de referência. Assim, o conhecimento do coeficiente de cultura permite a determinação das necessidades hídricas das culturas, uma vez que seja determinada a evapotranspiração de referência.

Diversos pesquisadores têm realizado estudos para determinação do coeficiente de cultura visando sua aplicabilidade na determinação da lâmina de água necessária às culturas, principalmente, em cultivos irrigados (Silva, 2000; Teixeira *et al.*, 1999; Bezerra & Oliveira, 1999; Fernandes *et al.*, 1999; Miranda *et al.*, 1999). No entanto, a aplicabilidade desses coeficientes é restrita para as condições climáticas e cultura para as quais foram determinados. Logo, há a necessidade de calibração para sua utilização em lugares diferentes de onde foram concebidos. Há de se ressaltar que o coeficiente de cultura varia, também, de acordo com o estágio fenológico da cultura e com o métodos utilizado para sua determinação (Allen *et al.*, 1998).

Ávila Netto *et al.* (2000) determinaram as exigências hídricas da videira (*Vitis vinifera* L., variedade "Itália") na região do Submédio São Francisco através da evapotranspiração da cultura determinada pelo método do balanço hídrico e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman. O coeficiente da cultura variou entre 0,50 e 0,74, com consumo hídrico da cultura máximo de 4,33 mm/dia. Teixeira *et al.* (1999) também determinaram a evapotranspiração da videira através do balanço de energia baseado na razão de Bowen e a evapotranspiração de referência por dois métodos: Penman-Monteith e Tanque Classe "A". Esses pesquisadores encontraram valores mínimos ($K_c < 0,65$) do K_c durante a fase de brotação de gemas, e máximos ($K_c = 1,15$) durante o subperíodo de desenvolvimento e maturação de bagas. Observaram, ainda, variabilidade entre os coeficientes de cultura determinados pelos dois métodos utilizados para determinação da E_{To} ; no entanto, concluíram que ambos podem ser utilizados, desde que se utilize o valor específico para cada método de estimativa de E_{To} .

O coeficiente de cultura do melão foi determinado por Miranda *et al.* (1999) para a região litorânea do Ceará. Os autores utilizaram lisímetros de pesagem com a cultura, para determinação da evapotranspiração da mesma, e com a grama, para determinar a evapotranspiração de referência (ET_o). Utilizaram, ainda, o método de Penman-Monteith para estimativa da ET_o. Os coeficientes de cultura determinado por ambos os métodos foram bem semelhantes; porém, diferiram bastante daqueles indicados pela FAO em Allen *et al.* (1998), para a região do Mediterrâneo, o que mostra a importância da realização de estudos locais e com as variedades utilizadas na região para a determinação do K_c.

Já Bezerra & Oliveira (1999) utilizaram o método do balanço hídrico no solo na determinação da evapotranspiração da cultura do milho e o método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) na obtenção da evapotranspiração de referência para determinação do K_c. Os resultados evidenciaram uma boa aproximação com os valores da FAO.

Azevedo *et al.* (1993) também utilizaram diversos métodos para estimativa da evapotranspiração de referência (Penman, Priestley & Taylor adaptado a condições advectivas, radiação e tanque Classe 'A'), a fim de determinar as necessidades hídricas do algodão, cuja evapotranspiração foi determinada por meio de lisímetros. Esses pesquisadores concluíram que o K_c referente ao método de Penman foi o que mais se aproximou do sugerido pela FAO; no entanto, as necessidades hídricas do algodoeiro podem ser estimadas com base no K_c proposto pelos mesmos, com a evapotranspiração de referência estimadas pelos diversos métodos analisados.

Silva (2000) encontrou coeficiente de cultura para a mangueira irrigada no Vale do São Francisco de 0,71, valor este inferior ao utilizados pelos produtores

da região (0,75), e concluiu que a produtividade da mangueira é fortemente influenciada pela lâmina de água aplicada no período de maior atividade evapotranspiratória. Segundo o autor, o método do balanço hídrico no solo mostrou-se mais eficiente para determinação da evapotranspiração da cultura e de seu consumo hídrico que o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, uma vez este não foi sensível às alterações fenológicas da cultura.

Casa *et al.* (2000), desenvolveram um estudo com o objetivo de testar a fórmula de Penman-Monteith proposta pela FAO para determinação da evapotranspiração de referência e, conseqüentemente, do coeficiente de cultivo. Na oportunidade foi utilizado um campo cultivado com "linseed" (*Linum usitatissimum* L.) na região central da Itália, cuja evapotranspiração foi determinada pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. Os autores compararam determinações do K_c obtidas no campo com estimativas usando o método da FAO 56 (Allen *et al.*, 1998), na qual a estimativa do coeficiente de cultura é dividida em duas partes. Os resultados mostraram semelhança entre os valores medidos e estimados para todas as fases de desenvolvimento da cultura, exceto, para a fase inicial.

Gutiérrez & Meinzer (1994) estimaram a água utilizada e a necessidade de irrigação do café (*Coffea arabica*, "Yellow Catuai") no Havaí. Para isso, determinaram o K_c utilizando o balanço de energia baseado na razão de Bowen para determinar a evapotranspiração da cultura e a equação de Penman modificada para estimar a evapotranspiração de referência. Encontraram K_c de 0,58; 0,75 e 0,79 para plantas de 1,2 e 4 anos de idade, respectivamente. Observaram ainda a variação sazonal do K_c .

Como pode ser observado, os estudos com a cultura da goiabeira restringem-se a determinação dos períodos de duração do ciclo e de crescimento de frutos, mas há uma grande lacuna no que concerne a determinação de suas necessidades hídricas, principalmente na região do Vale do Submédio São Francisco, daí os objetivos desta pesquisa.

Capítulo 3 | MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento de Campo

3.1.1. Localização

O Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC) é resultado de uma decisão do Governo Brasileiro de impulsionar o desenvolvimento do Nordeste através da agricultura irrigada, e elevar os níveis de renda, o padrão de vida e a diminuição do êxodo rural. O projeto tem sido executado pela Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), sob a jurisdição da 3ª Diretoria Regional.

O Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho está localizado à margem esquerda do Rio São Francisco, no Nordeste Brasileiro, estendendo-se desde a Barragem de Sobradinho, no município de Casa Nova-BA, até o município de Petrolina-PE, que tem cerca de 80% da área do Perímetro.

O experimento de campo foi conduzido em um pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), variedade 'Paluma' (Quadro 3.1), no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Núcleo 09, no lote número 1194, distante aproximadamente 8,5 km da cidade de Petrolina-PE (09°09'S; 40°22'W; 365 m).



Quadro 3.1. Vista geral do pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), var. 'Paluma', em Petrolina – PE

3.1.2. Características Climáticas

Segundo a classificação climática de W. Koeppen, a região do Vale do Submédio São Francisco apresenta clima do tipo BSW^h, semi-árido (Reddy & Amorim Neto, 1993). A estação chuvosa compreende, em média, os meses de janeiro a abril, com precipitação média anual em torno de 530,0 mm, irregularmente distribuídos. A temperatura do ar média anual é de 26,5 °C, com

pouca oscilação entre os meses e os anos, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

As médias mensais das variáveis climatológicas obtidas durante o período de maio a novembro de 2000, na estação de Bebedouro, Petrolina – PE são mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Médias mensais de algumas variáveis climatológicas de Bebedouro, Petrolina – PE, durante o período de maio a novembro de 2000

Mês	Ta (°C)	UR (%)	ECA (mm/dia)	n (horas)	V (Km/dia)	P (mm)
Maio	24,8	82,3	5,93	7,2	157,4	21,9
Junho	23,7	78,1	5,55	6,0	197,58	15,0
Julho	23,4	67,9	6,08	7,2	200,00	3,8
Agosto	24,7	71,7	7,53	8,0	250,30	1,4
Setembro	25,7	79,9	8,04	7,5	283,20	1,0
Outubro	26,9	59,5	9,24	9,1	249,20	1,9
Novembro	25,8	70,8	6,65	7,6	174,0	144,6
Média	25,0	72,9	7,0	7,5	216,0	189,6

3.1.3. Solo

Os solos do Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho apresentam grande variabilidade na capacidade de armazenamento de água, drenagem e profundidade de camada impermeável. Em geral, os solos são de textura arenosa com alta capacidade de infiltração, baixa capacidade de retenção da água, baixa fertilidade natural e acidez moderada, necessitando da aplicação de fertilizantes para o uso agrícola (Quaglia *et al.*, 1989).

A análise do solo do pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), no PISNC, resultou em um solo de textura arenosa, com média no perfil de 0,0 m a 1,2 m igual a 90,67% de areia, 5,67% de argila e 3,67% de silte. A umidade do

solo a base de massa na capacidade de campo (0,06 atm) e no ponto de murcha permanente foi, em média, igual a 8,84% e 3,00%, para todo o perfil (Tabela 3.2).

Os resultados da análise química do pomar são mostradas na Tabela 3.3.

Tabela 3.2. Textura e umidade a base de massa, no ponto de murcha permanente e na capacidade de campo, do solo do pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), no PISNC, Petrolina – PE

Mês	Granulometria (g/Kg)			Umidade do solo (%)	
	Areia	Silte	Argila	0,06 atm	15 atm
0-20	940	30	30	7,67	3,00
20-40	930	40	30	8,67	2,67
40-60	910	40	50	8,00	3,33
60-80	900	30	70	9,00	3,00
80-100	890	30	80	9,67	3,00
100-120	870	50	80	10,00	3,00
Média	900,67	30,67	50,67	8,84	3,00

Tabela 3.3. Resultado da análise química do solo do pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), no PISNC, Petrolina – PE

Sigla	Descrição	Umidade	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
M.O.	Mat. Orgânica	g/dm ³	9,3	4,4	4,0	-	-	-
pH	H ₂ O – 1:2,5	-	6,1	6,2	5,3	5,1	4,8	4,4
C.E.	Extrato Sat.	dS/m	0,48	0,18	0,11	0,09	0,08	0,09
P	Fósforo	mg/dm ³	39	14	2	-	-	-
K	Potássio	cmol _d /dm ³	0,13	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06
Ca	Cálcio	cmol _d /dm ³	1,5	0,6	0,3	0,3	0,3	0,4
Mg	Magnésio	cmol _d /dm ³	1,0	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7
Na	Sódio	cmol _d /dm ³	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	Alumínio	cmol _d /dm ³	0,05	0,05	0,25	0,35	0,40	0,45

3.1.4. Cultura estudada

O experimento foi instalado em um pomar cultivado com goiabeira (*Psidium guajava* L.), variedade 'Paluma', implantado em setembro de 1997, no

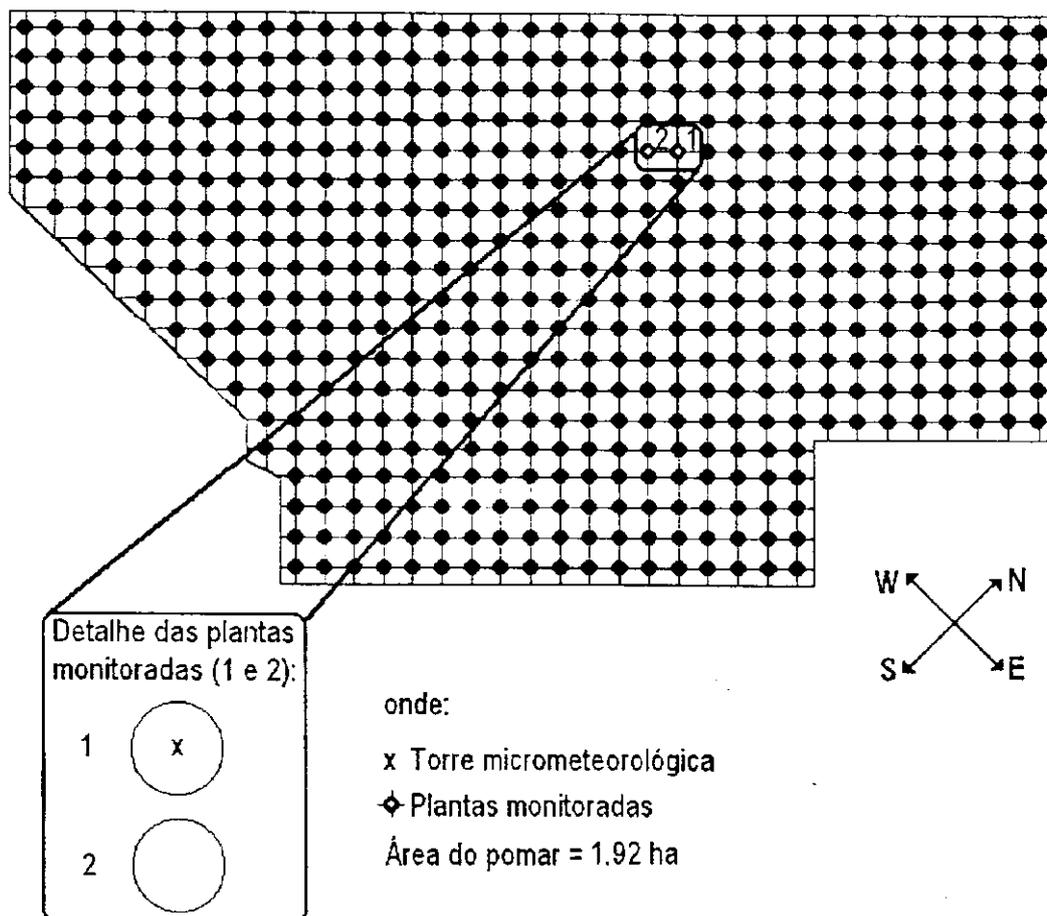
espaçamento 6,0 m entre plantas e 6,0 m entre fileiras, totalizando 532 plantas em 1,92 ha.

A pesquisa teve início no dia 10 de maio de 2000 e término em 30 de novembro do mesmo ano. O período de duração de cada fenológica foi determinado através de observações no desenvolvimento das plantas do pomar, tomando como estágio inicial a data da poda de frutificação.

Foram utilizados oito ramos, de duas plantas, inicialmente com 103 botões florais em estágio inicial de desenvolvimento. Os ramos foram marcados com etiquetas. O crescimento dos botões florais foi acompanhado diariamente, do florescimento ao pegamento dos frutinhos, o que possibilitou o cálculo do índice de abortamento/pegamento. A partir daí, os botões que a planta conseguiu sustentar foram marcados e tiveram seu comprimento e diâmetro medidos semanalmente, até a colheita. Isso permitiu obter a curva de crescimento dos frutos.

Na ocasião da colheita, foram escolhidas duas plantas irrigadas por gotejamento e duas irrigadas por microaspersão. A colheita dos frutos destas plantas foi acompanhada, anotando-se o peso total e o número de frutos de cada dia de colheita. Com isso, foi possível avaliar a curva de colheita e a produtividade média das plantas irrigadas através dos dois sistemas de irrigação.

A cada quinze dias foram coletadas amostragens de cem folhas para medida da área foliar, comprimento e largura das mesmas. Essas folhas foram coletadas em um mesmo ramo, e o ramo escolhido foi representativo da maioria dos ramos encontrados na planta. Uma vez por mês foi medida a área foliar total de duas plantas do pomar, durante o período de crescimento vegetativo.



Quadro 3.2. Localização das plantas monitoradas no pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.). Em destaque as plantas monitoradas e a torre micrometeorológica

3.2. Tratos Culturais

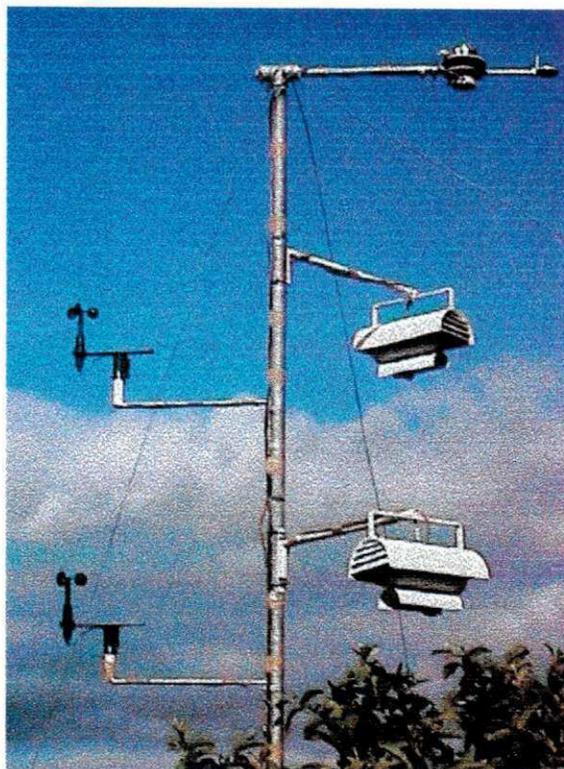
A pesquisa teve início a partir da poda de frutificação, que foi realizada no dia 10 de maio de 2000. Durante o período de condução do experimento foram realizadas práticas culturais a fim de proporcionar o melhor crescimento e desenvolvimento da cultura.

O pomar foi mantido livre de plantas daninhas através da realização da roçagem entre as plantas e fileiras, enquanto que nas duas plantas monitoradas foram feitas capinas manuais sob a copa.

Foi observada a presença de ferrugem (doença) e de pragas, como o pulgão (*Aphis gossypii*) e o psílideo (*Trizoida* sp), os quais foram controlados através da aplicação de produtos com princípio ativo "Labdacyhalothrin" (Karate®, 10ml/litro, em duas aplicações), "Fenitrothion" (Sumithion®, 15ml/litro, em três aplicações) e "Sulfosate" (Zapp®, 1ml/litro, na linha e na projeção da copa).

A nutrição do pomar foi realizada via fertirrigação, com aplicação de 0,120 Kg de uréia e 0,060 Kg de KCl, por planta. Por ocasião da floração, a dosagem de uréia foi reduzida a 0,040 Kg/planta. Essa adubação foi dividida em oito aplicações mensais. Durante o mês de agosto, o pomar recebeu adubação em cobertura de MAP, MgO, FTE, Polo e calcário, nas dosagens de 0,300 Kg/planta, 0,100 Kg/planta, 0,060 Kg/planta, 0,005 Kg/planta e 0,400 Kg/planta, respectivamente.

O pomar foi irrigado por microaspersão, durante três horas diárias, de segunda a sábado, sendo a irrigação dividida em dois turnos, 1,5 hora pela manhã e 1,5 hora à tarde. O microaspersor utilizado apresentou vazão média de 67 litros por hora. As duas plantas monitoradas foram irrigadas de maneira diferenciada, por microaspersão, seguindo os horários acima mencionados, durante os primeiros 46 dias após a poda (DAP) e por gotejamento, durante todo o restante do experimento, até a colheita.



Quadro 3.3. Torre micrometeorológica instalada sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), variedade 'Paluma', em Petrolina – PE

3.3. Instalações e Instrumentos Utilizados

As plantas que foram monitoradas durante o experimento são mostradas em destaque no Quadro 3.2. A torre micrometeorológica, onde foram coletados dados meteorológicos de superfície (Quadro 3.3), foi instalada ao lado da planta 1. Nela, foram instalados dois radiômetros Eppley para medição da radiação solar global (R_g) e refletida pela cultura (R_r), um saldo radiômetro para leitura da radiação líquida (R_n) sobre o dossel e um termômetro ao infra-vermelho para medir a temperatura da cultura. Em dois níveis, 0,50 m e 1,50 m acima do topo da copa da cultura, foram medidas temperaturas do ar em bulbos seco e úmido,

através de psicrômetros com termopares de cobre e "constantan" e a velocidade do vento, com dois anemômetros Young.

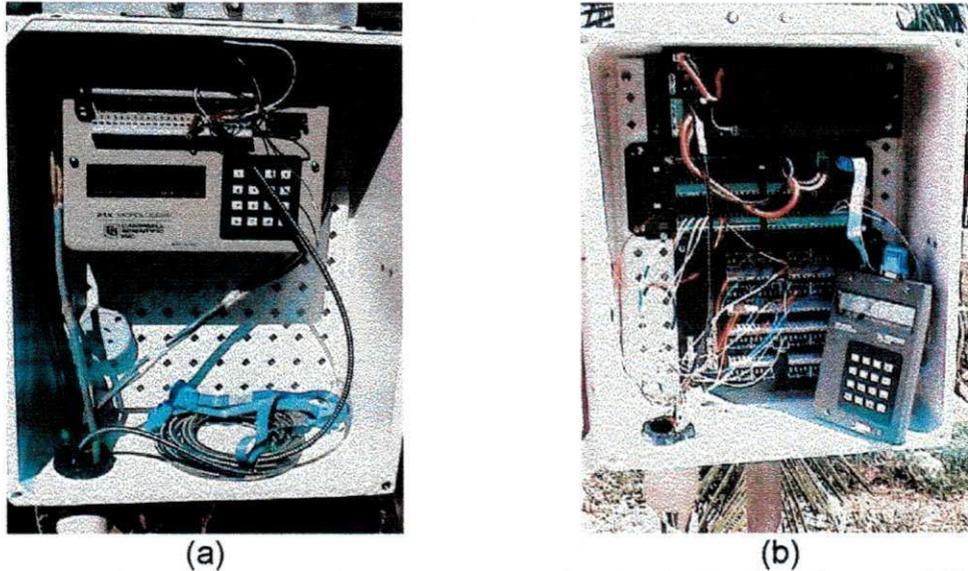
No interior da copa foi instalado um termopar de cobre-constantan para medir a temperatura no interior da mesma. Para medir o fluxo de calor no solo (G), foram instalados dois fluxímetros a 0,02 m de profundidade sob a copa. Estes sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (Micrologger 21X da Campbell Scientific, Inc).

A evapotranspiração da cultura foi determinada através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO. Além disso, foi realizado o balanço de calor no caule para determinação da transpiração da cultura e também, foi realizado um acompanhamento da fenologia da cultura, através de observações em ramos marcados e anotações das alterações no desenvolvimento da cultura, a fim de se determinar o período que compreende cada fase fenológica, a curva de crescimento do fruto, a curva de colheita e o índice de abortamento.

3.4. Coleta de Dados

Foi utilizado um sistema automático de aquisição de dados (Quadro 3.4a), programado para fazer leituras dos sinais analógicos a cada segundo e armazenar médias a cada 15 minutos dos sensores instalados na torre micrometeorológica e daqueles instalados no interior da copa e no solo. Essas médias foram coletadas em um módulo de armazenamento e posteriormente

transferidas a um computador, onde foram processadas em planilhas. O sistema de aquisição de dados foi alimentado através de painel solar.



Quadro 3.4. Sistema automático de aquisição de dados Datalogger 21X (a) e 10X, com placa multiplexadora (b), da Campbell Scientific, Inc

3.5. Balanço de Radiação

O balanço de radiação à superfície é dado pela soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e longas, expresso pela equação abaixo:

$$R_n = (R_g - R_r) + (R_{La} - R_{Ls}) \quad (1)$$

onde: R_n é a radiação líquida; R_g é a radiação de onda curta incidente (radiação global); R_r radiação de onda curta refletida pela superfície; R_{La} é a radiação de onda longa incidente, ou seja, emitida pela atmosfera e R_{Ls} é a radiação de onda longa emitida pela superfície.

A quantidade de radiação na forma de ondas longas, emitida pela superfície foi calculada através da equação abaixo:

$$RLs = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (2)$$

na qual ε é a emissividade da superfície (0,98); σ a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{k}^4$) e T_s a temperatura da superfície em Kelvin, obtida com termômetro ao infravermelho.

Sabendo-se o saldo de radiação, a radiação de onda curta incidente e refletida que foram medidos através de instrumentos, e a radiação de ondas longas emitida pela superfície (Equação 2), procedeu-se ao cálculo da radiação de ondas longas emitida pela atmosfera por diferença simples.

O albedo foi determinado como sendo a razão entre a radiação refletida (R_r) e a radiação solar global incidente (R_g), em porcentagem ($\text{Albedo} = R_r/R_g \times 100$).

3.6. Estimativa da Evapotranspiração – ET

3.6.1. Evapotranspiração real da cultura – ETc

A determinação da evapotranspiração real da cultura foi realizada através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

O balanço de energia no sistema solo-planta-atmosfera é constituído dos fluxos verticais de calor latente (LE), de calor sensível (H), do calor no solo (G) e do saldo de radiação (Rn), todos em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, além de fluxos associados à absorção

de calor no volume ocupado pela copa (S) e da energia utilizada na fotossíntese (P). Estas duas últimas têm sido negligenciadas no cômputo do balanço de energia, bem como a advecção de calor sensível e de calor latente. Desta feita, o balanço de energia se reduz à seguinte forma:

$$Rn + LE + H + G = 0 \quad (3)$$

Na obtenção do balanço de energia, os fluxos que se dirigem para o sistema são considerados positivos, enquanto os fluxos que saem do sistema são considerados negativos. No caso, considera-se como limites superior e inferior da área horizontal plana e unitária o topo da cultura e a superfície do solo, respectivamente.

Na camada limite superficial os fluxos verticais de calor sensível e calor latente podem ser obtidos através das seguintes expressões:

$$H = -K_h \rho c_p \frac{dT}{dZ} \quad (4)$$

$$LE = -K_w \rho c_p \frac{dq}{dZ} \quad (5)$$

onde a umidade específica (q) é expressa por:

$$q = \frac{0,622e}{p_o - 0,378e} \approx \frac{0,622e}{p_o} \quad (6)$$

e ρ é a densidade do ar, e é a pressão parcial do vapor d'água, C_p é o calor específico do ar à pressão constante (J/kg.°C), P_o a pressão atmosférica (kPa), K_h e K_w são os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e de vapor d'água, respectivamente.

Bowen (1926) propôs a razão entre os fluxos de calor sensível (H) e fluxo de calor latente (LE), como forma de viabilizar a estimativa da evaporação de oceanos à partir de medições de gradientes verticais de temperatura do ar e da pressão parcial do vapor d'água, além das medições do saldo de radiação e do fluxo de calor na água, que desde então tem sido usado em inúmeros estudos destinados à estimativas da evapotranspiração de culturas e vegetação natural. A Razão de Bowen pode ser expressa por:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{-\rho c_p K_h \frac{dT}{dZ}}{-\rho \lambda K_w \frac{dq}{dZ}} = \frac{P_o c_p K_h \Delta T}{\lambda 0,622 K_w \Delta e} = \gamma \frac{K_h \Delta T}{K_w \Delta e} \quad (7)$$

onde γ é o fator psicrométrico (kPa/°C), λ é o calor latente de vaporização da água (J/kg) à temperatura do ar (°C), T é a temperatura do ar e os outros termos já foram definidos anteriormente.

A pressão de saturação do vapor d'água (kPa) foi obtida em função da temperatura do ar (°C) segundo a expressão (Rosenberg *et al.*, 1983):

$$e_s(t) = 0,61078 \exp \left[\frac{17,269t}{t + 237,3} \right] \quad (8)$$

em que \exp é a base dos logaritmos neperianos e t é a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$).

Já a pressão atual do vapor d'água (kPa) será obtida de acordo com a equação de Tetens (1930), qual seja:

$$e = e_s(tu) - 0,00066 p_o (1 + 0,00115tu)(t - tu) \quad (9)$$

onde t e tu correspondem respectivamente às temperaturas do bulbo seco e úmido em ($^{\circ}\text{C}$) e p_o a pressão atmosférica.

Na ausência de advecção de calor sensível, regional ou local, e em condição de instabilidade atmosférica, $K_h = K_w$. Logo, a expressão (7) fica:

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (10)$$

Visando corrigir efeitos advectivos Verma *et al.* (1978) observaram que K_h e K_w eram diferentes e obtiveram uma expressão que os relacionasse, o que obtiveram:

$$\frac{K_h}{K_w} = 2,95 + 3,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \quad (11)$$

que se aplica sempre que $-0,1 < \Delta T/\Delta e < -0,8$.

Substituindo a Equação (11) na Equação (7) obtém-se a Razão de Bowen corrigida (β_c), qual seja:

$$\beta_e = \gamma \left[2,95 + 3,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right) + 1,72 \left(\frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \right] \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (12)$$

Rearrmando os termos da Equação (3) com o intuito de obter o parâmetro β no lado direito, obtém-se:

$$LE = - \frac{(Rn + G)}{1 + \beta} \quad (13)$$

A Equação (13) expressa, a densidade do fluxo de calor latente à superfície (energia por unidade de área e por unidade de tempo). Para obter-se a evapotranspiração ET_c em unidades de lâmina de água em dado intervalo de tempo, deve-se dividir essa equação pelo calor latente de vaporização (λ) e multiplicá-la pelo intervalo de tempo correspondente ao período em que foram obtidas as medidas de Rn , G , ΔT e Δe .

Usualmente, a precisão do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen é obtida por comparação com medições lisimétricas. Para se quantificar os erros instrumentais associados a tal método, pode-se recorrer a proposta de Fuchs & Tanner (1973), aprimorada por Angus & Watts (1984) em que o erro relativo associado ao cálculo de LE , pode ser obtido segundo a expressão:

$$\frac{\delta LE}{LE} = \frac{\delta Rn + \delta G}{Rn - G} + \frac{\delta \beta}{1 + \beta + \delta \beta} \quad (14)$$

onde δRn corresponde ao erro do instrumento usado para determinar o saldo de radiação, igual a 0,04 e δG , é o erro instrumental na determinação de G , igual a 0,20 que em virtude da variabilidade das observações e da heterogeneidade do terreno (Angus & Watts, 1984), $\delta LE/LE$ é o próprio erro relativo de LE , e $\delta\beta$ corresponde ao erro absoluto da razão de Bowen, obtido multiplicando-se o valor da razão de Bowen pelo erro relativo ao cálculo da mesma, que é obtido segundo a equação:

$$\frac{\delta\beta}{\beta} = (1 + \beta) \left| \frac{\delta\Delta T_u}{\Delta T_u} + \frac{\delta\Delta T_s}{\Delta T_s} \right| \quad (15)$$

na qual $\delta\Delta T_u$ e $\delta\Delta T_s$ são os erros admitidos na determinação das temperaturas dos bulbos úmido e seco, respectivamente, os quais foram considerados iguais a 0,05 °C e 0,02 °C (Angus & Watts, 1984).

O erro absoluto de LE foi obtido multiplicando-se o erro relativo de LE pelo valor de LE .

3.6.2. Estimativa da evapotranspiração de referência – ET_o

A evapotranspiração de referência (ET_o , mm), necessária ao cômputo do coeficiente de cultura (K_c), foi estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO (Allen *et al.*, 1998), segundo a expressão:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} v_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34v_2)} \quad (16)$$

onde R_n é o saldo de radiação ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$), estimado segundo Pereira *et al.* (1997), em função da radiação solar global, G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$), admitido igual a zero para 24 horas, t corresponde a temperatura média diária do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$), V_2 é a velocidade do vento a 2 m de altura (ms^{-1}), e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa, Equação 7), e é a pressão atual de vapor (kPa, Equação 8), $e_s - e$ é o déficit de pressão de vapor (kPa), Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), igual a $(4098e_s)/(t + 237,3)^2$, γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$), obtida como sendo $0,0016286(P_a/\lambda)$, na qual λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ}/\text{kg}$). Para maiores detalhes ver Pereira *et al.* (1997) e Allen *et al.* (1998).

Com a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) foi possível calcular o coeficiente da cultura (Kc), como sendo igual à razão: ETc/ETo .

3.7. Balanço de Calor no Caule

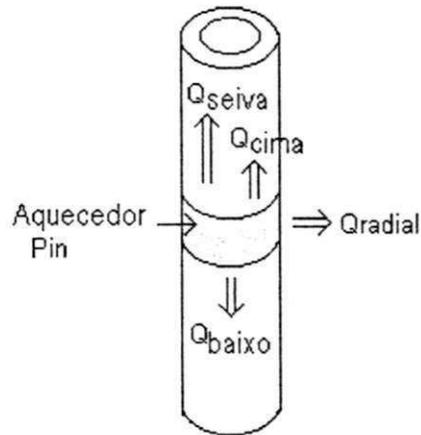
3.7.1. Teoria

A teoria do balanço de energia no caule utilizada foi proposta por Sakuratani (1981). A técnica consiste na realização de um balanço de calor em uma seção do caule da planta (Quadro 3.5). Para isso, um aquecedor flexível, de resistência elétrica bem definida, envolvendo totalmente a seção do caule a ser aquecida, fornece uma quantidade de calor constante (Pin). Parte desse calor é perdida vertical e radialmente por condução, e o restante é transportado

verticalmente pela seiva que flui através da seção transversal do caule. Assim, o balanço de calor no caule é expresso pela seguinte equação:

$$P_{in} = Q_v + Q_r + Q_f \quad (17)$$

em que P_{in} corresponde a quantidade de calor fornecida ao caule (w); Q_v é o fluxo de calor transferido verticalmente para cima e para baixo da seção aquecida por condução (w); Q_r é o fluxo de calor radial transferido por condução a partir do caule (w) e Q_f representa o fluxo de calor transportado pela seiva (W).



Quadro 3.5. Componentes do balanço de calor em um segmento aquecido do caule

Com os dados da voltagem aplicada ao aquecedor (V , em volts) e da sua resistência (R , em ohms) é calculada a potência de calor aplicada ao caule (P_{in}) através da equação abaixo:

$$P_{in} = \frac{V^2}{R_h} \quad (18)$$

onde P_{in} é a potência de calor aplicada ao caule (w), V corresponde a voltagem aplicada ao aquecedor (7mV) e R_h é a resistência do aquecedor (26 Ω).

Os fluxos de calor conduzidos para cima (Q_c) e para baixo (Q_b) do segmento aquecido do caule foram calculados através da Lei de Fourier, para um fluxo de calor uni-dimensional, através das equações:

$$Q_c = K_{st} \times A \frac{dT_c}{dX} \quad (19)$$

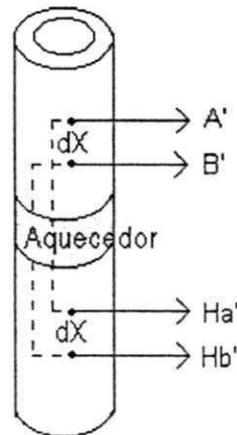
$$Q_b = K_{st} \times A \frac{dT_b}{dX} \quad (20)$$

em que K_{st} é a condutividade térmica do caule (W/m.K), A é a área da seção transversal do caule (m^2), dT_c/dX e dT_b/dX são os gradientes de temperatura acima e abaixo do segmento aquecido, em K/m.

Nas Equações 19 e 20, o valor de A foi medido antes da instalação dos sensores, e o de K_{st} foi considerado igual a 0,42 W/m.K, um valor que é a média de valores medidos para várias espécies de árvores (Steinberg *et al.*, 1989). Os sensores de medição da temperatura são compostos por termopares, em contato direto com o caule, acima e abaixo da seção aquecida, como mostra o Quadro 3.6. Sabendo-se a distância (dX) entre os termopares superiores e inferiores, os componentes verticais (Q_c e Q_b) podem ser combinados com um denominador comum, resultando na seguinte expressão:

$$Q_v = \frac{K_{st} \times A \times (BH - AH)}{dX \times 0,040} \quad (21)$$

onde 0,040 (mV/K) é o fator de conversão dos sinais analógicos *BH* e *AH* de mV para K, e *dX* é a distância entre os termopares.



Quadro 3.6. Termojunções instaladas acima e abaixo do aquecedor para determinação da diferença de voltagem (*AH* e *BH*) no sensor

O fluxo radial de calor que é emitido para fora da seção aquecida foi calculado através da voltagem de uma termopilha, formada de dez termojunções construídas em série e fixadas a uma cortiça de 2mm, colocada entre o aquecedor e isolante de borracha. O calor radial foi encontrado através de seguinte equação:

$$Q_r = K_{sh} \times CH, \quad (22)$$

onde K_{sh} é a constante de condutividade térmica da jaqueta (cortiça + isolante) (W/mV), que foi determinada experimentalmente, como descrito abaixo, e CH (mV) é a voltagem medida pela termopilha que circunda o caule.

A determinação do valor da constante K_{sh} foi realizada assumindo-se valor zero para o fluxo noturno. Assim, considera-se que não há fluxo de seiva através

da seção do caule, ou seja, $Q_r = 0$, e substituindo-se esse valor na Equação 17, tem-se:

$$Q_r = P_{in} - Q_v \quad (23)$$

Combinando as Equações 22 e 23 pode-se calcular o valor de K_{sh} através da equação:

$$K_{sh} = \frac{P_{in} - Q_v}{CH} \quad (24)$$

Esse cálculo foi realizado durante o horário de 04h00 às 06h00 do primeiro dia de funcionamento do sensor, e então utiliza-se o menor valor encontrado neste intervalo. A cada inspeção realizada a aproximadamente 15 dias, repetiu-se esse procedimento.

A subtração dos três fluxos de calor conhecidos (para cima, para baixo e para fora) da P_{in} resulta no calor transportado através do fluxo de seiva. Para calcular a taxa do fluxo de massa de água transportado pela seiva, é necessário saber a diferença de temperatura (dT) entre a água que entra e que sai da porção aquecida do caule, que pode ser obtida através da equação:

$$\Delta T = \frac{(AH + BH)}{2 \times 0,040} \quad (25)$$

Então, dividindo-se o fluxo de calor transportado pela seiva por esta diferença de temperatura multiplicada pelo calor específico da água, como visto na Equação 25, resulta na taxa de fluxo de seiva (g/s).

$$F = \frac{Q_f}{C_p \times dT} \quad (26)$$

4.7.2. Instalação dos sensores

Foram selecionadas duas plantas de goiabeira (*Psidium guajava* L.), com dois anos de idade, inicialmente na fase de crescimento de frutos. O diâmetro médio da seção do caule das plantas escolhidas foi de 56,5 mm. Após a medida do diâmetro, a seção do caule foi lixada, a fim de se remover excesso da casca morta e garantir melhor contato entre o caule e os sensores; e recebeu a aplicação de vaselina, para prevenir a corrosão dos sensores, impedir a entrada de umidade e condensação no interior do sensor e diminuir o crescimento e desenvolvimento de microrganismos.

A fixação dos sensores foi feita de maneira a garantir a máxima aderência com o caule (Quadro 3.7a). O isolamento térmico foi realizado através de placas de borracha sobrepostas, de 3mm e 8mm (Quadro 3.7b), e ainda por duas lâminas de papel alumínio (Quadro 3.7c). Após essas etapas, ainda foi colocada uma folha plástica na parte superior do caule em estudo, bem presa ao mesmo, a fim de se evitar a entrada de água no volume amostrado. Utilizou-se um alimentador de voltagem, que foi preparado para fornecer, constantemente, 7 mV para cada sensor. Devido ao grande período de utilização (julho a outubro), foram

realizadas manutenções nos sensores, a fim garantir seu bom funcionamento e a sanidade das plantas em estudo.

Os sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados (CR10X da Campbell Scientific, INC.) alimentado por uma bateria solar, no qual estava acoplada uma placa multiplexadora (Quadro 3.4b), que foi programado para armazenar médias a cada 30 minutos de leituras realizadas a cada minuto. Essas médias foram coletadas em um módulo de armazenamento e posteriormente transferidas ao computador, onde foram processadas em planilhas.



(a)

(b)

(c)

Quadro 3.7. Etapas da instalação dos sensores do balanço de calor no caule em goiabeira (*Psidium guajava* L.), variedade 'Paluma', em Petrolina – PE. (a) fixação da termopilha e termopares; (b) isolamento com borracha e (c) isolamento com lâminas de papel alumínio

Capítulo 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aspectos Gerais do Experimento

Inicialmente, quando a irrigação foi realizada por microaspersão, a área de molhamento foi de 10,00 m². Posteriormente, quando o sistema de irrigação mudou para gotejamento, a área de molhamento foi reduzida a 4,92 m². A área de projeção da copa variou de 10,08 m² aos 10 DAP (dias após a poda) para 17,85 m² aos 126 DAP, ocupando, respectivamente, 28,02 e 49,58%, da área disponível para a planta. Resultado semelhante foi encontrado por Daamen *et al.* (1999), que observaram projeção da copa da árvore na ordem de 39% da área disponível para a cultura, enquanto que Silva (2000) encontrou para a mangueira, área de projeção da copa quase constante e igual a 34 m², correspondendo a 85% da área disponível para a planta. A maior concentração de raízes foi observada, através de trincheiras, na profundidade de 0,40 a 0,80 m, e a uma distância de até 1,2 m do caule da planta.

A área foliar e o número total médio de folhas das plantas do pomar, sofreu grande incremento, principalmente nos primeiros dois meses após a poda. Aos 20 DAP, a área foliar total de uma planta do pomar, foi de 12,48 m², para um número de folhas igual a 3320. A área foliar aumentou para 22,46 m² e 34,13 m², aos 36 e 62 DAP, enquanto que o número de folhas das mesmas aumentou de 6154 para 9364, neste mesmo período. O índice de área foliar variou de 1,16, 1,87 e 2,58, respectivamente para os 20, 36 e 62 DAP. Para a mangueira, Silva (2000) encontrou IAF de 12,89, 15,00 e 14,10 para os estádios fenológicos de floração, queda de frutos e maturação de frutos, respectivamente.

A estimativa da área foliar da goiabeira pode ser realizada com base nos valores de comprimento de folha (COMP, cm) através da equação $AF = 0,7491(\text{COMP})^{1,6479}$, com r^2 igual a 0,9442 e através de valores de largura das folhas (LARG, cm), utilizando a seguinte equação: $AF = 0,7862(\text{LARG})^{2,407}$ cujo r^2 foi de 0,8957.

4.2. Estudos da fenologia da goiabeira

A poda de frutificação foi realizada no dia 10/05/2000, porém a planta ainda estava na fase de maturação dos frutos da safra anterior, ou seja, o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.) sofreu o que chama-se de poda sobre poda. As fases fenológicas da cultura (Tabela 4.1) foram definidas de acordo com observações feitas nas plantas do pomar. Deste modo, caracterizaram-se quatro fases principais: 1) brotação, crescimento vegetativo e maturação, durante o período de 24/05 a 03/07; 2) crescimento vegetativo e floração, de 04 a 25/07; 3) crescimento de frutos, de 05/08 a 03/10 e 4) maturação e colheita, de 04/10 a

30/11. A diferenciação das fases fenológicas da cultura foi uma etapa difícil, haja vista que a cultura foi permanentemente irrigada, o que lhe proporcionou crescimento vegetativo e emissão de flores durante todo o período do estudo.

O período entre a poda de frutificação e a colheita foi de 204 dias, resultado acima da média dos pomares da região, que varia de 180 a 190 dias (Gonzaga Neto & Soares, 1994). Esse resultado deveu-se, possivelmente, a condição em que foi realizada a poda, pois como a cultura ainda tinha frutos da safra anterior, pode ter ocorrido um atraso na brotação, ou às baixas temperaturas observadas durante o período, principalmente nos meses de junho e julho, fase em que a cultura estava em pleno crescimento vegetativo. Segundo Gonzaga Neto & Soares (1994) a goiabeira, apesar de ser uma cultura tipicamente tropical, pode apresentar falhas na brotação nos meses de temperatura mais amena.

Para uma melhor análise dos componentes dos balanços de radiação e de energia, as Fases 2 e 3 foram agrupadas em uma só, a qual chamou-se de Fase 2 (F2). As demais fases permaneceram como mostra a Tabela 4.1.

A Figura 4.2.1 apresenta dados médios referentes às medidas de crescimento dos frutos da goiaba, cultivar Paluma, a partir do estabelecimento do pegamento (12/08). Pode-se observar que ocorre, inicialmente, um rápido incremento do comprimento e diâmetro; seguindo um período de mudanças lentas no comprimento e diâmetro e, finalmente, um novo período de rápido crescimento, que termina com a completa maturação dos frutos, evidenciando-se a ocorrência de curvas de dupla sigmóide, caracterizando três períodos de crescimento. Este comportamento foi observado por Mercado-Silva *et al.* (1998),

Feldberg *et al.* (1998), Rathore (1976) e Srivastava & Narasimhan (1967), dentre outros, também com a goiabeira.

Tabela 4.1. Fases fenológicas da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', após a poda de frutificação (10/05). Os dias compreendidos entre a poda e o início da brotação correspondem ao período de entumescimento das gemas.

Fase	Período de desenvolvimento	Período	No. de dias
F1	1. Brotação, crescimento vegetativo e maturação	24/05 a 03/07	41
F2	2. Crescimento vegetativo e floração	04 a 25/07	22
	3. Queda fisiológica de frutos imaturos	26/07 a 04/08	10
F3	4. Crescimento de frutos	05/08 a 03/10	60
F4	5. Maturação e colheita de frutos	04/10 a 30/11	57
	Período total*	10/05 a 30/11	204

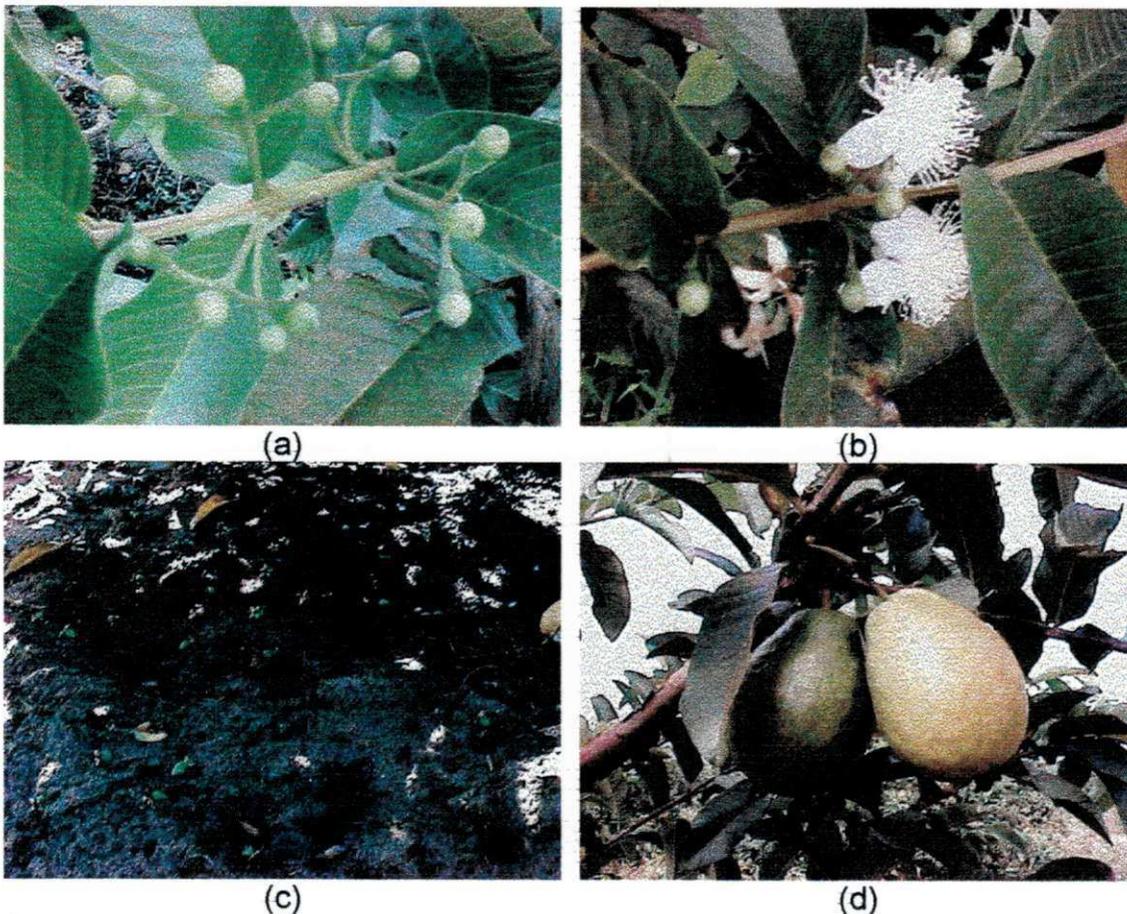
* Soma do número de dias de cada fase com o número de dias referente ao período de entumescimento (14 dias)

O primeiro estágio de crescimento teve duração de 25 dias, a partir do pegamento. É importante ressaltar que as observações tiveram início 22 dias após a floração. Durante esse estágio, o diâmetro aumentou de 18,86 mm para 30,85 mm. A duração do segundo estágio foi de 43 dias, com incremento no diâmetro de 7,28 mm, que atingiu 38,12 mm no final desta fase. A terceira fase de crescimento foi a que apresentou maior incremento no diâmetro, 19,87 mm, em 30 dias. Ao final desta fase, os frutos foram colhidos com diâmetro médio de 58,00 mm.

Esses resultados estão de acordo com Pereira & José (1987), que determinaram para frutos de goiaba, cultivares 'Paluma' e 'Rica', três períodos de crescimento em Jaboticabal – SP. Estes autores verificaram que para a cultivar Paluma, o primeiro período de desenvolvimento correspondeu a 65 dias, contados a partir da fecundação e o crescimento em diâmetro variou de 5 mm a 34 mm; o segundo período durou 48 dias, sendo que o diâmetro variou de 34 mm a 45 mm;

e, o último período durou 20 dias, com observação de rápido crescimento no diâmetro dos frutos, variando de 45 mm a 66 mm.

O primeiro estágio de crescimento é caracterizado pelo desenvolvimento das sementes e início do endurecimento dos frutos. No segundo estágio ocorre o endurecimento das sementes e dos frutos, que alcançam sua máxima rigidez; e o terceiro estágio é caracterizado pelo amolecimento da polpa e mudança na coloração dos frutos (Mercado-Silva *et al.*, 1998).



Quadro 4.1. Diferentes fases fenológicas da cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar Paluma, em Petrolina – PE. (a) botões florais, (b) ramos com botões florais, flores abertas e fecundadas, (c) frutos caídos ao chão, devido ao ajustamento fisiológico e (d) frutos em diferentes estágios de maturação.

A colheita foi acompanhada em plantas irrigadas por gotejamento e por microaspersão. Verificou-se que a produção média das plantas irrigadas por gotejamento foi superior às irrigadas por microaspersão. Enquanto que no tratamento irrigado por gotejamento as plantas produziram, em média, 57,96 Kg para 380 frutos, aquelas irrigadas por microaspersão apresentaram 45,20 kg para 369 frutos. Assim, o peso médio por fruto foi 0,030 Kg maior, nas primeiras. Verificou-se, no entanto, que o fruto mais pesado foi colhido no tratamento irrigado por microaspersão (0,316 Kg).

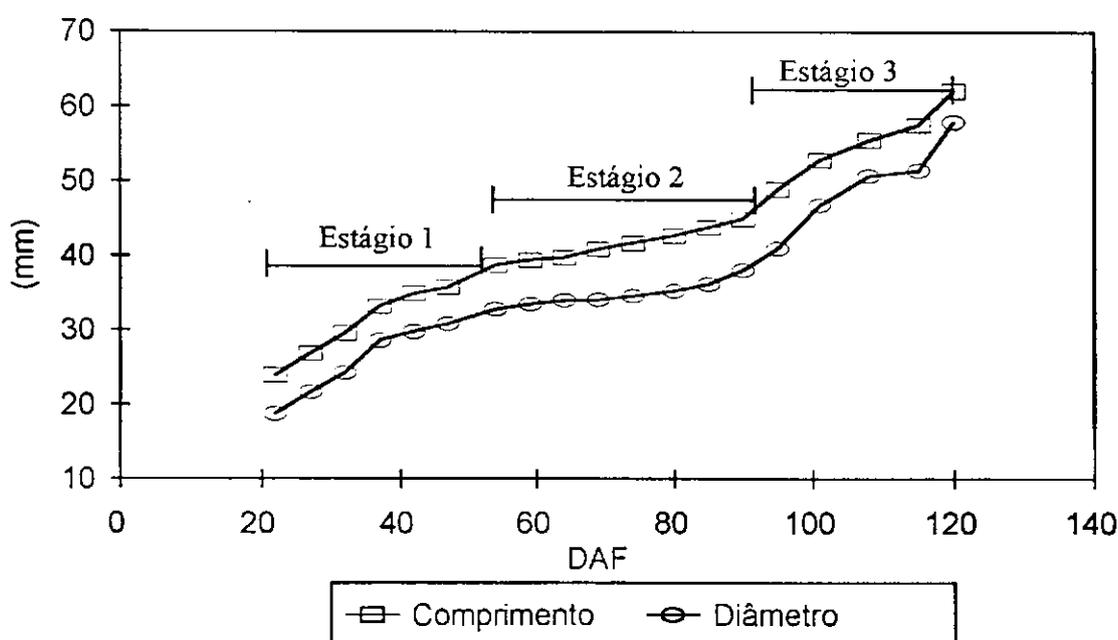


Figura 4.2.1. Curvas de crescimento dos frutos de goiaba, cultivar Paluma, determinadas através de medidas do comprimento e diâmetro, a intervalos de 5 dias, em Petrolina – PE.

A curva de colheita para ambos os tratamentos é mostrada na Figura 4.2.2, onde pode-se verificar que as plantas irrigadas por microaspersão apresentaram a colheita mais concentrada que as irrigadas por gotejamento, e que, em ambos

os tratamentos, a colheita concentrou-se entre os 100 e 120 dias após a floração (DAF).

Durante o período de 15/07 a 04/08, e principalmente entre os dias 26/07 e 04/08, verificou-se intensa queda de frutos imaturos (Quadro 4.1c). Essa queda é característica da própria cultura, que por si só, realiza uma seleção dos frutos mais “resistentes” para que estes possam atingir a maturação, já que a emissão inicial de botões florais é muito grande e a planta não suportaria o peso dos frutos podendo haver quebra de galhos, se todos esses botões completassem a maturação.

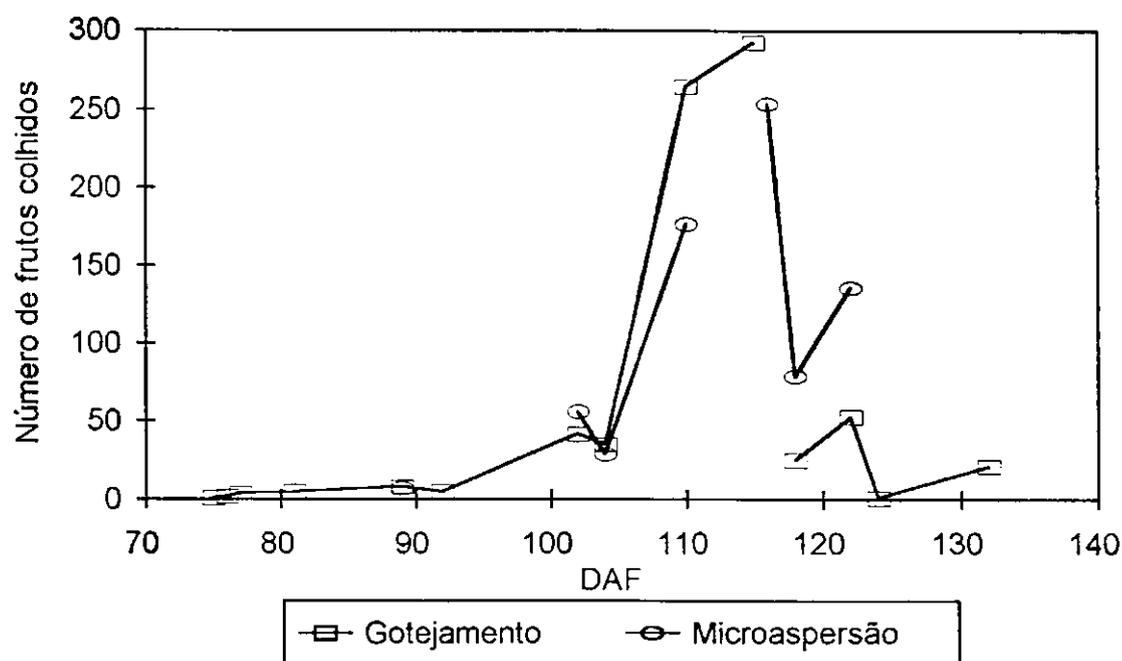


Figura 4.2.2. Curva de colheita dos frutos da goiaba, cultivar Paluma, para os tratamentos com irrigação por gotejamento e por microaspersão, em Petrolina - PE.

Nas duas plantas observadas o índice de pegamento foi calculado para cada ramo em estudo, e em seguida calculou-se a média para todos os ramos. Os resultados mostraram que a goiaba, cultivar Paluma, apresentou índice de

pegamento de 13,61 % (índice de abortamento igual a 86,39 %). Singh & Sehgal (1968) encontraram valores do índice de abortamento igual a 88,8% para a cultivar de goiaba 'Seedless'.

Como as plantas apresentaram, em média, 380 e 369 frutos, para os tratamentos irrigados por gotejamento e microaspersão, respectivamente, com um índice de abortamento de 86,39 %, essas plantas teriam produzido, respectivamente, 2412 e 2342 frutos, aproximadamente, se não houvesse o abortamento dos frutos imaturos. Considerando-se o peso médio dos frutos de cada tratamento, essas mesmas plantas teriam produzido 367,84 Kg e 286,92 Kg por planta para o tratamento irrigado por gotejamento e por microaspersão, respectivamente, que são valores muito elevados e difíceis de serem obtidos.

4.3. Balanço de Radiação

Para cada uma das fases estudadas (F1, F2, F3 e F4) foram analisadas as variações médias diárias dos componentes do balanço de radiação sobre a copa da goiabeira. Foram ainda selecionados dias com baixa e alta nebulosidade de cada fase em estudo, para análise. Por fim, analisou-se os valores médios diários, durante o período em que o saldo de radiação foi positivo, para todo o ciclo da cultura.

Nas Figuras 4.3.1 a 4.3.4 são apresentados os comportamentos do balanço de radiação para dias típicos com nebulosidade (a) e sem nebulosidade (b), de cada fase fenológica. Analisando-se dias representativos da Fase 1, observa-se na Figura 4.3.1a grande presença de nebulosidade durante todo o dia (26/06/2000), resultando em redução na densidade do fluxo de radiação solar

global incidente (R_g), e conseqüentemente, no de radiação solar refletida (R_r), que permaneceram, na maior parte do dia, abaixo de $400,00 \text{ W/m}^2$ e $100,00 \text{ W/m}^2$, respectivamente. Com relação aos componentes do balanço de ondas longas, observa-se que os mesmos quase se anulam ao longo do período diurno, e apresentam-se bem mais regulares que os componentes do balanço de ondas curtas, com valores entre $400,00 \text{ W/m}^2$ e $450,00 \text{ W/m}^2$, à exceção da radiação atmosférica, que por volta de 8h00 (tempo local) apresentou valor de quase $300,00 \text{ W/m}^2$. A Figura 4.3.1b é representativa de um dia sem nebulosidade. Nela, verifica-se que as curvas dos componentes do balanço de radiação são bem características, à exceção do período matutino, onde por volta das 8h00 ocorreram nuvens. A radiação solar global apresenta-se máxima por volta do meio-dia, com valor igual a $782,40 \text{ W/m}^2$, o mesmo ocorrendo com a refletida, cujo valor máximo foi $194,52 \text{ W/m}^2$. Há uma diferença bem mais pronunciada entre os componentes de onda longa, quando comparados com o dia com muita nebulosidade, que está associado à elevação da temperatura superficial que, por sua vez, é modulada pela radiação solar global.

Durante a segunda fase da pesquisa, que compreendeu o período de crescimento vegetativo e floração, observou-se comportamento semelhante à Fase 1, até mesmo em termos de valores dos fluxos de radiação, como pode ser verificado na Figura 4.3.2a, para dia com nuvens e, na Figura 4.3.2b, para um dia de céu limpo. Verificou-se nesta fase (F2) uma pequena elevação na radiação solar refletida, fato este atribuído ao aumento da presença de flores, que são brancas.

A radiação solar global é dependente das condições atmosféricas, da latitude e época do ano. Nas Fases 3 (F3) e 4 (F4), verificou-se um aumento na

radiação solar global. A presença de nebulosidade nas Figuras 4.3.3a e 4.3.4a definiu os cursos diurnos de R_g e R_r com muita variabilidade. Observa-se, em ambas as figuras, que a radiação solar global chega a atingir picos de $679,71 \text{ W/m}^2$ e $869,61 \text{ W/m}^2$, permanecendo, no entanto, na maior parte do dia, com valores bem abaixo destes (Figuras 4.3.3a e 4.3.3b). Assim como nas Fases 1 e 2, os fluxos máximos da radiação solar na Fase 3 (Figura 4.3.3), ocorreram por volta do meio-dia, com valores máximos de $917,69 \text{ W/m}^2$ e $211,04 \text{ W/m}^2$ (Figura 4.3.3b), para R_g e R_r , respectivamente, enquanto que na Fase 4 (Figura 4.3.4b), estes valores foram mais elevados e iguais a $1059,50 \text{ W/m}^2$ e $229,42 \text{ W/m}^2$.

Os componentes da radiação de ondas longas, também para as Fases 3 e 4, apresentaram menor variação que os de ondas curtas, sendo que a radiação da superfície, ou seja, da copa da goiabeira, apresentou-se sempre maior, em valor absoluto, que a radiação atmosférica, tanto para dias de céu claro como para dias com nebulosidade. Observou-se, ainda, que o máximo da radiação de ondas longas ocorreu sempre por volta das 15h00, ou seja, após o máximo da radiação solar global, indicando ser esta a principal determinante da variação na magnitude dos demais componentes do balanço de radiação na superfície, bem como da temperatura da superfície. A radiação de ondas longas da superfície (RLs), nas Fases 3 e 4, atingiram picos de $500,00 \text{ W/m}^2$, em dias de céu claro, e valores um pouco menores para dias com nebulosidade. Com relação a radiação de ondas longas da atmosfera (RLa), observa-se valores menores que a RLs, sempre na faixa entre $300,00 \text{ W/m}^2$ e $400,00 \text{ W/m}^2$, com os valores mínimos ocorrendo até o meio-dia.

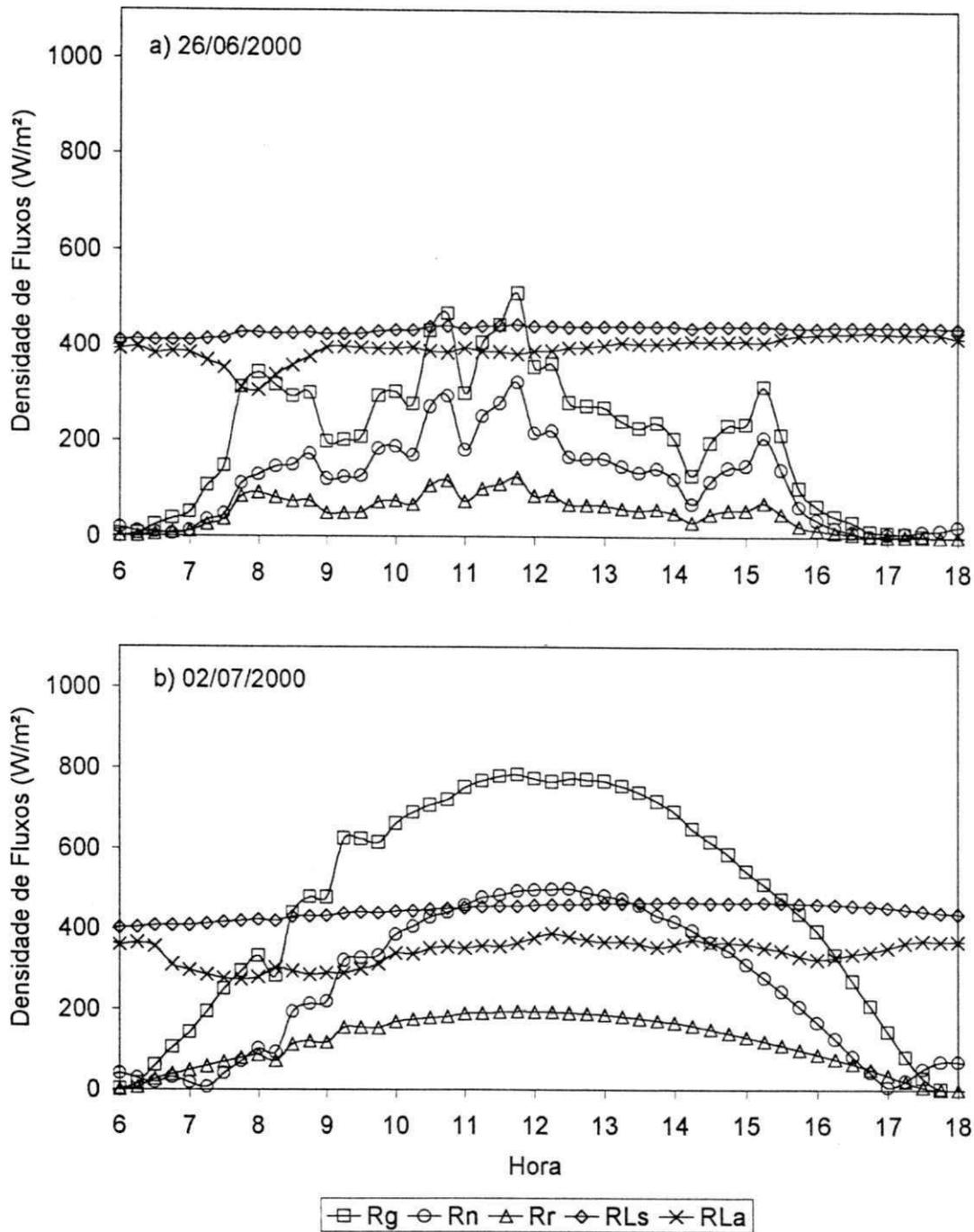


Figura 4.3.1. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 1: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

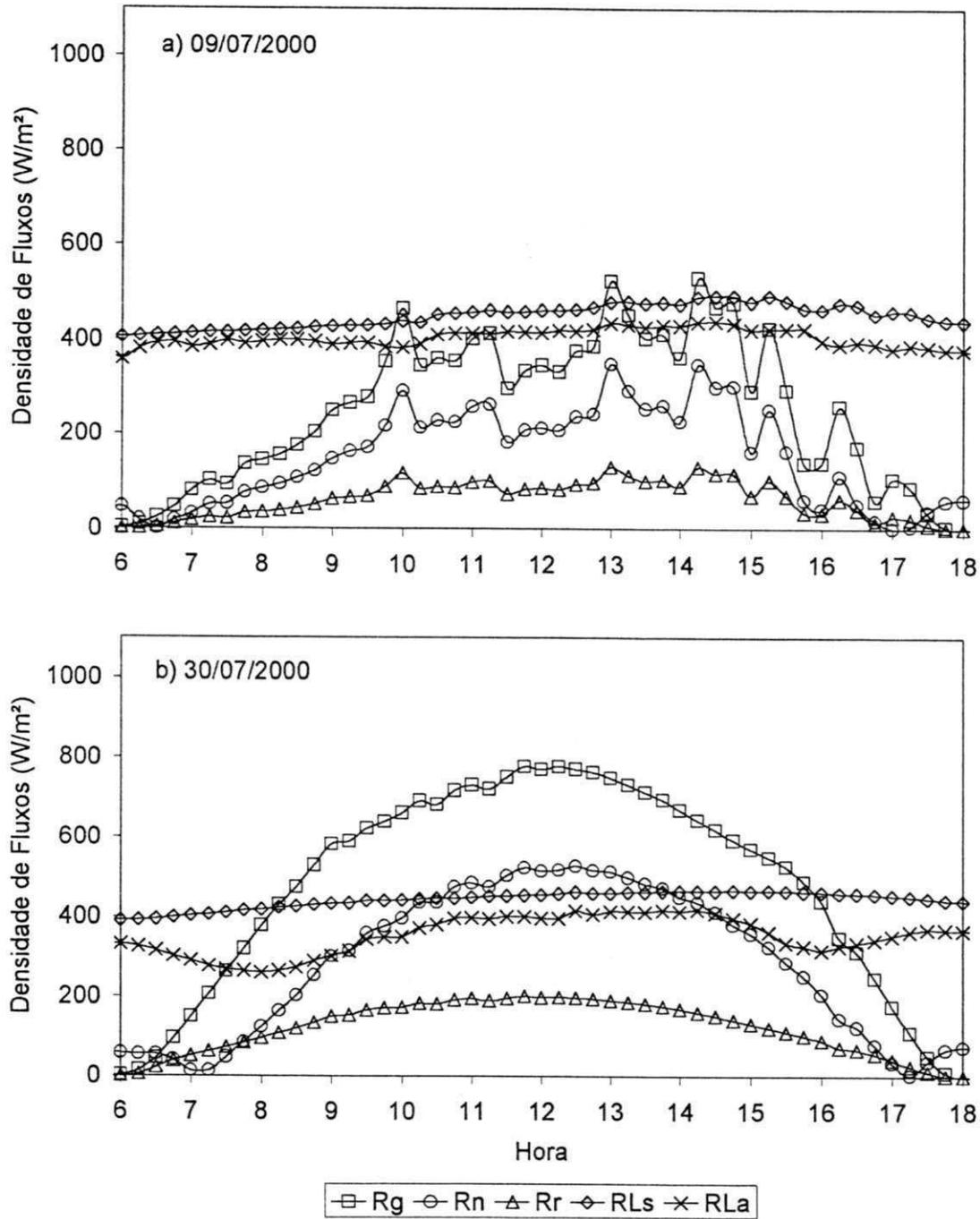


Figura 4.3.2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 2: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

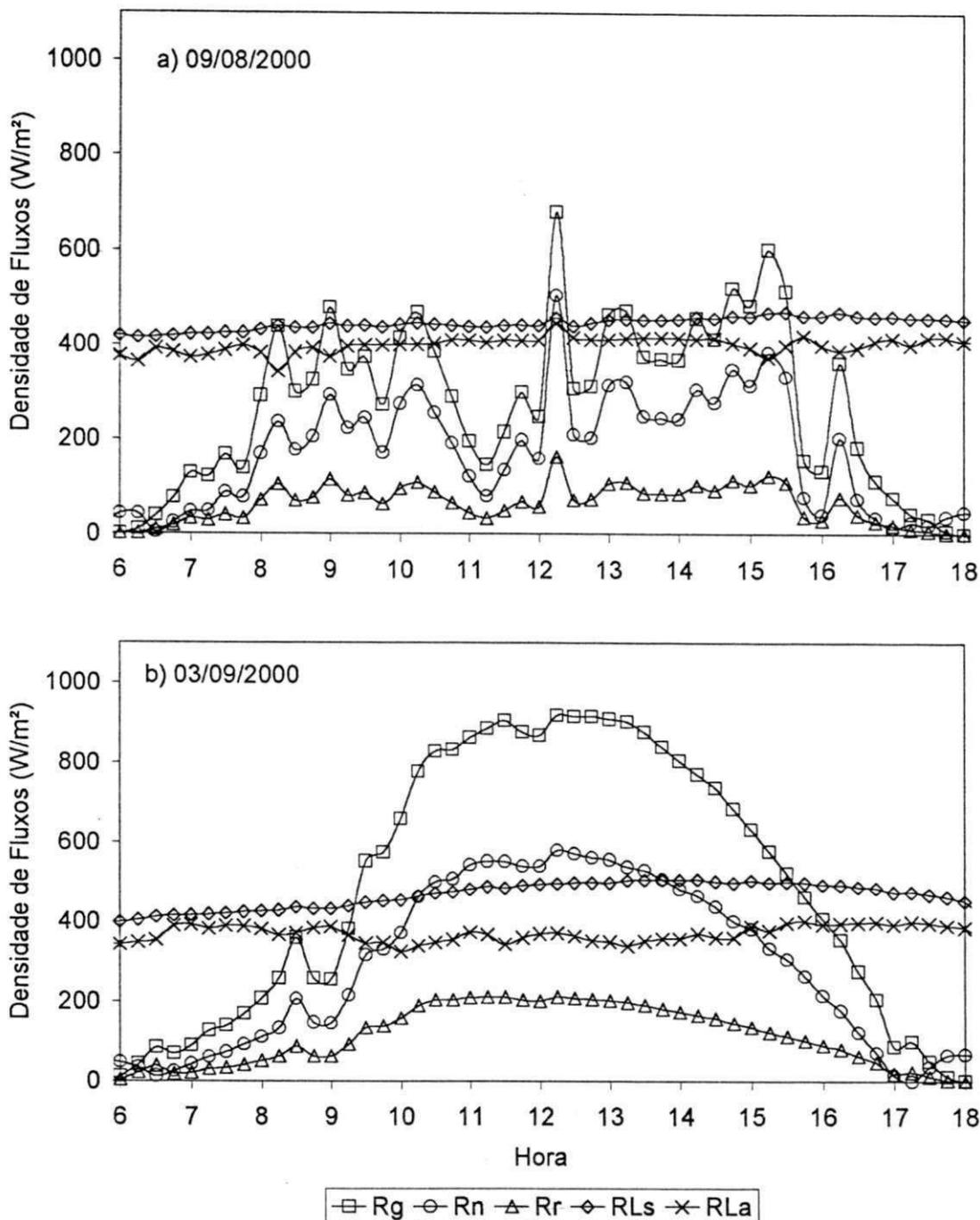


Figura 4.3.3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 3: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

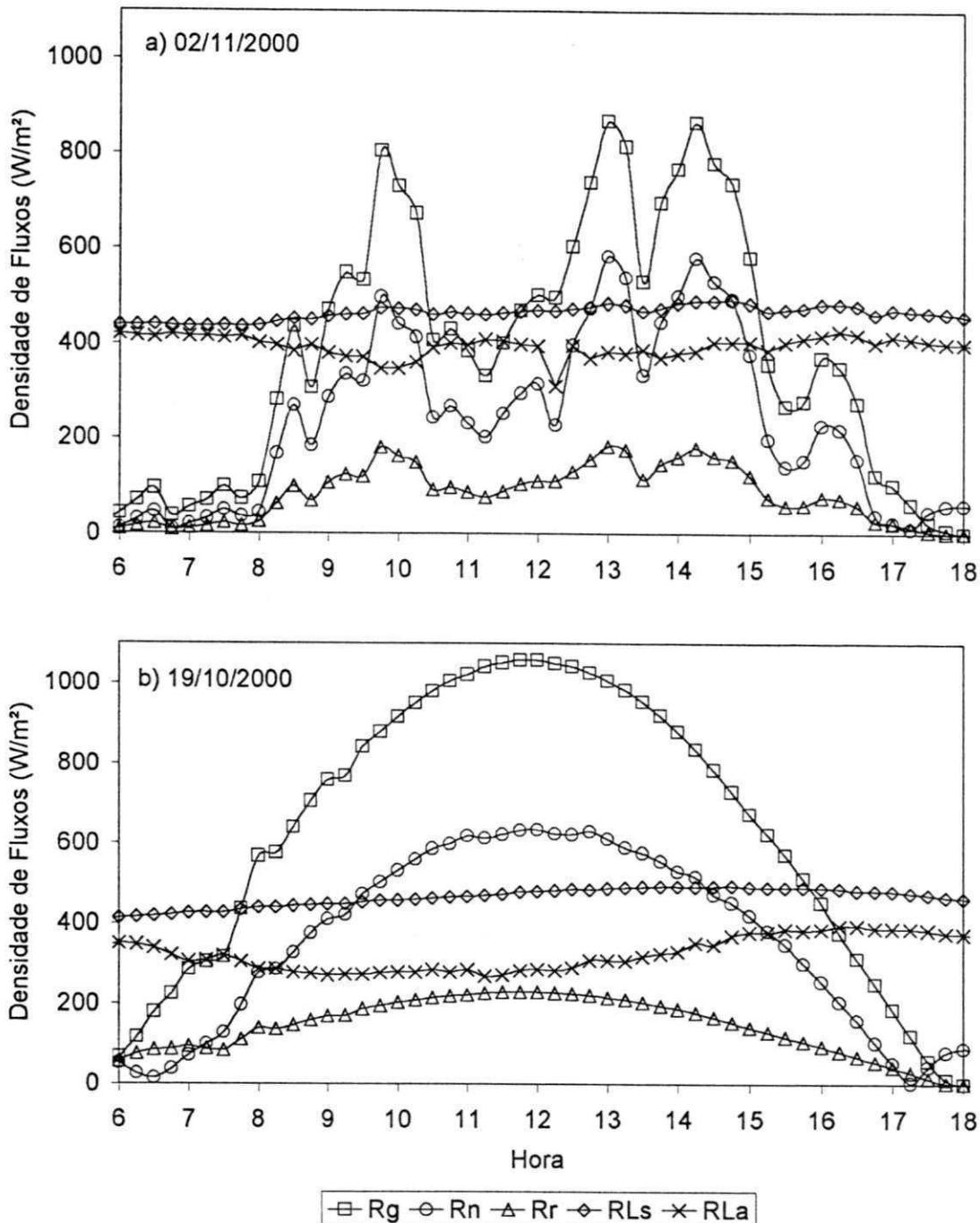


Figura 4.3.4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 4: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

Para uma melhor caracterização do comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação, foram calculadas médias diurnas para cada fase estudada. Vale salientar que o número de dias considerados nos cálculos não é o mesmo correspondente a cada fase, como descrito no item 4.2, devido a problemas com os sensores ou a erros cometidos na coleta de dados.

Nas Figuras 4.3.5 a 4.3.8 são apresentados gráficos representativos do comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação solar para as quatro fases citadas anteriormente. Verificou-se, a partir das curvas de radiação global (R_g), que esta apresentou comportamento basicamente semelhante nas quatro fases estudadas, com valores máximos próximos ao meio-dia, de $654,73 \text{ W/m}^2$, $653,22 \text{ W/m}^2$, $752,36 \text{ W/m}^2$ e $999,03 \text{ W/m}^2$ para as Fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 4.2). Através do comportamento das curvas de R_g , observou-se que em todas as fases houve ao longo do dia presença de nebulosidade, tendo em vista que estas curvas apresentaram ligeira variação, principalmente na Fase 4. Comparando a incidência de radiação global em todas as fases, percebe-se que os valores médios desta componente nas fases F1, F2 e F3 corresponderam a 75,31%, 65,39% e 65,54%, respectivamente, do obtido na Fase 4.

Verifica-se, ainda, nas Figuras de 4.3.5 a 4.3.8 que a radiação refletida pela cultura apresentou valores máximos também em torno do meio-dia, atingindo $156,25 \text{ W/m}^2$, $161,86 \text{ W/m}^2$, $183,56 \text{ W/m}^2$ e $205,00 \text{ W/m}^2$, para as Fases de 1 a 4, respectivamente (Tabela 4.2). O aumento progressivo na R_r , pode ser atribuído ao aumento na R_g . Comparando a R_r pela cultura na Fase 4 com as demais fases, verificou-se que em média, nas Fases 1, 2 e 3, a R_r representou respectivamente cerca de 76,22%, 78,96% e 89,54% daquela observada na Fase

4. Observando a Figura 4.3.9a – d, pode-se perceber que a Fase 2 (Figura 4.3.9b) apresentou albedo ligeiramente maior ao longo de todo o dia, tendo em vista que durante esta fase a cultura estava florando, e como as flores são brancas, ocorreu um aumento na radiação refletida e, conseqüentemente, no albedo. Percebe-se ainda que não foi observada simetria em relação ao meio dia nos valores do albedo para nenhuma das fases estudadas. Para todas as fases, os maiores valores do albedo foram verificados no início da manhã e final da tarde. A partir do meio-dia verificou-se redução no albedo até atingir valores mínimos por volta das 15h00, voltando a atingir valores próximos da normalidade, mais ou menos 1 hora depois do mínimo, possivelmente devido a irrigação. Leitão & Oliveira (2000) verificaram queda brusca no albedo do amendoim irrigado, em Rodelas – BA, entre 10h00 e 12h00, de cerca de 9%, para dias em que houve irrigação. Alves (1997) também fez uma análise do albedo, para a cultura do melão irrigado, em Mossoró – RN, e verificou comportamento semelhante, com valores máximos no início da manhã e final da tarde e mínimos em torno do meio-dia. Verificou ainda que após a irrigação houve redução no albedo, em proporções diferentes para cada uma das fases de desenvolvimento da cultura.

Em todas as fases, os componentes do balanço de radiação de ondas longas, apresentaram mesmo comportamento diário, e tanto a radiação de ondas longas emitida pela superfície (RLs), bem como pela atmosfera (RLa), atingiram valores máximos após o máximo da Rg e da temperatura da superfície e do ar, o que indica uma dependência, tanto do balanço de ondas curtas como da temperatura da superfície e da atmosfera. Observando as Figuras de 4.3.5 a 4.3.8, verifica-se que a RLa apresentou variação bem mais pronunciada que a

RLs, uma vez que este último variou entre 400,00 W/m² e 500,00 W/m² e aquele oscilou entre mais ou menos 300,00 W/m² e 450,00 W/m².

O comportamento do saldo de radiação (Rn) foi semelhante ao da radiação solar global (Rg) para todos os dias e fases analisadas, diferindo apenas em magnitude. Como pode-se ver na Tabela 4.2, o saldo de radiação aumenta da Fase 1 para a Fase 4, quando assumiu valores de 438,14 W/m² e 644,48 W/m² (Tabela 4.2). Durante as fases F1, F2, F3 e F4 o valor do saldo de radiação máximo correspondeu a 64,51%, 68,03%, 67,41% e 66,92% da radiação solar global máxima.

Comportamentos semelhantes, para todos os componentes do balanço de radiação, foram verificados por Moura (1998) e Leitão *et al.* (2000), para uma superfície de solo descoberto, e por André *et al.* (1988), sobre floresta.

Tabela 4.2. Valores médios máximos dos componentes do balanço de radiação, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', para as Fases 1, 2, 3 e 4, em Petrolina – PE.

Componentes do balanço de radiação (W/m ²)	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Radiação global - Rg	654,73	653,22	752,36	999,03
Radiação refletida - Rr	156,25	161,86	183,56	205,00
Radiação da superfície - RLs	485,34	462,81	475,72	494,20
Radiação atmosférica - RLa	427,22	414,37	416,33	420,71
Saldo de radiação - Rn	438,14	440,33	511,85	644,48

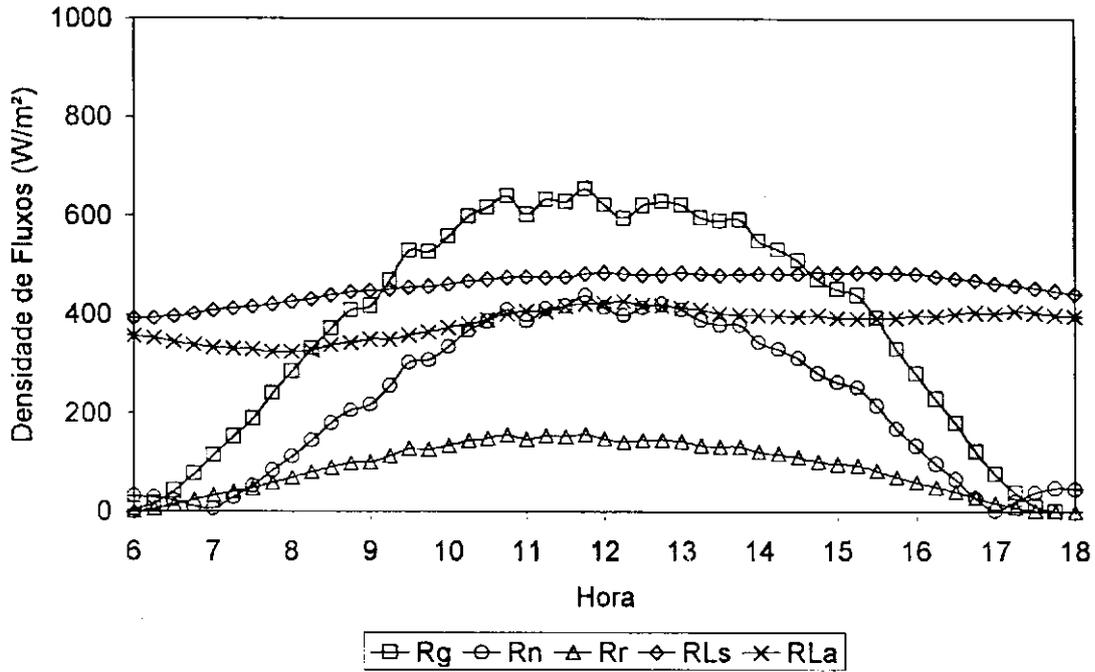


Figura 4.3.5. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 1 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE

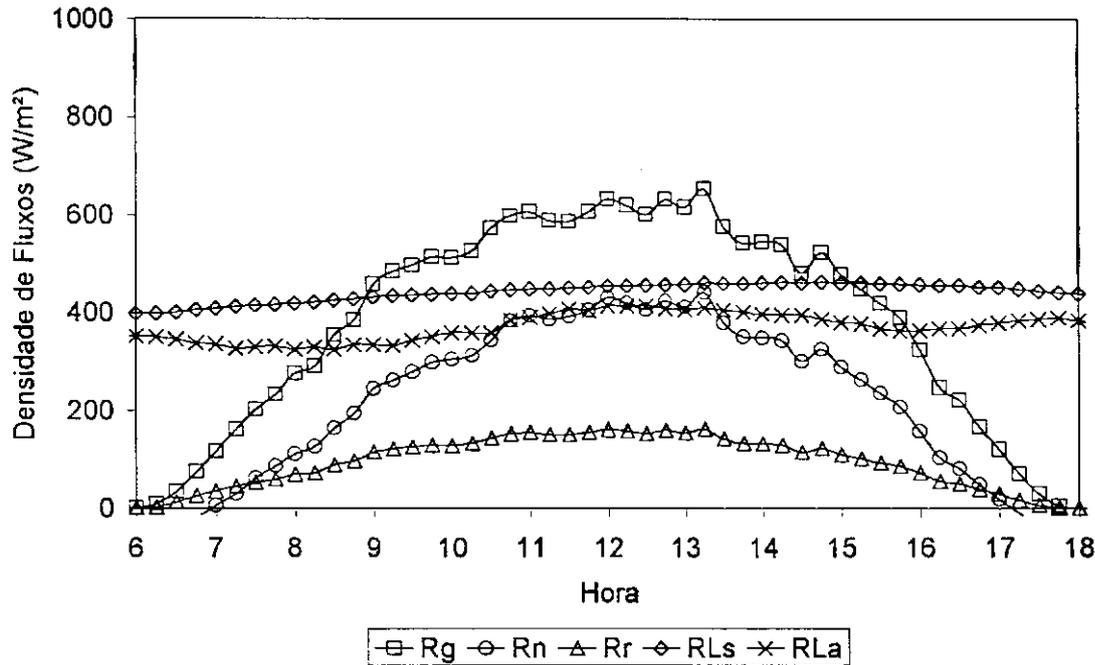


Figura 4.3.6. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 2 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE

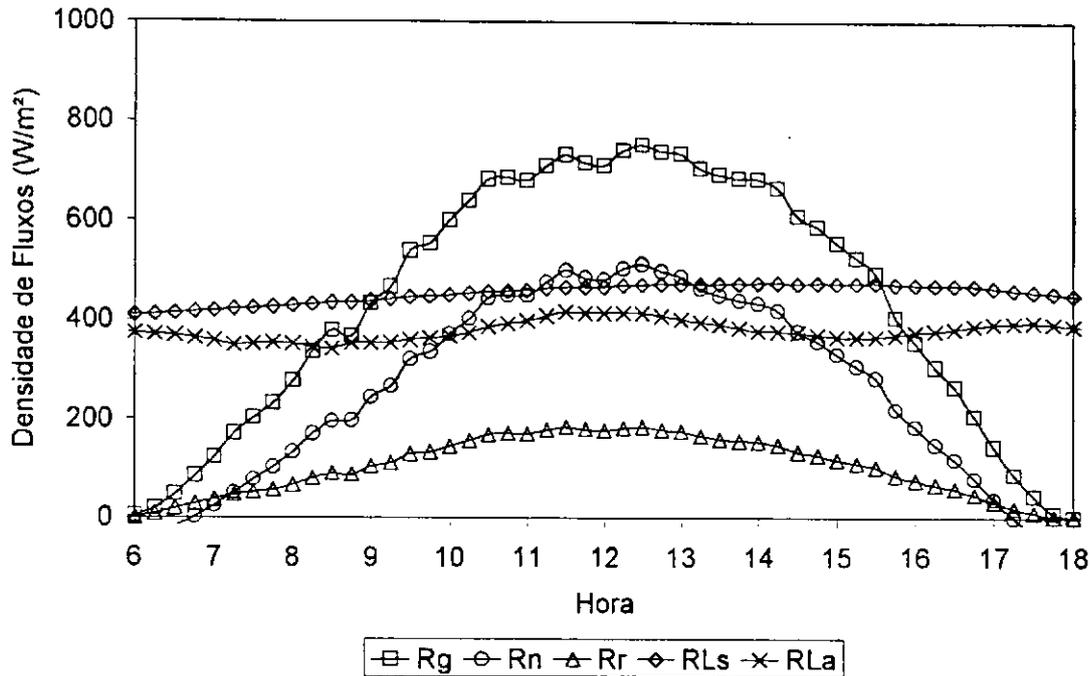


Figura 4.3.7. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 3 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE

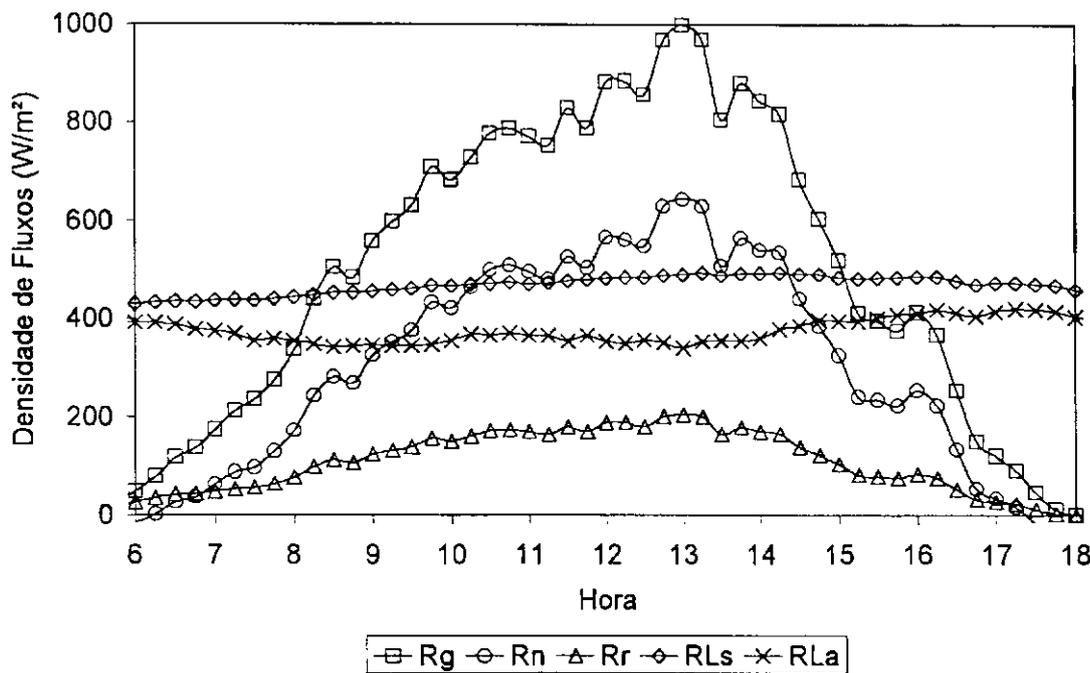


Figura 4.3.8. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de radiação durante a Fase 4 sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE

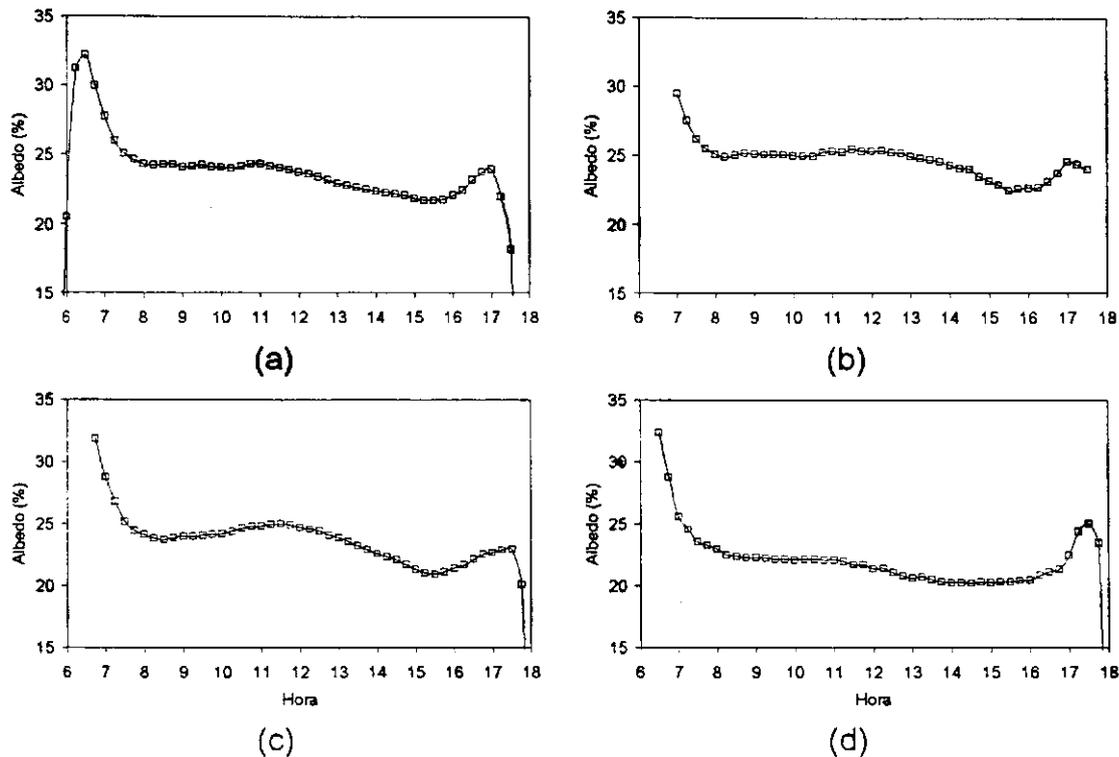


Figura 4.3.9. Comportamento médio diário do albedo da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, variedade 'Paluma', para as Fases 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d), em Petrolina – PE

Na Figura 4.3.10 é apresentado o comportamento médio dos componentes do balanço de radiação, para o período de saldo de radiação positivo, ao longo das quatro fases estudadas.

Analisando-se as curvas da referida figura, verifica-se que há uma tendência a aumento da radiação solar global, e conseqüentemente, dos outros componentes do balanço de radiação, partindo-se da Fase 1 (F1) até a Fase 4 (F4). Observa-se, ainda, que durante todo o período de estudo, houve dias com acentuada nebulosidade, o que contribuiu para grande redução nos valores médios dos componentes do balanço de radiação, principalmente na radiação solar global, cuja curva foi a que apresentou maior variabilidade ao longo do ciclo analisado.

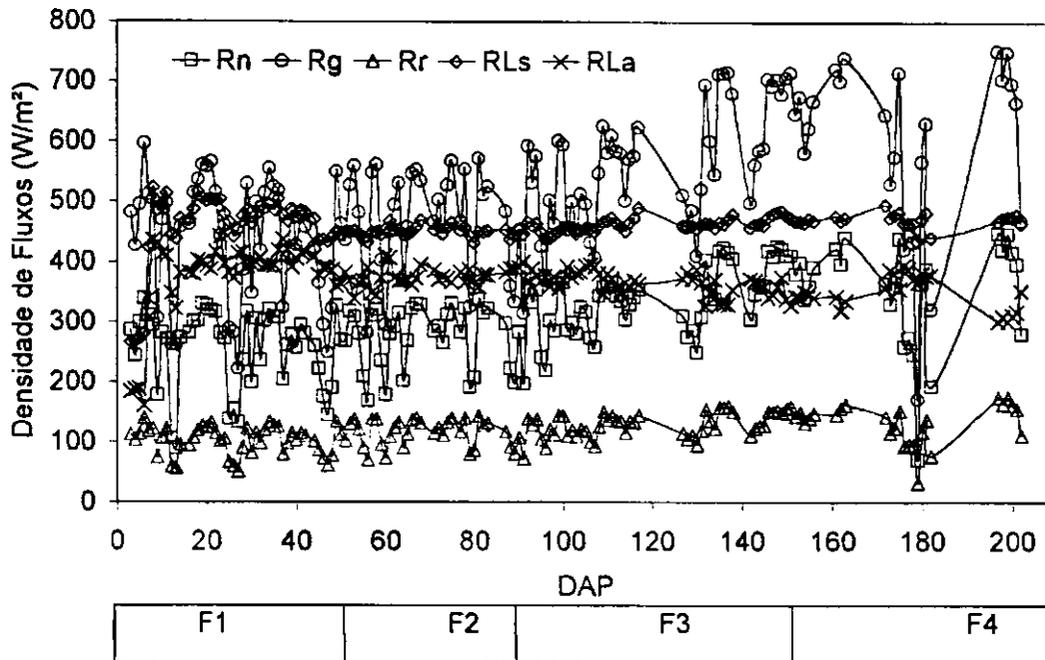


Figura 4.3.10. Comportamento dos componentes médios, do balanço de radiação, para o período de saldo de radiação positivo, sobre a goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, durante as quatro fases de desenvolvimento

A variação estacional do albedo ao longo do ciclo de produção da cultura é apresentada na Figura 4.3.11. Observa-se inicialmente altos valores de albedo (25%) e depois, percebe-se redução do mesmo até atingir mais ou menos 20,4% aos 18 DAP, quando o mesmo inicia um processo de elevação até atingir valores máximos na Fase 2, devido a floração. Posteriormente, começa a decrescer até final da Fase 3, quando visivelmente voltaria a se elevar, se não fossem as precipitações ocorridas durante o mês de novembro, na Fase 4, já que o molhamento do solo provoca redução no valor do albedo. Os valores mais elevados no início das observações, além de terem sido influenciados pela menor cobertura do solo pela vegetação, podem também ser resultado dos frutos do ciclo anterior, que estavam no estágio de maturação. Oliveira (1998) observou que para a cultura do amendoim irrigado, em um solo arenoso, o albedo foi maior

(29,8%) no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, quando o solo estava totalmente descoberto, e a medida que a cultura foi se desenvolvendo e cobrindo o solo, o albedo foi diminuindo até alcançar seu valor mínimo de 18,6 % no final da fase de desenvolvimento da vagem. Já Alves (1997), analisando a variação do albedo ao longo dos distintos subperíodos de desenvolvimento da cultura do melão irrigado, observou valores máximo do albedo quando a cultura alcançou o máximo de desenvolvimento, com a máxima proporção de solo coberto pela cultura, decrescendo em seguida no subperíodo de maturação com a queda das folhas.

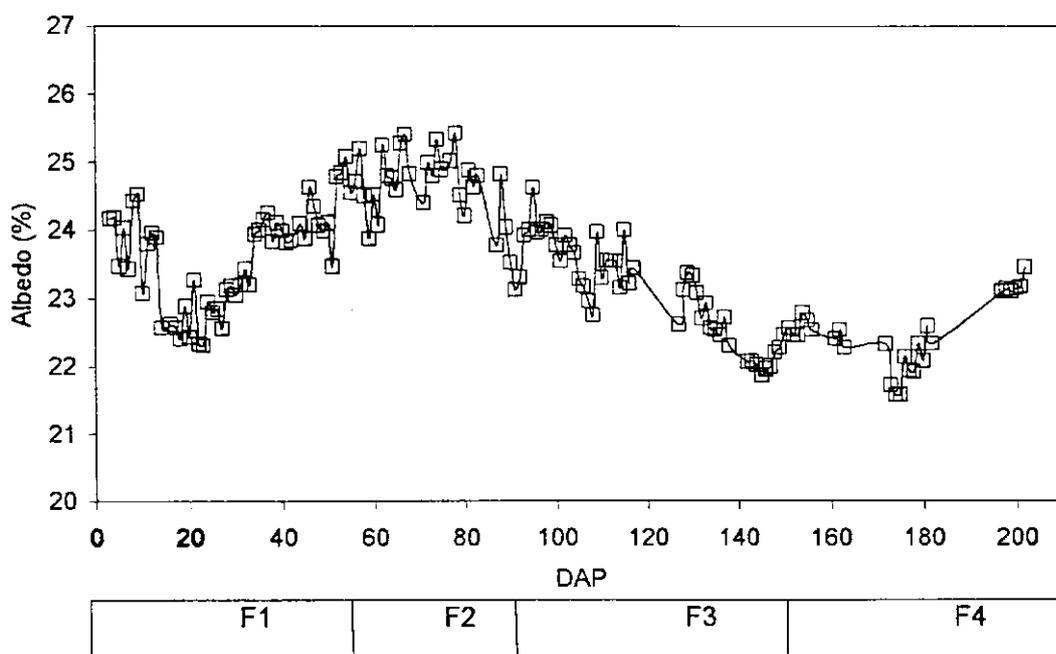


Figura 4.3.11. Comportamento do albedo médio diário da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, cultivar 'Paluma', durante todo o ciclo de produção, em Petrolina - PE

4.4. Balanço de energia baseado na razão de Bowen

4.4.1. Comportamento dos componentes do balanço de energia

O comportamento diurno do saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) para cada fase estudada é mostrado nas Figuras de 4.4.1 a 4.4.4. As densidades de fluxo de energia foram apresentadas para o período de 6h00 às 18h00. O fluxo de calor latente utilizado para o cálculo da evapotranspiração da cultura foi obtido através da Equação 13 utilizando a razão de Bowen segundo a Equação 10, e correspondeu à integração do LE correspondente ao período em que R_n foi positivo, critério também adotado por Heilman & Brittin (1989), Lopes (1999) e Silva (2000), dentre outros.

Observa-se nas Figuras de 4.4.1a a 4.4.4a que a grande presença de nebulosidade contribuiu para a grande variabilidade no saldo de radiação (R_n), e conseqüentemente, do fluxo de calor latente (LE), que foi praticamente igual ao R_n , durante o período diurno. Nestas mesmas figuras, pode-se perceber o pequeno valor atingido, tanto pelo fluxo de calor no solo (G) quanto pelo fluxo de calor sensível do ar (H), que permaneceram bem próximos de zero, representando pequena porção do saldo de radiação.

Nas Figuras 4.4.1b, 4.4.2b, 4.4.3b e 4.4.4b verifica-se a quase ausência de nebulosidade, e isto contribuiu para a pequena variabilidade observada nos comportamentos de R_n e LE , exceto no período matutino, quando estes fluxos foram mais variáveis. Este mesmo comportamento foi verificado por Silva (2000) e Lopes (1999), para estudos sobre a copa de mangueiras, igualmente em Petrolina

– PE, sendo que estes pesquisadores também observaram nebulosidade no período da tarde.

Nas condições de céu claro, durante a Fase 1, observa-se que o saldo de radiação (R_n), assim como o fluxo de calor latente (LE), alcançaram seus máximos por volta das 12h30, quando atingiram valores absolutos de 500,70 W/m^2 e 496,90 W/m^2 , respectivamente (Figura 4.4.1b). Nesta mesma figura, o valor absoluto máximo do fluxo de calor no solo (G) foi superior ao do fluxo de calor sensível do ar (H), 25,26 W/m^2 e 15,76 W/m^2 , respectivamente. Para a Fase 2, Figura 4.4.2b, observou-se comportamento semelhante ao da Fase 1, sendo que houve aumento na energia líquida disponível máxima (527,97 W/m^2), e conseqüentemente nos outros fluxos, sendo que nesta fase o valor absoluto do fluxo de calor no solo foi menor (22,36 W/m^2) que o do fluxo de calor sensível (34,84 W/m^2), possivelmente devido ao crescimento vegetativo que foi pleno nesta fase, cobrindo mais regularmente o solo.

Na Fase 3, que compreende o crescimento de frutos, observou-se maior nebulosidade no período matutino que nas demais fases, o que contribuiu para uma maior variabilidade de R_n e LE. Verifica-se na Figura 4.4.3b que, como nas fases analisadas anteriormente, o máximo de R_n ocorreu por volta do meio-dia, quando este fluxo chegou a atingir um máximo de 580,42 W/m^2 , e o fluxo de calor latente atingiu um máximo de 578,03 W/m^2 , ou seja, neste horário praticamente toda energia disponível foi convertida em LE. Neste dia (Figura 4.4.3b) percebeu-se que o fluxo de calor no solo foi destacadamente mais elevado (em módulo) que nos demais analisados, chegando a atingir valor máximo absoluto de 69,37 W/m^2 , enquanto que o valor máximo de H foi em torno de 30,00 W/m^2 . Isto se deve ao fato de que no dia anterior (02/09/2000) houve problemas técnicos no sistema de

irrigação e a área estudada não foi molhada. Idso *et al.* (1975) verificaram que em solo descoberto de vegetação, G é muito influenciado pela umidade do solo. Este fato também foi verificado por Lopes (1999) e Silva (2000), que verificaram aumento no G , quando o pomar de mangueiras não estava sendo irrigado, ou seja, observaram que G é fortemente influenciado pelo teor de água no solo.

Durante a fase de maturação e colheita dos frutos (F4), o saldo de radiação foi mais elevado que nas demais fases e conseqüentemente LE também apresentou essa característica. Como pode ser verificado na Figura 4.4.4b, os máximos de R_n e LE ocorreram por volta das 13h00, sendo LE maior que R_n , com valores de $663,04 \text{ W/m}^2$ e $634,96 \text{ W/m}^2$, respectivamente. O fluxo de calor sensível do ar máximo foi de $70,66 \text{ W/m}^2$ e o do solo foi de $28,69 \text{ W/m}^2$.

Como pode-se observar nas Figuras de 4.4.1 a 4.4.4, o LE foi superior ao R_n no período do início da manhã e final da tarde, fato este também verificado por Oliveira (1998), com a cultura do amendoim, em Rodelas – BA, que atribuiu este fato a advecção de calor sensível nestes intervalos.

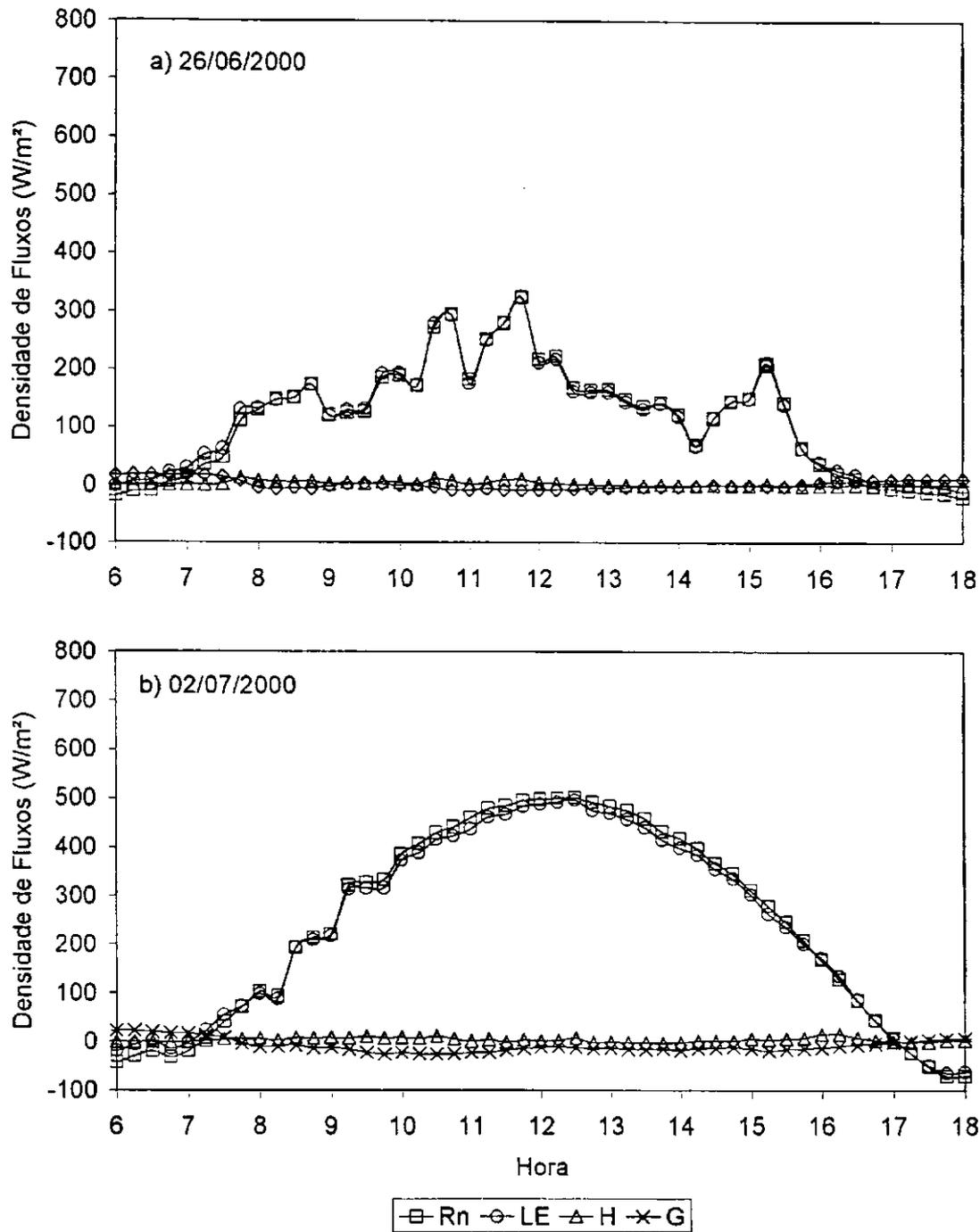


Figura 4.4.1. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 1: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

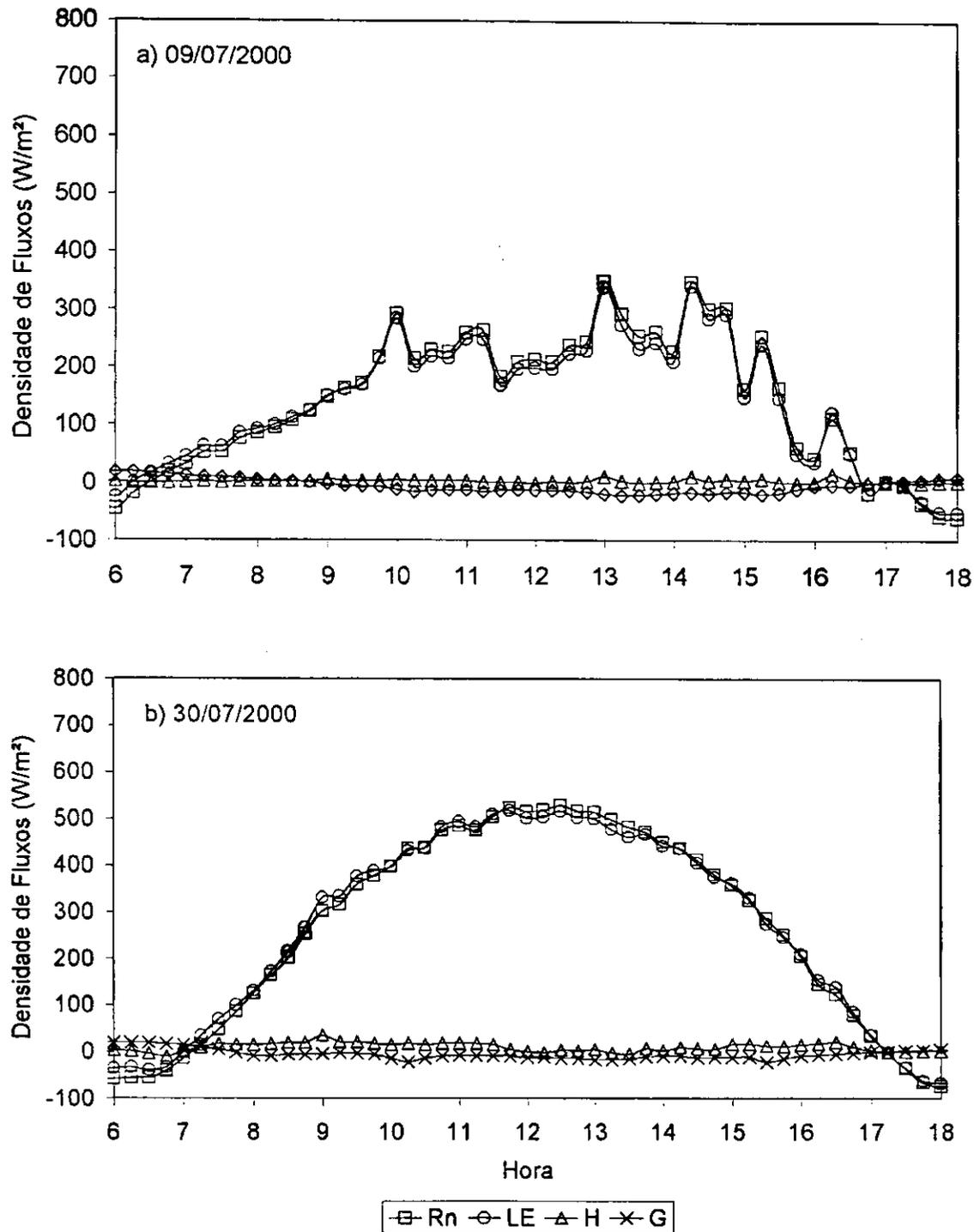


Figura 4.4.2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 2: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

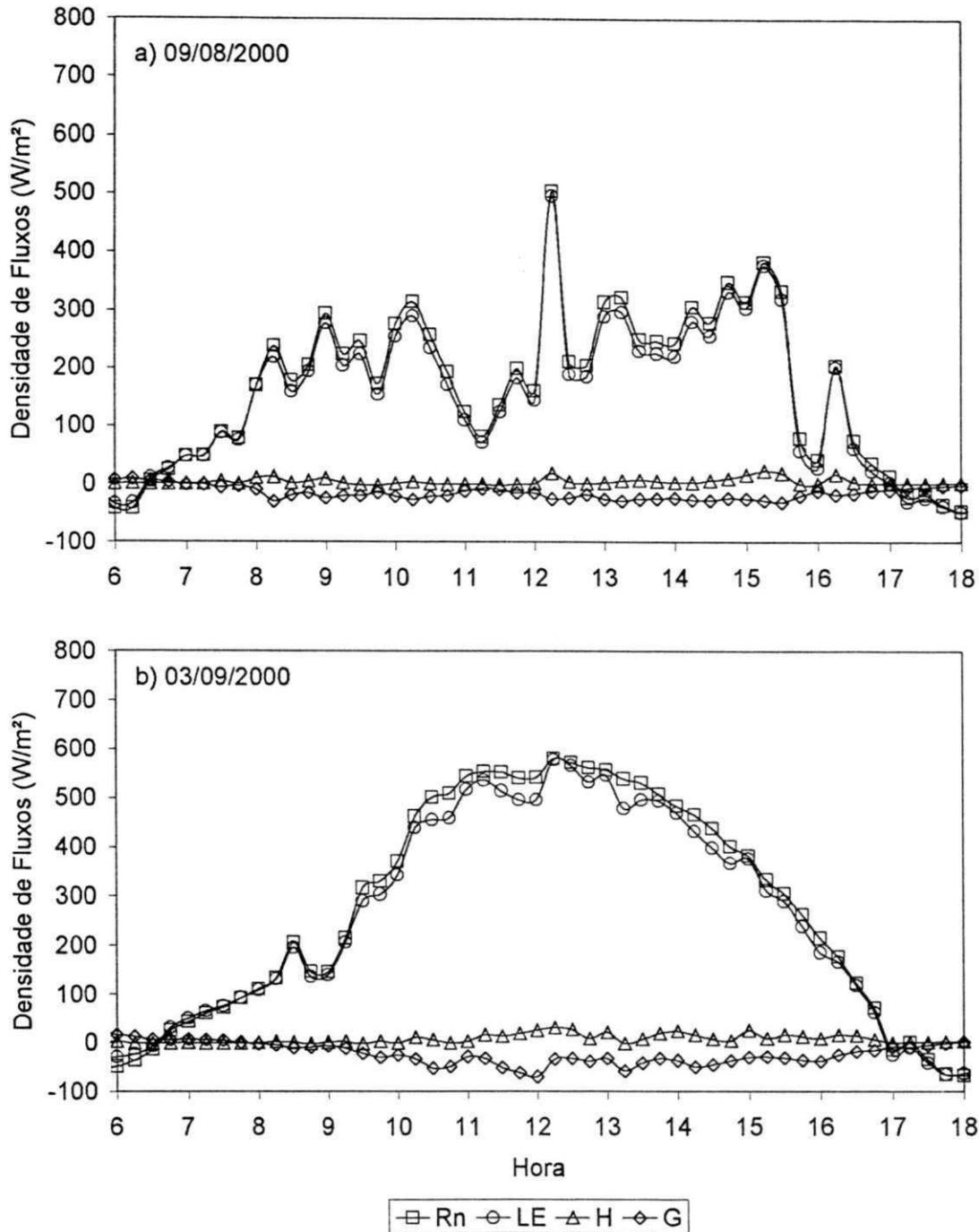


Figura 4.4.3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 3: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

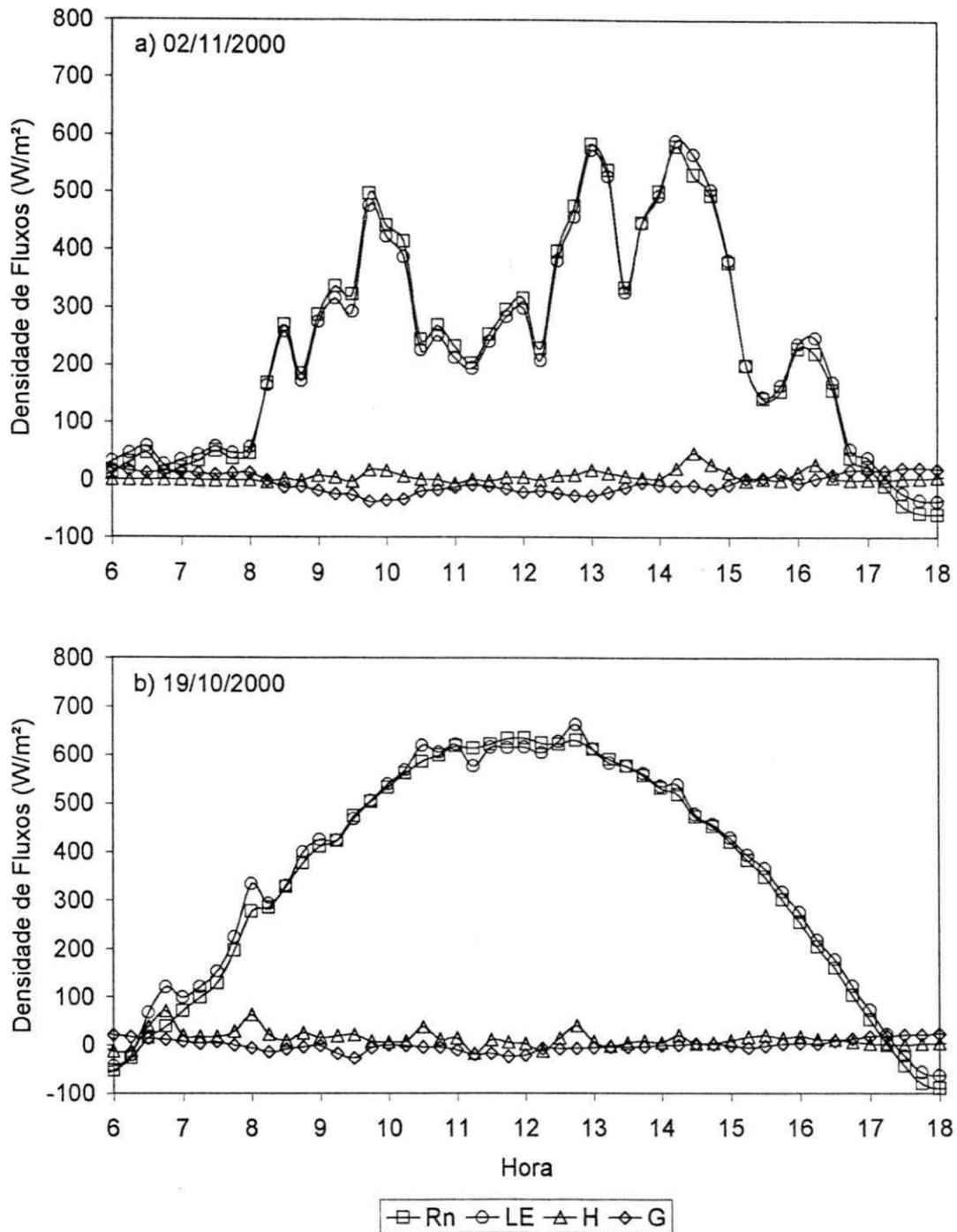


Figura 4.4.4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante dias representativos da Fase 4: (a) com nebulosidade e (b) sem nebulosidade

Ao analisar-se o comportamento médio diurno dos componentes do balanço de energia, para cada fase estudada, percebe-se que ocorreu uma suavização das curvas dos mesmos, mesmo tendo-se trabalhado com as mais variadas condições de nebulosidade durante cada fase do estudo. Apesar disso, ainda percebe-se que houve predominância de dias com ocorrência de nebulosidade, pois após os cálculos dos valores médios diurnos, verificou-se a presença de curvas com flutuações durante as quatro fases estudadas e, principalmente, na Fase 4.

Observa-se nas Figuras 4.4.5 e 4.4.6 que suas curvas comportam-se de maneira semelhante, com o fluxo de LE respondendo bem às variações de R_n e atingindo valores máximos em torno do meio-dia, que ficou na ordem de $440,00 \text{ W/m}^2$, enquanto que aquele atingiu máximo de quase $430,00 \text{ W/m}^2$, em ambas as fases. Verifica-se, ainda, que o fluxo de G foi maior na Fase 1 ($28,69 \text{ W/m}^2$) que na Fase 2 ($17,40 \text{ W/m}^2$), em módulo, e que com o fluxo de H ocorreu exatamente o oposto, pois o mesmo passou de $17,06 \text{ W/m}^2$, na Fase 1, para $23,09 \text{ W/m}^2$, na Fase 2. Nestas mesmas figuras percebe-se que LE foi superior a R_n nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, sendo R_n maior ou igual a LE durante o restante do período diurno.

Na Figura 4.4.7 observa-se que os fluxos máximos de R_n e LE ocorreram por volta das 13h00, com valores respectivamente iguais a $511,85 \text{ W/m}^2$ e $487,72 \text{ W/m}^2$. Observando-se os valores médios de R_n e LE da Fase 3, verifica-se que o R_n foi sempre maior ou igual ao LE, durante o período diurno, na Fase 3. Percebe-se ainda que o fluxo de H esteve sempre próximo a zero, exceto às 15h00, quando atingiu valor máximo absoluto de $48,14 \text{ W/m}^2$. O fluxo de calor no solo atingiu valores superiores ao fluxo de H durante quase todo período diurno,

em média, apesar de seu valor máximo ter sido menor que o máximo de H, na ordem de $45,00 \text{ W/m}^2$. Já ao se analisar a Figura 4.4.8, verifica-se que a presença de nebulosidade foi maior, resultando em maiores variações diurnas em Rn e LE. Percebe-se nesta figura que o horário de máximos valores de Rn e LE ocorreram por volta das 13h30, quando estes fluxos atingiram, respectivamente, $644,47 \text{ W/m}^2$ e $639,39 \text{ W/m}^2$. Novamente, o fluxo de calor sensível do ar foi superior ao do solo, chegando a atingir máximo de $82,76 \text{ W/m}^2$, enquanto que o pico de G foi de $33,61 \text{ W/m}^2$.

Percebe-se na Figura 4.4.9 que o fluxo médio diário de LE, acompanhou o de Rn, apresentando, ambos, valores muito próximos, sendo que no final da Fase 2 e início da Fase 3, correspondente ao período de crescimento de frutos, o Rn foi um pouco superior ao LE, enquanto que nas outras fases, ocorreu sempre igualdade destes termos, ou superioridade do LE, principalmente na fase de maturação e colheita de frutos (F4). Com relação aos fluxos de calor sensível do ar e do solo, percebe-se que este último foi superior, principalmente no final da Fase 2 e início da Fase 3, talvez devido ao fato de ter ocorrido falta de água mais ou menos no dia 112 após a poda (DAP). Observa-se, ainda, uma tendência temporal a elevação de todos os componentes do balanço de energia, tanto em virtude da maior disponibilidade de energia para a conversão em LE, H e G, como pelo aumento da necessidade da planta em metabolizar, já que esse período compreendeu um ciclo de produção, passando por fases de crescimento vegetativo, floração, crescimento de frutos, maturação e colheita.

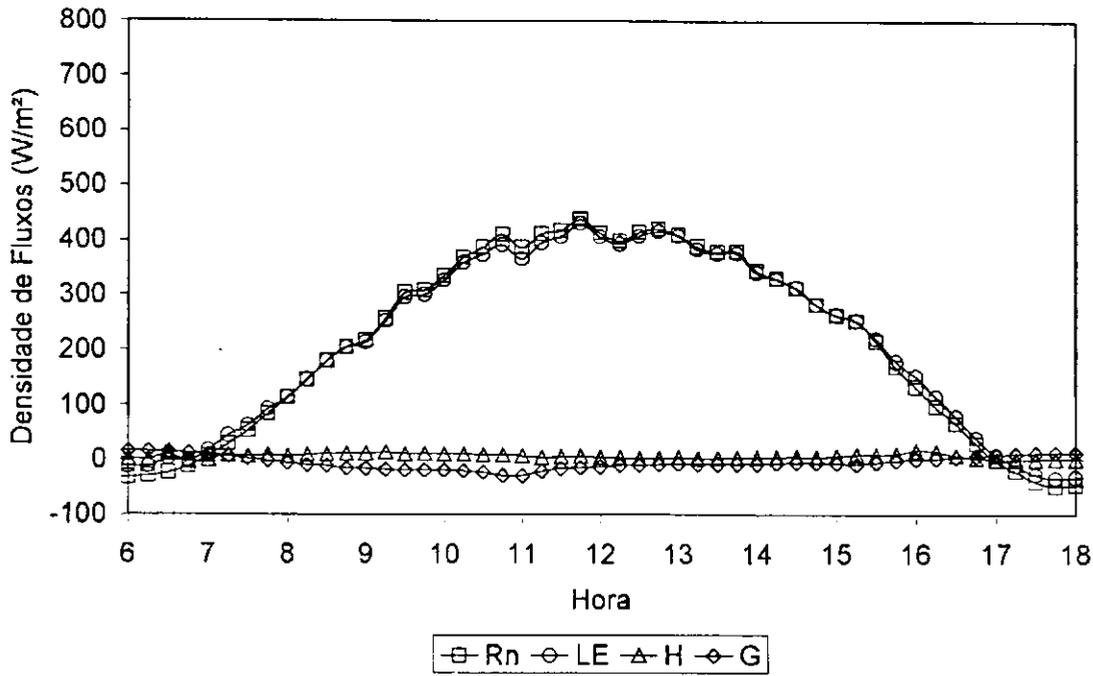


Figura 4.4.5. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), durante a Fase 1, em Petrolina – PE

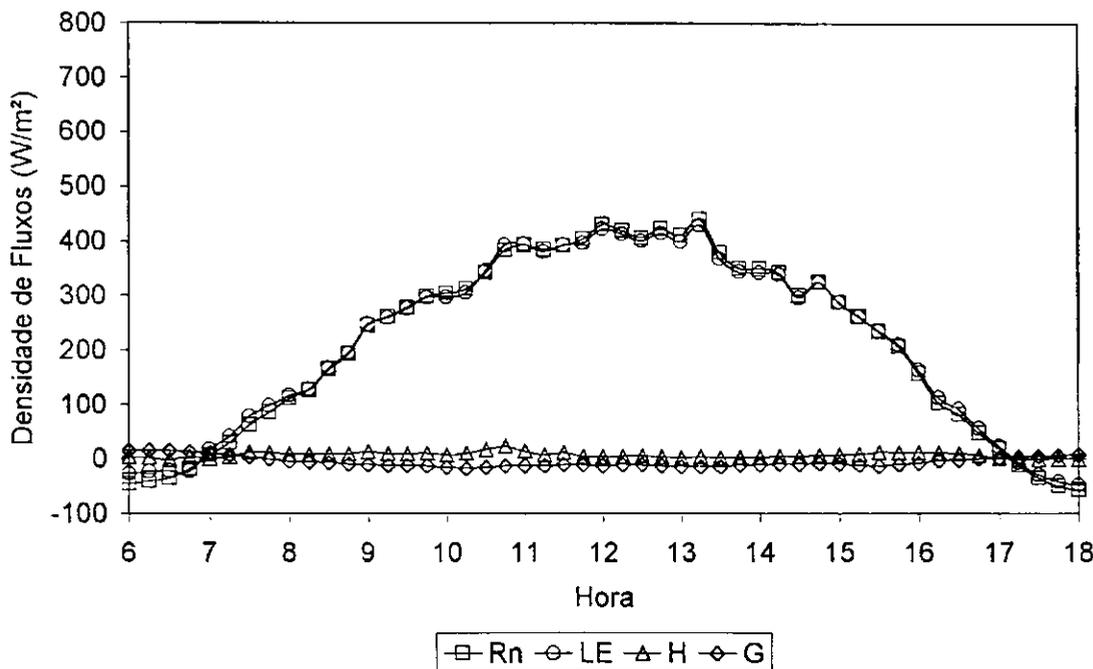


Figura 4.4.6. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), durante a Fase 2, em Petrolina – PE

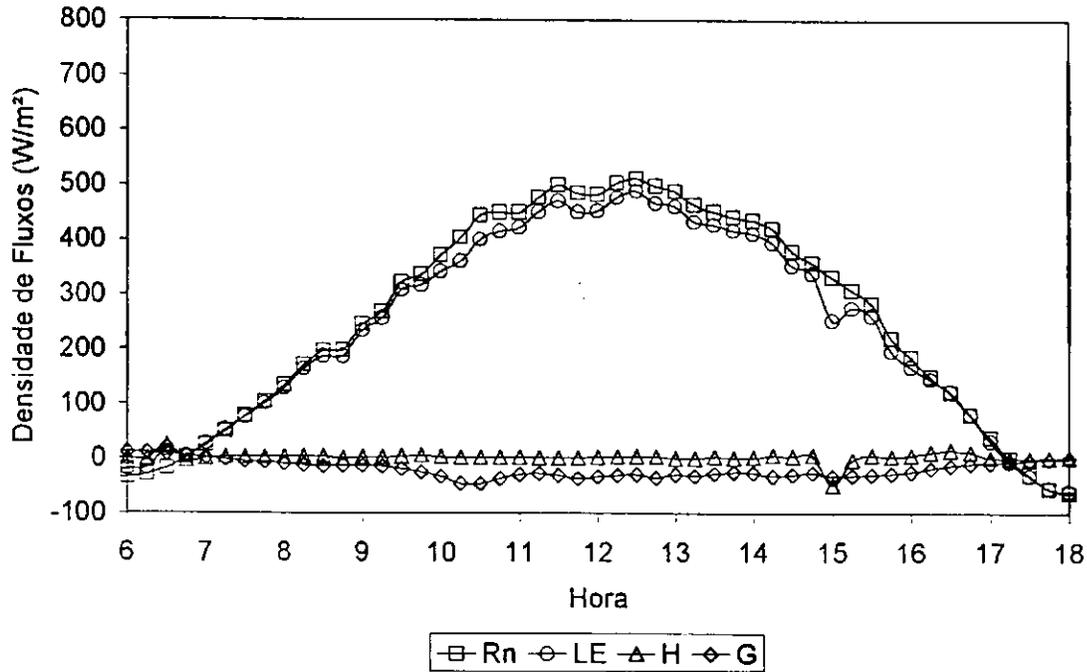


Figura 4.4.7. Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), durante a Fase 3, em Petrolina – PE

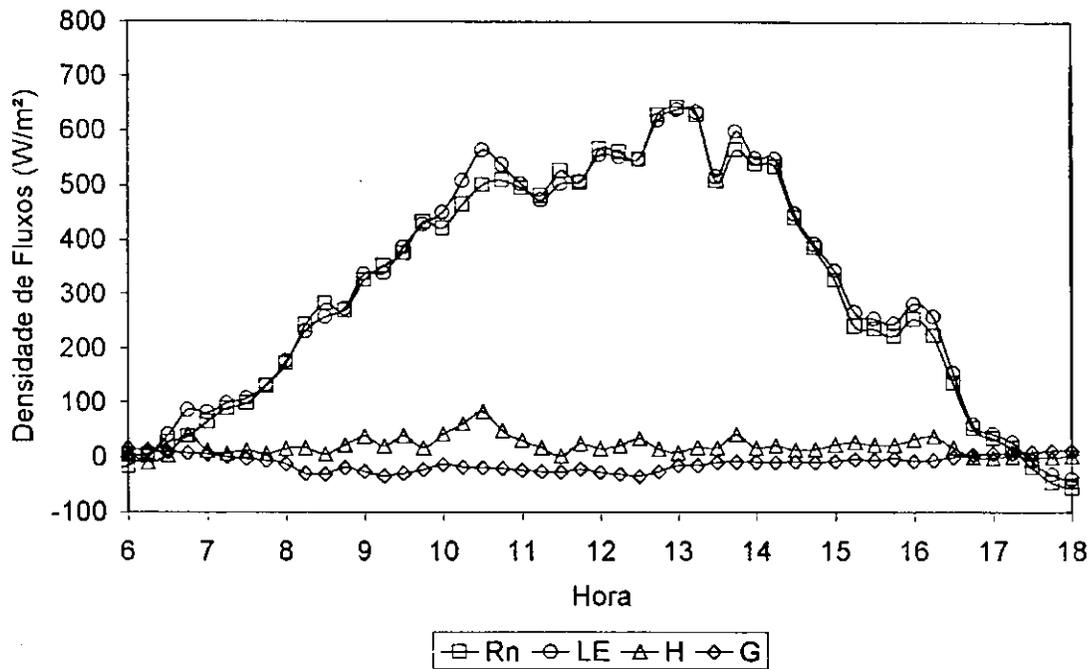


Figura 4.4.8 Comportamento médio diário dos componentes do balanço de energia, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.), durante a Fase 4, em Petrolina – PE.

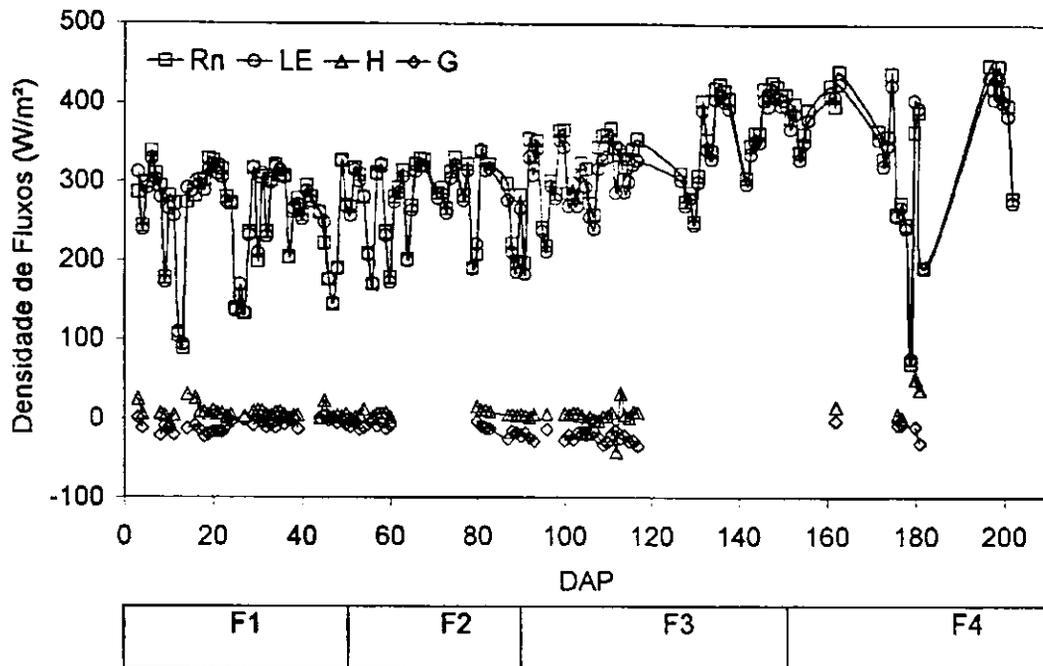


Figura 4.4.9. Comportamento médio estacional dos componentes do balanço de energia para o período de saldo de radiação positivo, sobre a goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, durante as quatro fases de desenvolvimento fenológico

4.4.2. Comportamento da razão de Bowen

Os valores da razão de Bowen corrigida (β_c) através da Equação 12 não foram muito diferentes daqueles obtidos pela Equação 10. Desta maneira, verificou-se pequena variação no cálculo do fluxo de calor latente corrigido (LE_c).

Comparando-se as curvas do fluxo de calor latente obtido pelo método original do balanço de energia (LE) e LE_c (fluxo de calor latente obtido pela razão de Bowen corrigida), apresentadas na Figura 4.4.10, para as Fases 1, 2, 3 e 4, verifica-se que LE é quase igual a LE_c , principalmente na Fase 3, e que a maior diferença entre as duas curvas ocorreu na Fase 4, entre o período de 9h00 às 16h00 (Figura 4.4.10d). Nas Fases 1 (Figura 4.4.10a) e 2 (Figura 4.4.10b)

percebe-se que LE_c é um pouco superior a LE , no entanto a diferença é muito pequena, e as curvas destes componentes quase sobrepõem-se. Em termos diários, o comportamento observado foi o mesmo mostrado na Figura 4.4.10, com pequenas variações. Oliveira (1998), visando observar os efeitos advectivos sobre um campo cultivado com amendoim, realizou a correção de LE com a razão de Bowen corrigida, e concluiu que corrigindo apenas os efeitos da razão de Bowen não foi possível detectar advecção, já que as curvas de LE obtidas pelo método original do balanço de energia sobrepuseram-se às obtidas utilizando a razão de Bowen corrigida.

Desta forma, a utilização da Equação 12 proposta por Verma *et al.* (1978) com a finalidade de corrigir efeitos advectivos não produziu resultados diferentes daqueles obtidos pelo método original do balanço de energia baseado na razão de Bowen para as condições da pesquisa. Assim, os resultados aqui apresentados foram obtidos assumindo a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_h) e de vapor d'água (K_w).

Nas Figuras 4.4.11 a 4.4.14 é apresentado o curso diurno da razão de Bowen (H/LE), para o período de 6h00 às 18h00, para dias representativos com nebulosidade (a) e sem nebulosidade (b), de cada fase fenológica estudada. Percebe-se que nos dias com nebulosidade a razão de Bowen foi menos variável e mais próxima de zero que nos dias sem nebulosidade, quando seu curso diurno apresentou maior variação e valores mais elevados, principalmente no início da manhã e no final da tarde. Foi também neste período que a mesma apresentou valores negativos, indicando que o fluxo de H também foi negativo nesses horários. Quando o valor da razão de Bowen é próximo a zero significa que quase

toda energia disponível foi utilizada pela cultura para evapotranspirar, ou seja, quase todo R_n foi convertido em LE.

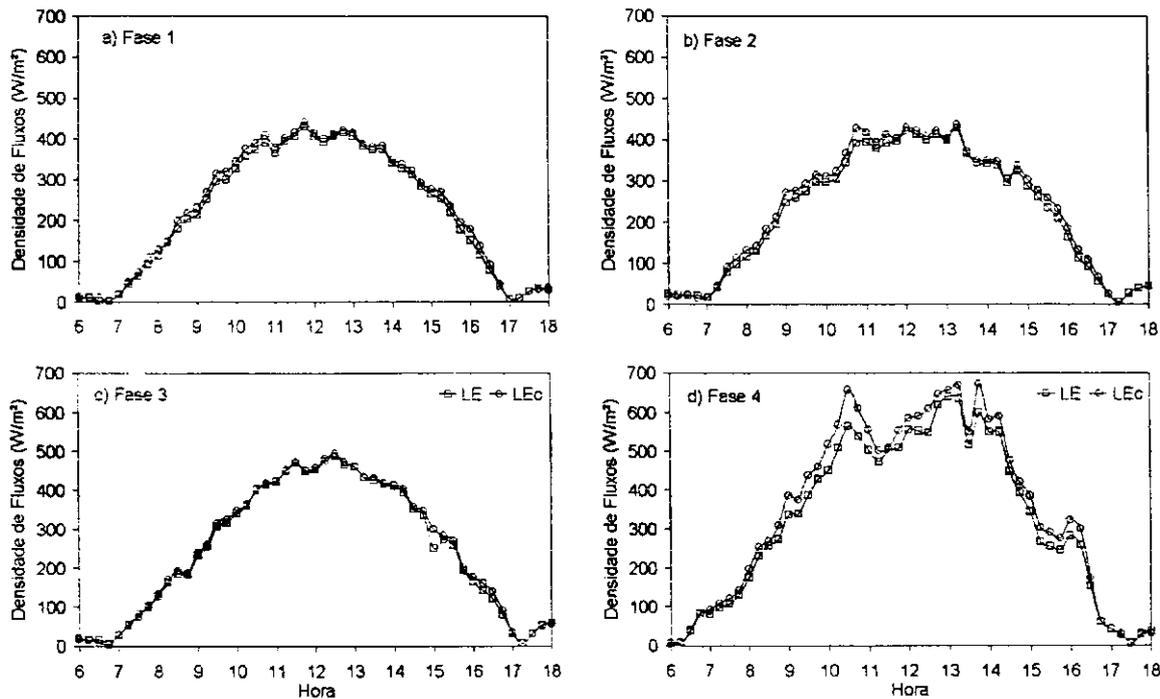


Figura 4.4.10. Fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor latente com a razão de Bowen corrigida (LEc) para as Fases 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d), sobre a goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE.

Analisando-se as figuras referentes às médias diárias de cada fase (Figura 4.4.15 a-d), percebe-se que são raras as ocasiões em que a razão de Bowen atinge valores superiores a 1 e inferiores a -1 , o que segundo Lopes (1999) é um indicativo de que a umidade nos níveis mais próximos à copa apresenta-se mais elevada. Nesta mesma figura observa-se a pequena variação da razão de Bowen, que manteve-se sempre próxima a zero, à exceção do período entre 6h00 e 7h00, que seu valor variou bastante atingindo, geralmente, os maiores e menores índices.

O sinal do valor da razão de Bowen é determinado pelo sinal do fluxo de H . Na Figura 4.4.16 estão expressos os valores médios diários da razão de Bowen (H/LE) para o período em que R_n é positivo e diferentes fases da pesquisa.

Observa-se valores baixos da razão de Bowen, estando a maioria entre 0 e 0,05. Comparando-se esta figura com a Figura 4.4.9, percebe-se que há uma tendência de mesmo comportamento entre a razão de Bowen e o fluxo de calor sensível.

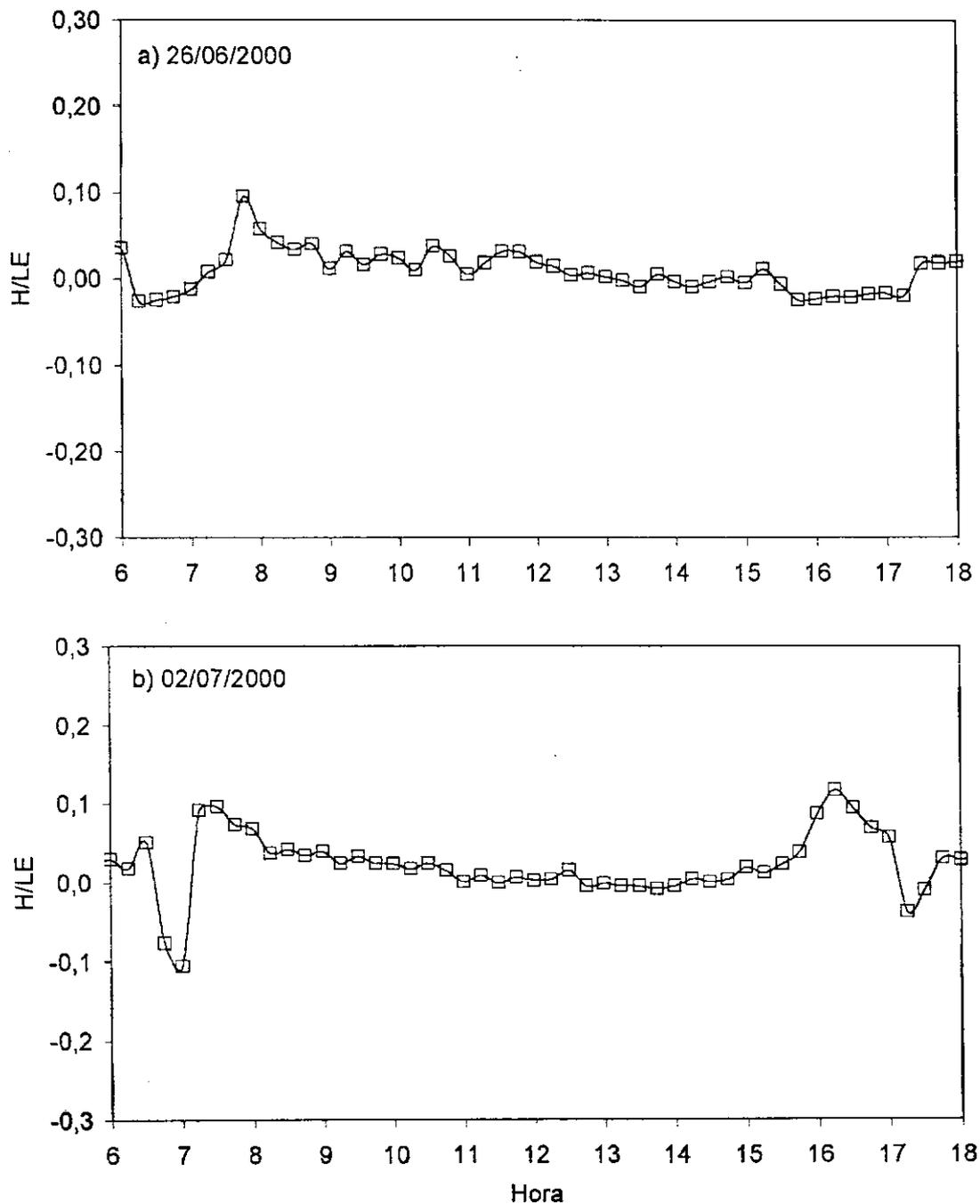


Figura 4.4.11. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE) para dias representativos da Fase 1 sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade

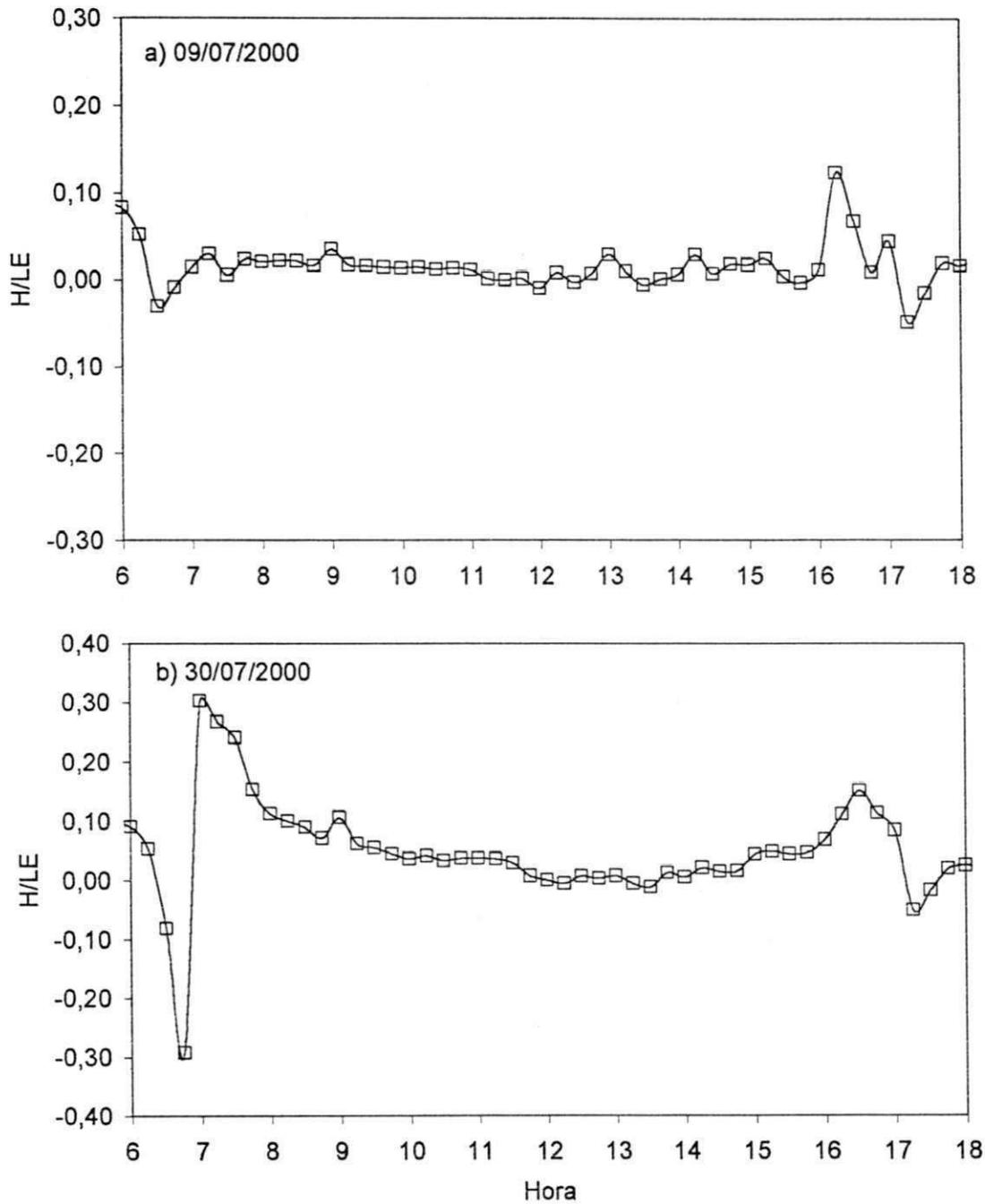


Figura 4.4.12. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE) para dias representativos da Fase 2 sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade

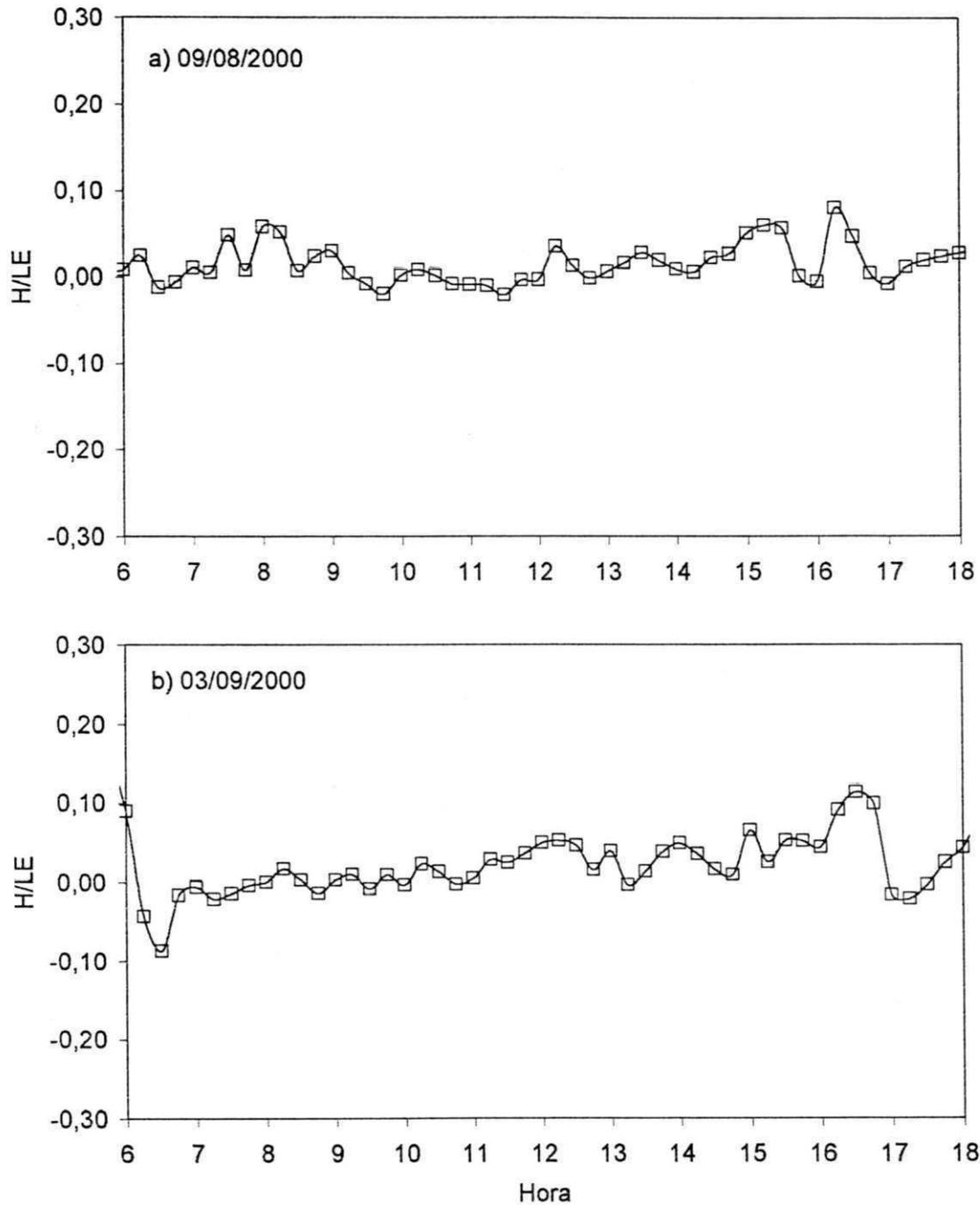


Figura 4.4.13. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE) para dias representativos da Fase 3 sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade

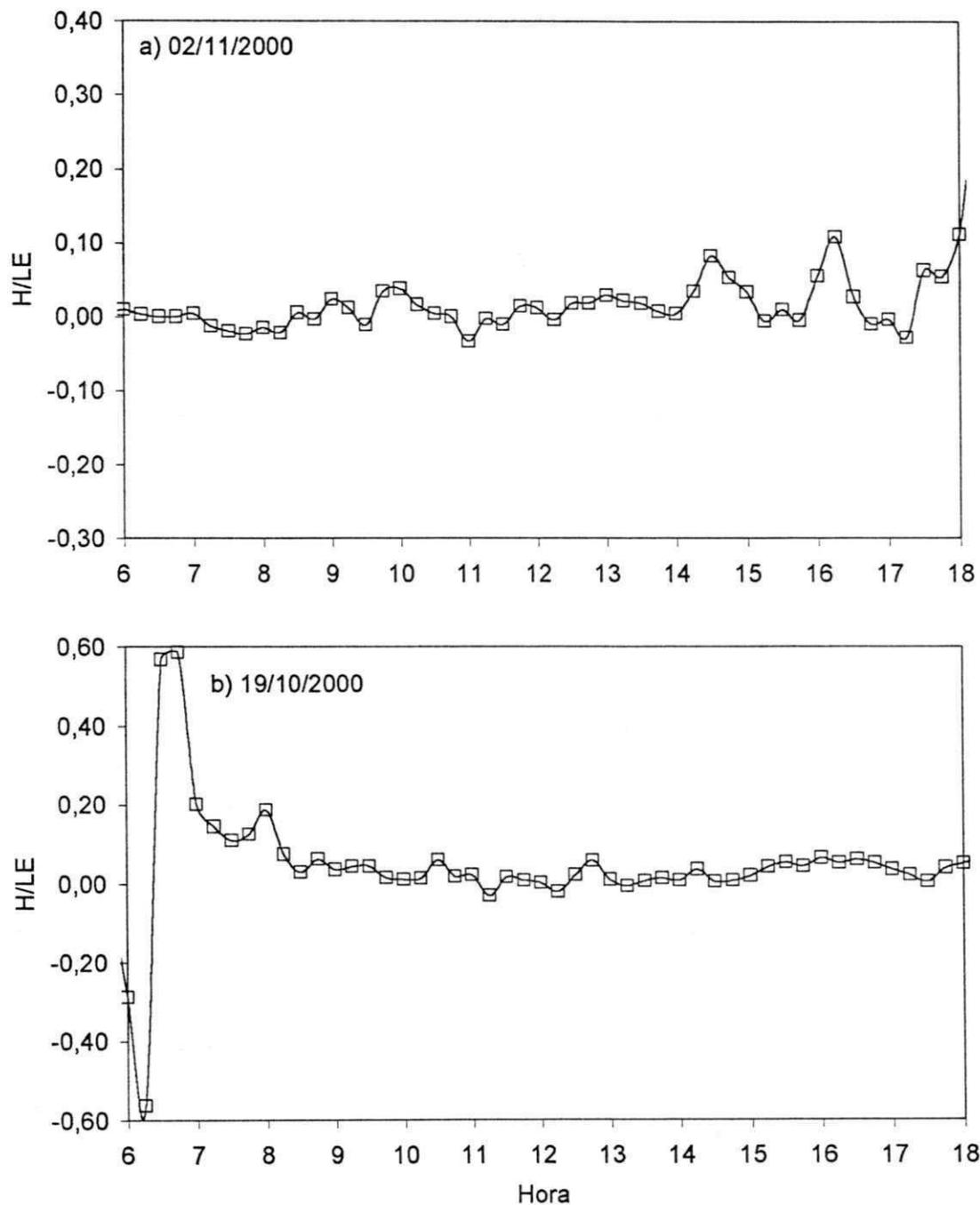


Figura 4.4.14. Comportamento diurno da razão de Bowen (H/LE) para dias representativos da Fase 4 sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE: (a) dia com nebulosidade e (b) dia sem nebulosidade

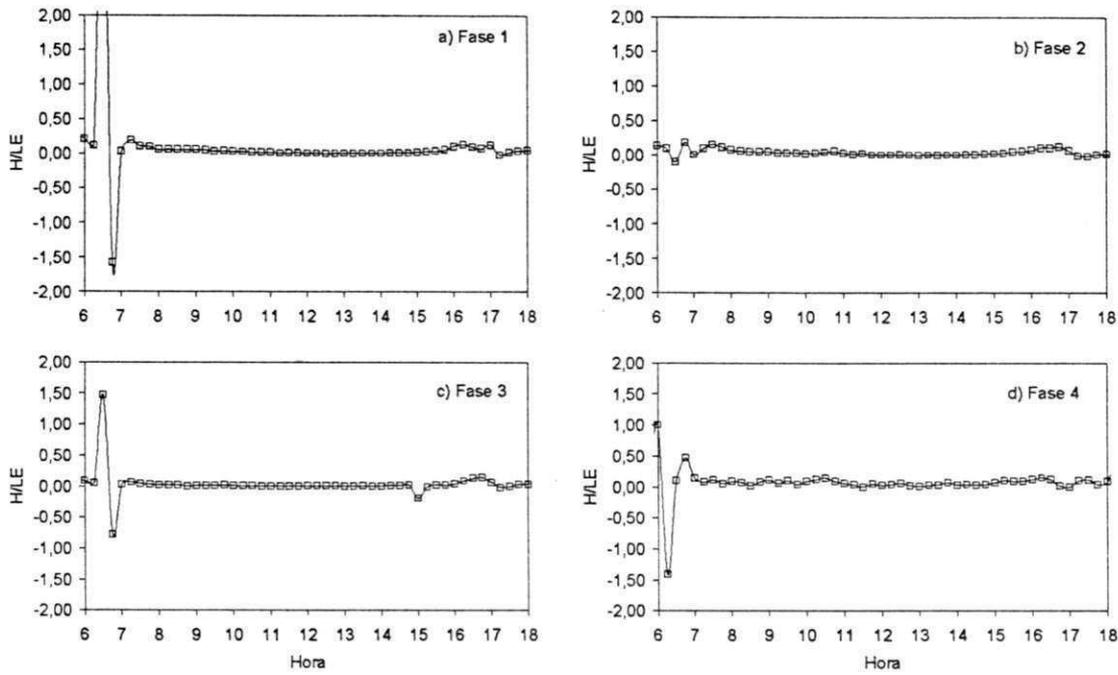


Figura 4.4.15. Comportamento médio diurno da razão de Bowen (H/LE) para a Fase 1 (a), Fase 2 (b), Fase 3 (c) e Fase 4 (d), sobre o pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina –PE

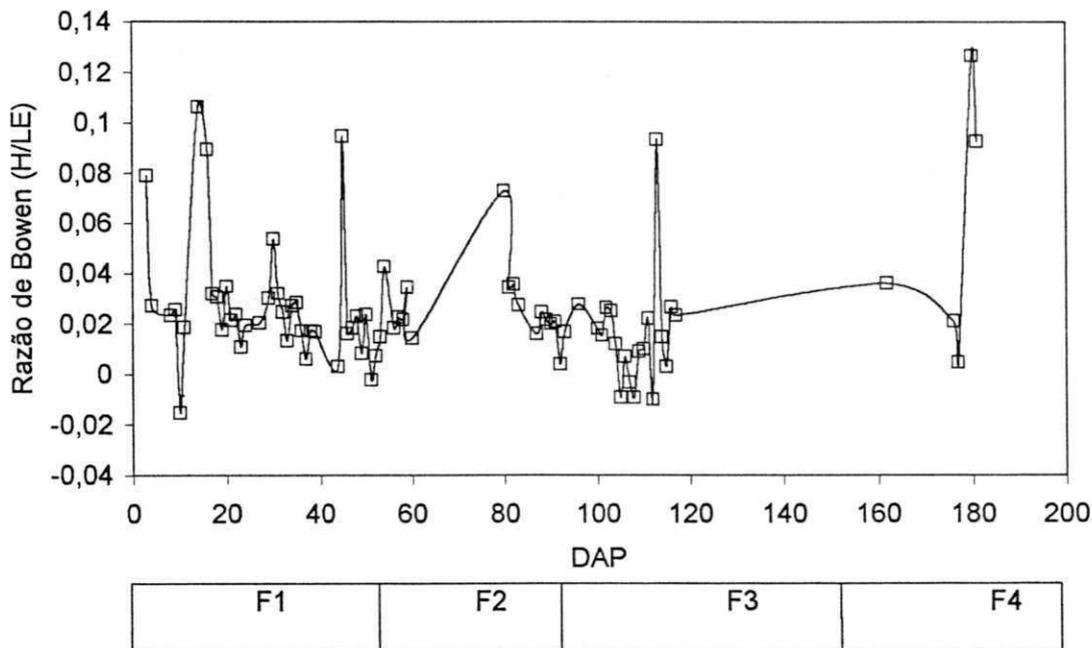


Figura 4.4.16. Comportamento médio da razão de Bowen (H/LE), para o para o período de saldo de radiação positivo, sobre a copa da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, durante as quatro fases fenológicas estudadas

4.4.3. Análise de erros

A análise de erros instrumentais cometidos no cálculo da razão de Bowen e do fluxo de calor latente obtida pelo método proposto por Angus & Watts (1984) é mostrada nas Figuras de 4.4.17 a 4.4.20 (a, b e c), para erros relativos e absolutos, respectivamente, para as Fases 1, 2, 3 e 4.

Como pode ser visto na Figura 4.4.17a o erro relativo no cálculo da razão de Bowen, durante a maior parte do dia, ficou entre 20% e 40%, com extremos ocorrendo por volta das 7h30 (60%) e no final da tarde (10%). Já o erro relativo no cálculo de LE, para essa mesma fase (F1), ficou em torno de 20% para a maior parte do período diurno, e com tendência de acompanhar o erro relativo da razão de Bowen. Com relação ao erro absoluto associado ao cálculo de LE (Figura 4.4.17b) pode-se perceber que o mesmo é tanto maior quanto maior for R_n , com máximo ocorrendo por volta do meio dia (110 W/m^2). O comportamento é semelhante ao do próprio LE. Já o erro absoluto no cálculo da razão de Bowen (Figura 4.4.17c) foi, durante maior parte do período diurno, muito pequeno, justamente devido ao pequeno valor de β . Apenas nas primeiras horas da manhã verificou-se grande variação nos valores.

Os erros encontrados para as Fases 2, 3 e 4 são mostrados nas Figuras 4.4.18, 4.4.19 e 4.4.20, respectivamente. Verifica-se que os erros relativos, tanto da razão de Bowen como do fluxo de calor latente, aumentaram da Fase 2 para a Fase 3, ocorrendo pequena redução na Fase 4, principalmente no LE. Os erros relativos no cálculo de β foram maiores no início da manhã, assim como o erro absoluto, para essas três fases. Com relação ao erro absoluto no cálculo de LE

(Figuras 4.4.18b, 4.4.19b e 4.4.20b), verifica-se aumento da Fase 2 para a Fase 4, quando o erro máximo foi de quase 110 W/m² para 175 110 W/m².

Lopes (1999) verificou erros relativos no cálculo da razão de Bowen variando entre -20% e 30% e de 5% a 10% no cálculo de LE, para o período de 24 horas. Uma análise de erros mais detalhada foi realizada por Silva (2000), que encontrou erro no cálculo do fluxo de calor latente variando de 14,0%, para condições de baixa demanda evaporativa a 40,9% para condições de alta demanda evaporativa, com valores intermediários em torno de 24%, em condições de moderada demanda evaporativa. Perez *et al.* (1999) foram mais minuciosos e fizeram uma análise de erros no cálculo da razão de Bowen, atribuindo critérios para rejeição de valores dos fluxos de LE e H quando $-1,3 < \beta < -0,7$. Eles observaram que, em média, 40% do total de dados correspondente ao período noturno e a eventos de precipitação ou irrigação, foram rejeitados. No entanto, concluíram que para dados consistentes e dependendo do local, as incertezas associadas às medições de LE são relativamente elevadas, variando de 9% a 40%, com os maiores erros estando associados à razão de Bowen e fluxo de calor sensível.

Na Figura 4.4.20a observa-se erros relativos mais elevados que os verificados por Silva (2000), quando o erro relativo de LE chega a atingir valores de até 60%, e na maioria dos dias encontra-se valores na ordem de 40%. Com relação ao erro relativo na determinação da razão de Bowen, percebe-se que a maioria ficou por volta dos 20%. Na Figura 4.4.20b percebe-se erro absoluto na determinação do LE variando de -20 W/m² a -80 W/m², e percebe-se que esses valores foram influenciados pelo erro absoluto da razão de Bowen, e que quando

estes foram muito elevados, provocou aumento nos valores do erro absoluto de LE.

Os elevados erros absolutos na razão de Bowen são resultados das maiores diferenças de temperatura do bulbo úmido e de bulbo seco. Na Figura 4.4.21 são mostrados os erros médios diários para o período em que R_n foi positivo. Pode-se perceber que houve uma correspondência entre a diferença de temperatura de bulbo úmido e os erros relativos da razão de Bowen e do fluxo de calor latente, ou seja, quando a diferença de temperatura do bulbo úmido diminuiu, o erro relativo da razão de Bowen sofreu incremento. Observa-se ainda na Figura 4.4.21 que quanto menor a diferença entre a temperatura do bulbo seco no dois níveis, maiores foram os erros relativos de β e de LE, e vice-versa. Os dias que apresentaram maior R_n , geralmente, também apresentaram maior erro relativo de LE e os dias de menores valores de R_n apresentaram menor erro absoluto em LE. Silva (2000) verificou que as maiores diferenças de temperatura de bulbo úmido (-2,28 °C e -1,88 °C) associadas às altas percentagens de erros da 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%). Esse pesquisador concluiu que o balanço de energia oferece maior precisão na determinação da evapotranspiração em condições atmosféricas nas quais os gradientes de temperatura são mínimos.

O erro relativo médio na determinação de LE foi da ordem de 20%, enquanto a maior parte dos dias apresentou erro absoluto entre 20 W/m² e 70 W/m², como pode ser verificado na Figura 4.4.21.

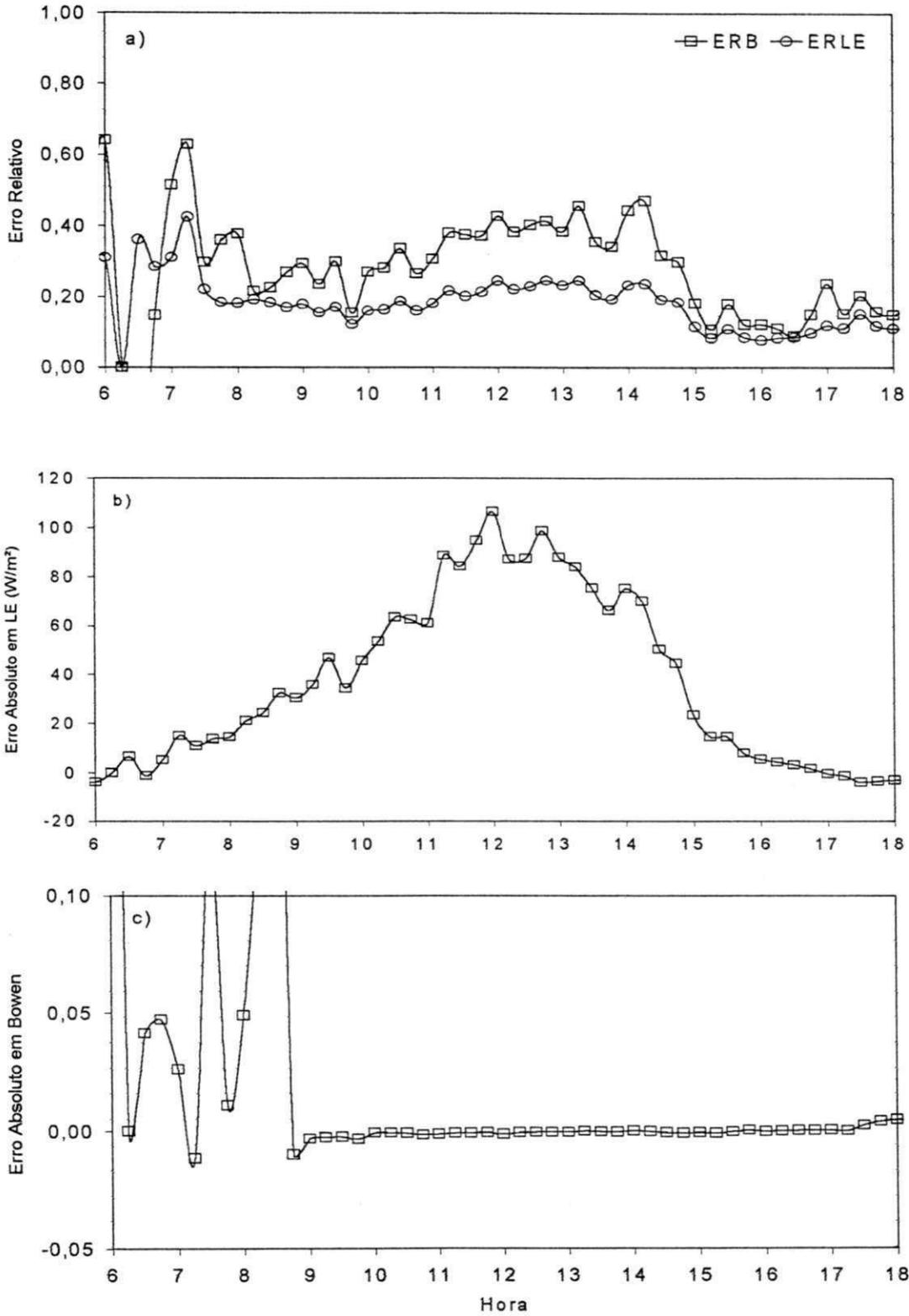


Figura 4.4.17. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c) médio da Fase 1, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE

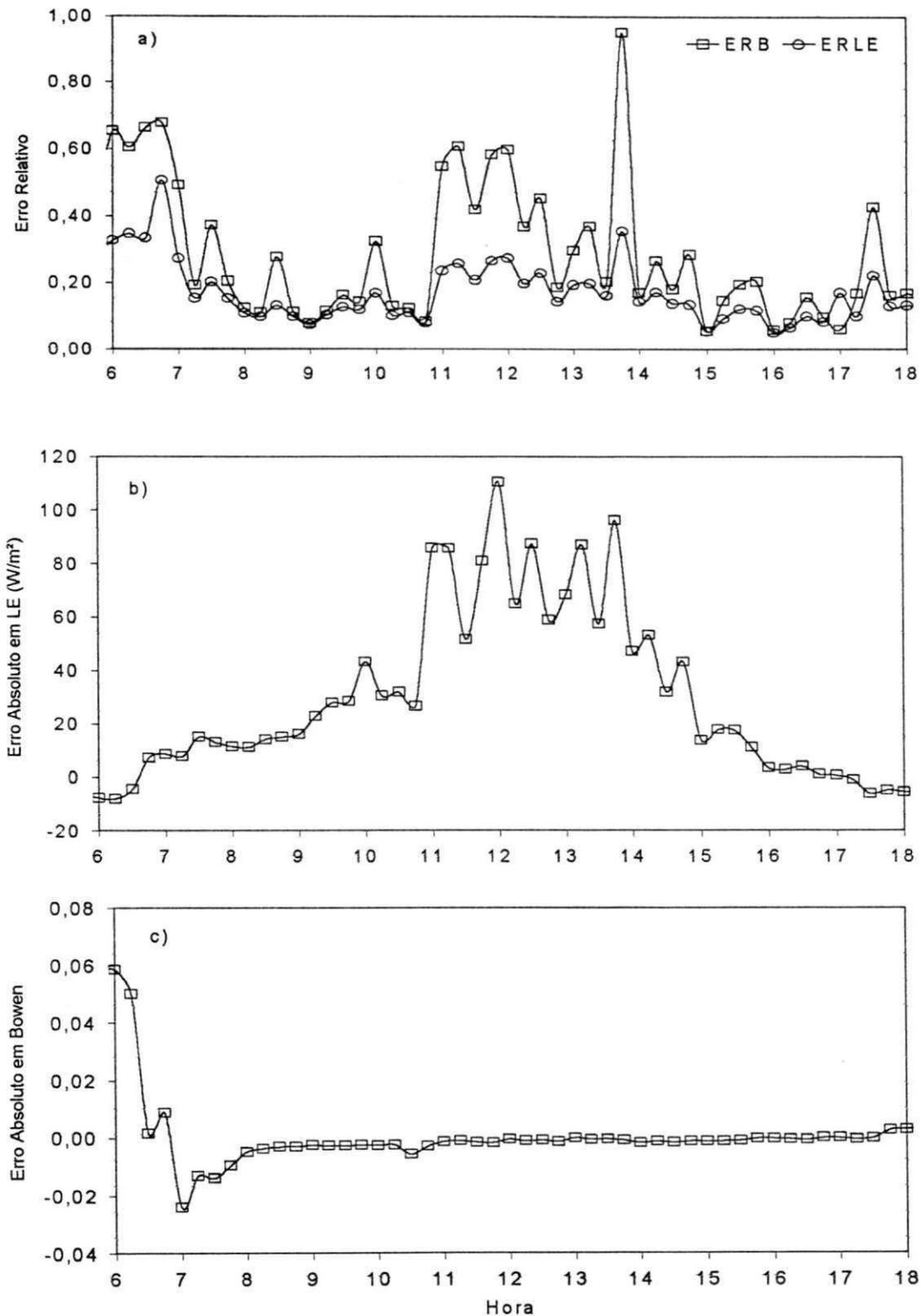


Figura 4.4.18. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c) médio da Fase 2, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE

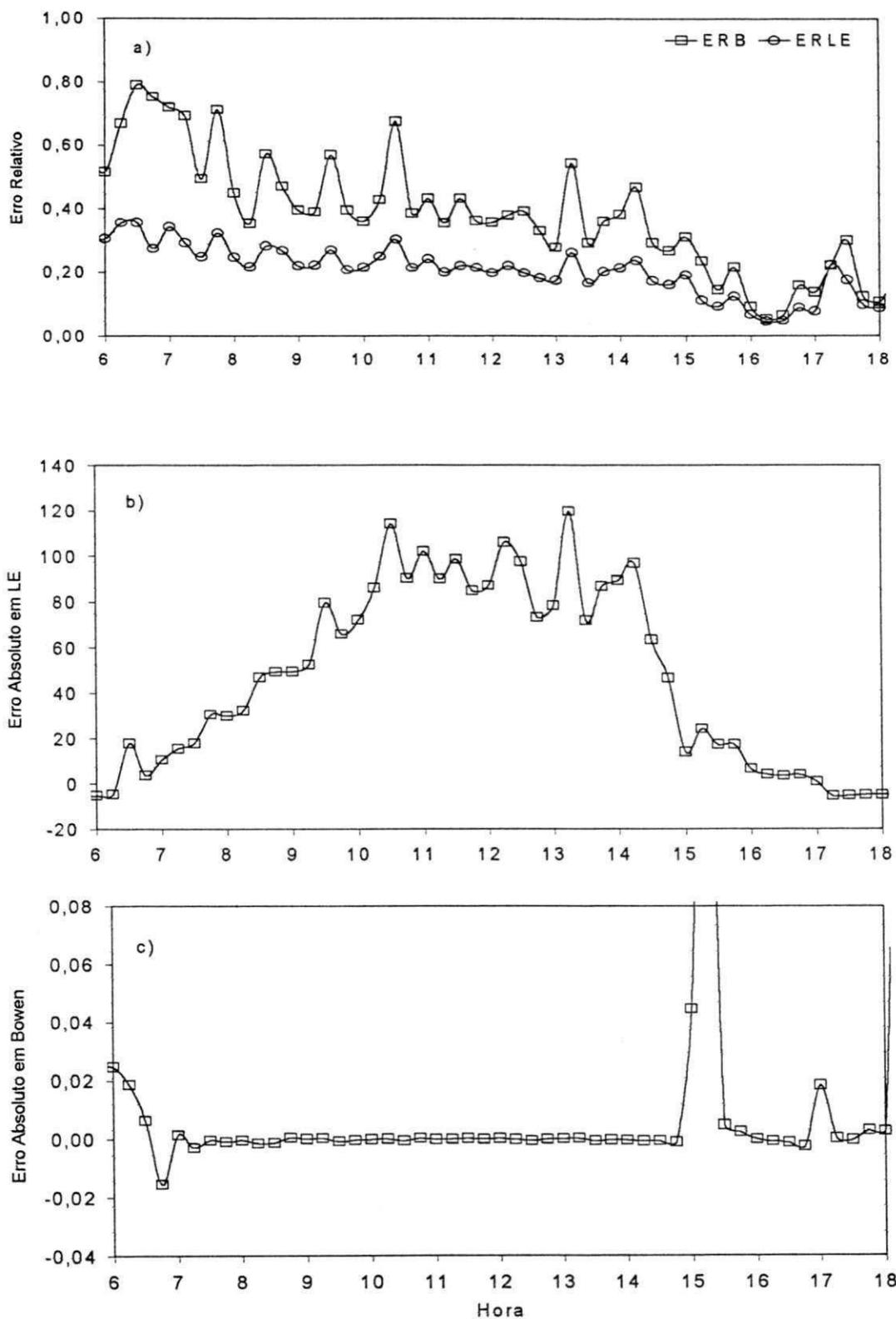


Figura 4.4.19. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c) médio da Fase 3, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE

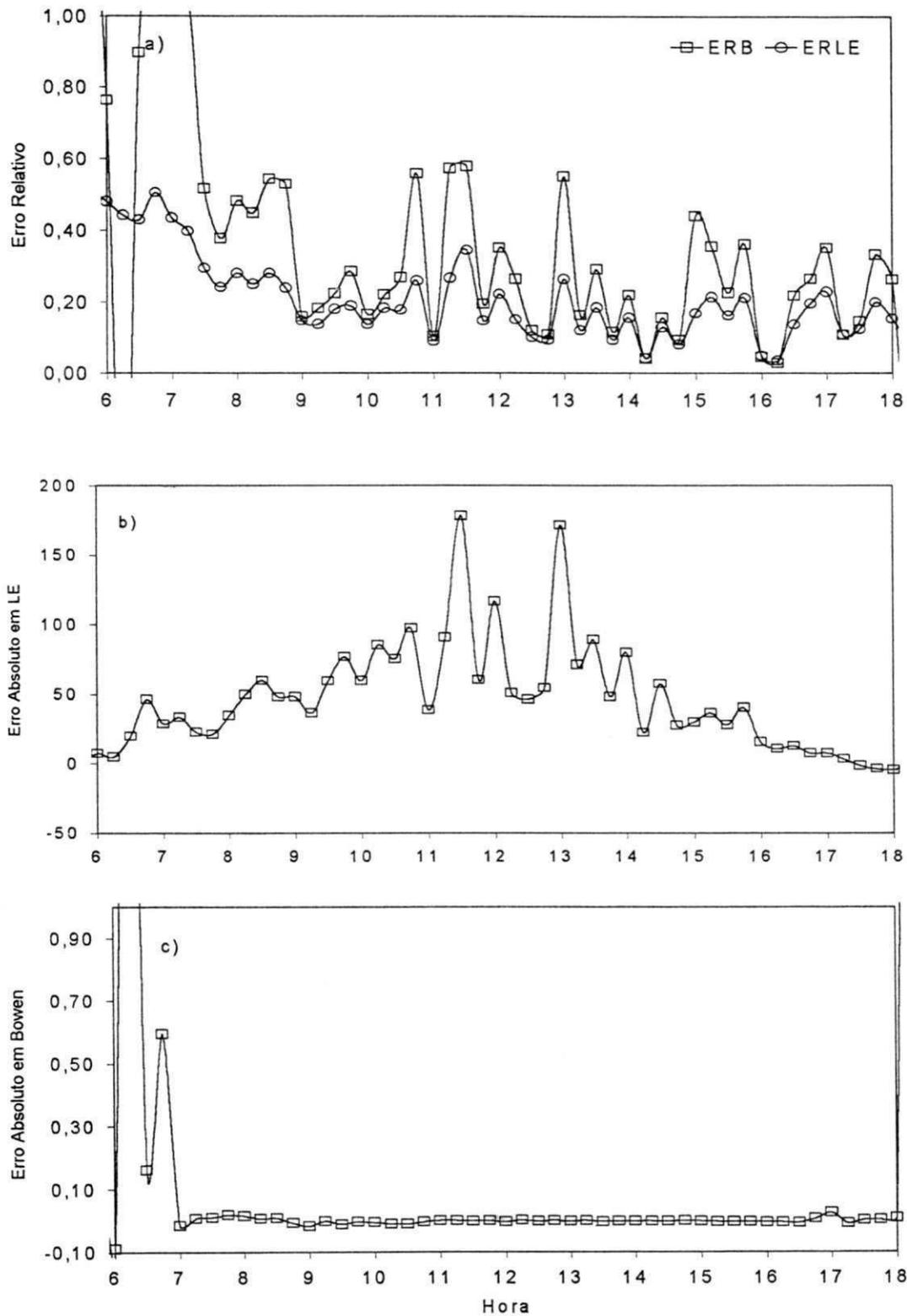


Figura 4.4.20. Erro relativo (a) e absoluto da determinação do fluxo de calor latente (b) e da razão de Bowen (c) médio da Fase 4, sobre a cultura da goiabeira (*Psidium guajava* L.) em Petrolina – PE

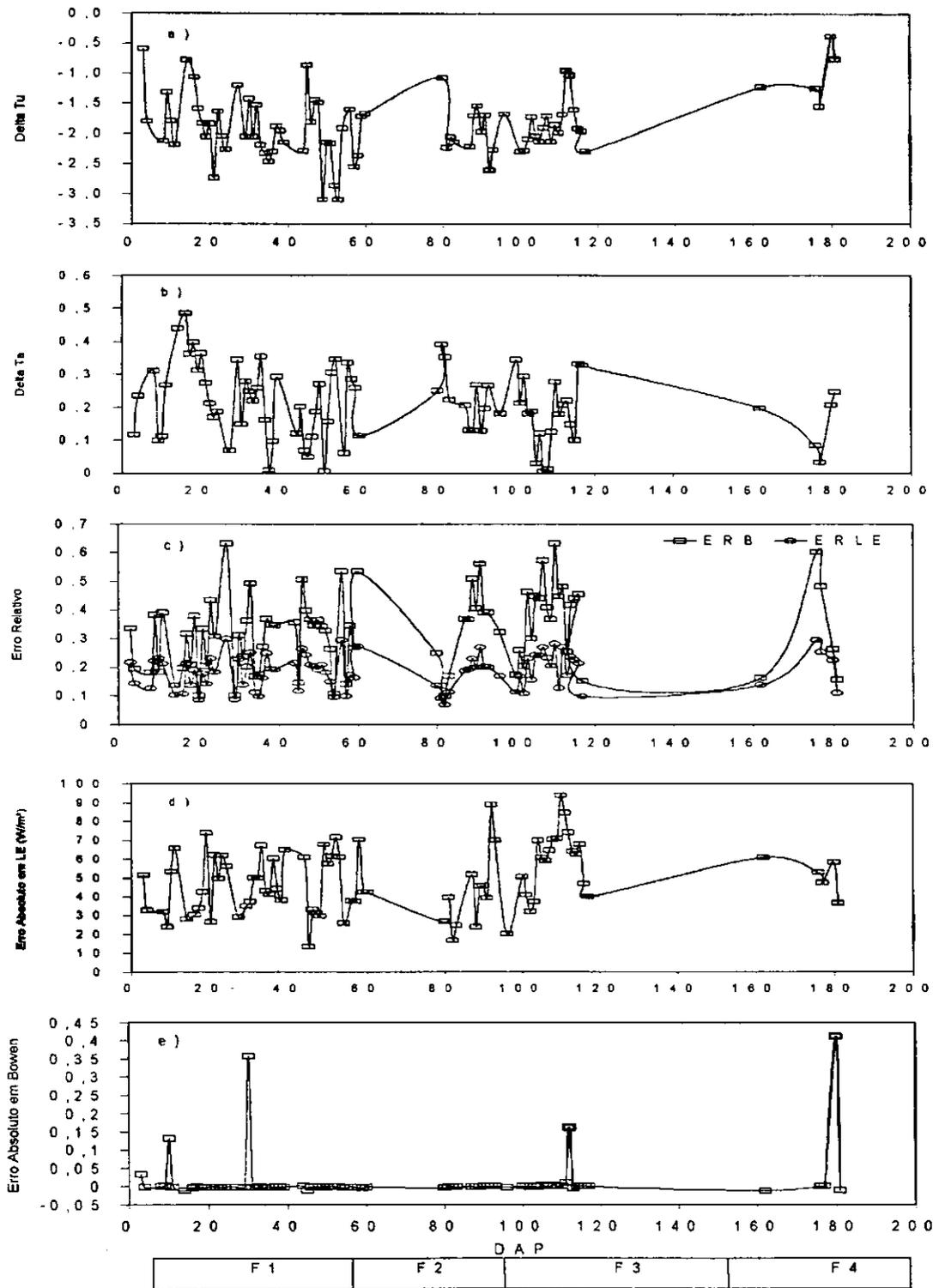


Figura 4.4.21. Média diária da diferença de temperatura úmida (a) e seca (b) entre os dois níveis acima da copa, do erro relativo (c) e absoluto na determinação do fluxo de calor latente (d) e da razão de Bowen (e), para todo período estudado, durante o horário de saldo de radiação positivo, sobre a cultura da goiaba, em Petrolina – PE

4.4.4. Evapotranspiração pelo método do balanço de energia

Na Figura 4.4.22 é apresentado o comportamento estacional da evapotranspiração diária ao longo do ciclo produtivo do pomar de goiabeira, cultivar 'Paluma', obtida pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, para períodos de cinco dias. Pode-se perceber que a evapotranspiração foi bastante variável ao longo de todo ciclo, atingindo mínimo de 2,90 mm/dia, na fase inicial (F1), e máximo na fase final (F4), durante a maturação, quando chegou a 6,33 mm/dia.

Observando-se a curva da evapotranspiração, pode-se perceber que há uma tendência inicial de redução em seu valor; isso deve-se, possivelmente, ao fato de ter ocorrido no pomar poda-sobre-poda. Assim, na Fase 1 a planta continha frutos ainda em estágio de crescimento e maturação e ainda, estava iniciando o processo de crescimento vegetativo de um novo ciclo produtivo. Ademais, com o passar dos dias há um aumento natural da demanda evaporativa da atmosfera, motivado, dentre outros fatores, pelo aumento da radiação solar global. Com isso a planta estava transpirando como se estivesse em final de ciclo produtivo. Após a colheita dos frutos remanescentes da poda anterior a evapotranspiração sofreu redução para daí elevar-se até a fase final de crescimento de frutos e maturação.

Os valores da evapotranspiração da cultura foram convertidos em volume de água evapotranspirada pela goiabeira com a finalidade de compará-la com as irrigações aplicadas no pomar. Os resultados obtidos foram plotados na Figura 4.4.23, e fica evidenciado que as irrigações durante todo o ciclo da cultura foram

muito superiores às necessidades hídricas da goiabeira. As diferenças médias para cada fase chegaram a 421,9%, 287,8%, 118,1% e 68,4% nas Fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente, das necessidades hídricas do pomar, aqui expressas através da ETC obtida segundo o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen.

Deve-se questionar o tipo de influência que essa superirrigação poderia causar no pomar. Obviamente que além do desperdício de energia elétrica e de seus custos, associado aos impactos ambientais de tal prática, há de se questionar se a mesma seria capaz de comprometer o rendimento da cultura e/ou a qualidade dos frutos, já que a mesma seguramente esteve provocando a extração dos nutrientes presentes na solução aplicada através da irrigação.

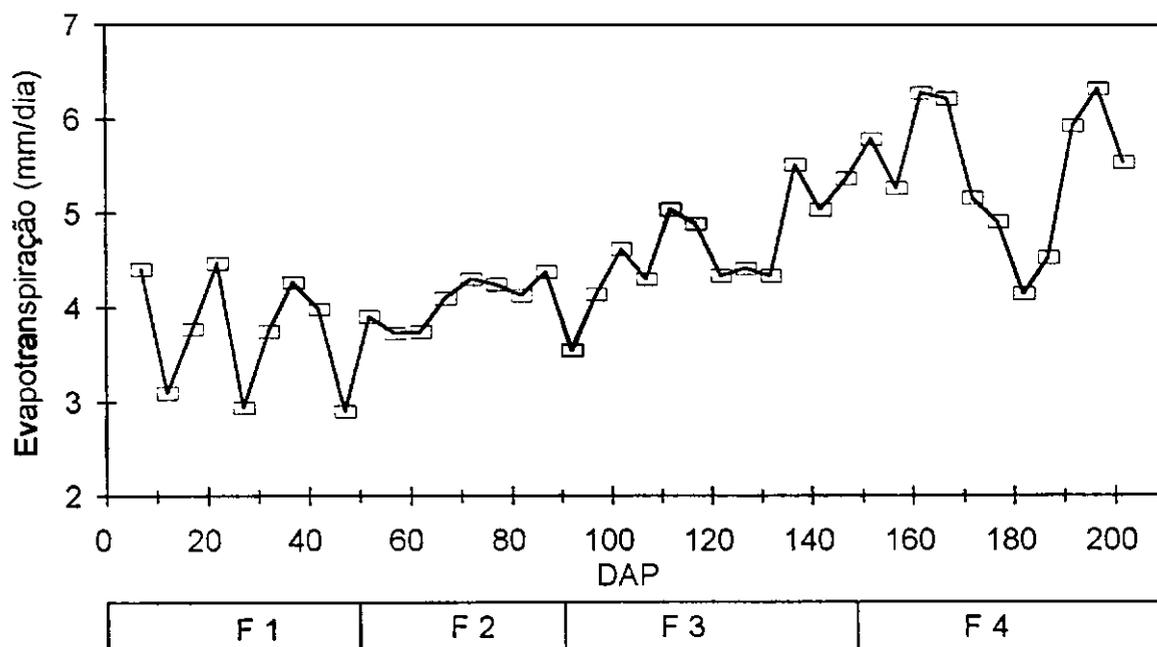


Figura 4.4.22. Comportamento da evapotranspiração durante o ciclo produtivo do pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, obtida pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen

Neste sentido, propõe-se que seja dada sequência na pesquisa e que se procure identificar as implicações que a superirrigação pode estar causando no rendimento e qualidade dos frutos do pomar.

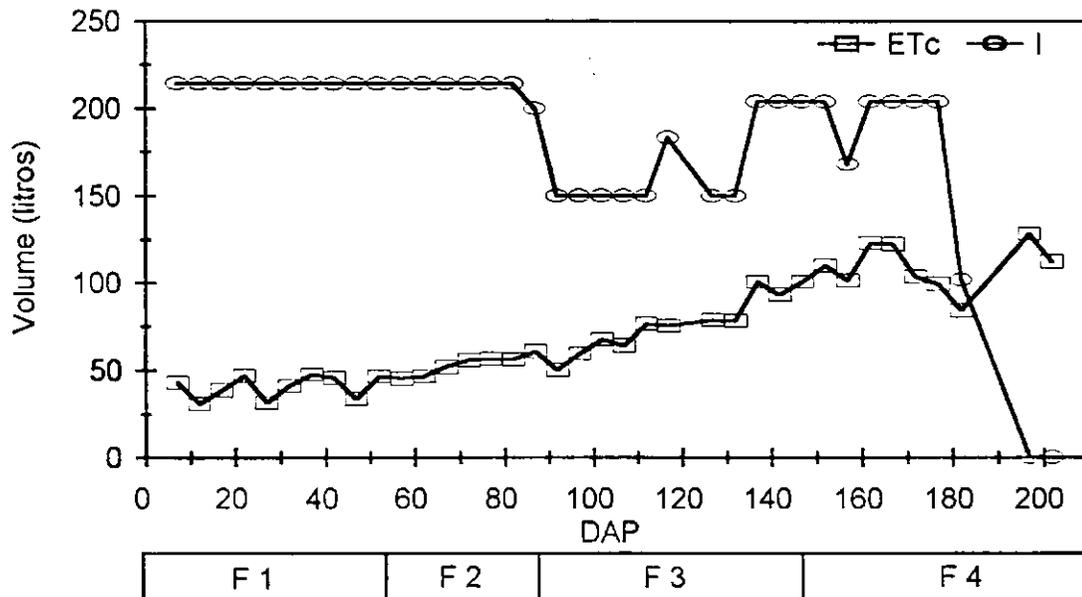


Figura 4.4.23. Comportamento médio de cinco dias da evapotranspiração da cultura (ETc, litros) e da irrigação aplicada (I, litros) no pomar de goiabeiras (*Psidium guajava*, L.), var. 'Paluma', em Petrolina – PE, durante um ciclo produtivo

4.5. Coeficiente de Cultura

Os valores do coeficiente da cultura (K_c) da goiabeira irrigada foram calculados a partir de médias de cada 05 dias dos valores da evapotranspiração de referência (E_{To}) determinada através do método de Penman-Monteth-FAO e com a evapotranspiração da cultura (ETc) obtida através do método do balanço de energia baseado na razão de Bowen. Esses valores são apresentados na Tabela 4.3. e Figura 4.5.1.

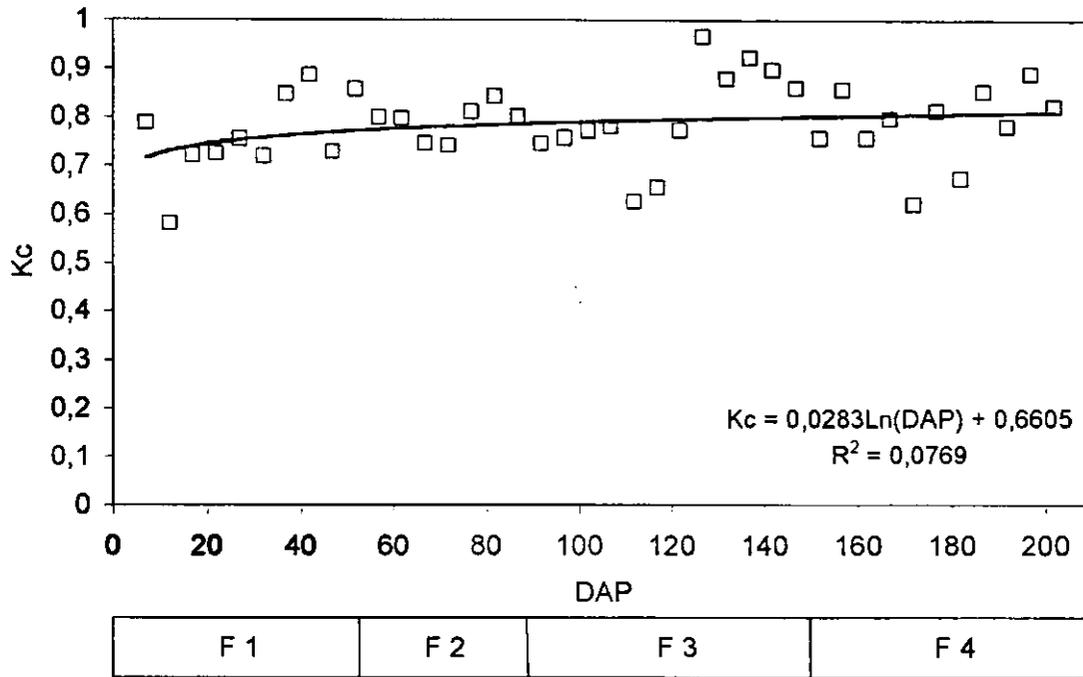


Figura 4.5.1. Comportamento médio de cinco dias do coeficiente de cultura (Kc) do pomar de goiabeira (*Psidium guajava* L.), para as quatro fases de desenvolvimento, em Petrolina – PE

Na Figura 4.5.2 é apresentado o comportamento médio do coeficiente de cultura (Kc), com o desvio padrão para cada fase estudada do ciclo produtivo. Observa-se um comportamento crescente da Fase 1 para a Fase 3, quando o Kc passa de 0,76 (valor mínimo) para o máximo de 0,81. Após a Fase 3, verificou-se queda do Kc, que na Fase 4 atingiu média de 0,78. O Kc médio observado durante todo o ciclo produtivo foi de 0,78, valor este maior que o utilizado pela grande maioria das empresas responsáveis pelos projetos de irrigação da região do Vale do São Francisco, que empregam Kc constante e igual a 0,75. As barras constantes nos valores representativos de cada fase, correspondem ao desvio padrão do Kc diário verificado em cada uma das fases estudadas. Como pode ser

observado na Figura 4.5.2, a Fase 3 foi a que apresentou maior variabilidade no Kc, enquanto que as menores flutuações estão associadas à Fase 2.

Foi realizado o ajuste do coeficiente de cultura (Kc) em função do número de dias após a poda, como realizado por Silva (2000) para dias após a floração, e que resultou na seguinte equação: $Kc = 0,0283\text{Ln}(\text{DAP}) + 0,6605$, com r^2 igual a 0,08. Na Tabela 4.3 são apresentados valores médios para períodos de cinco dias, da evapotranspiração da cultura (ETc), do coeficiente de cultura (Kc) e da evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelo método de Penman-Monteith-FAO, onde pode-se observar as flutuações destes valores ocorridas durante o ciclo produtivo da goiabeira.

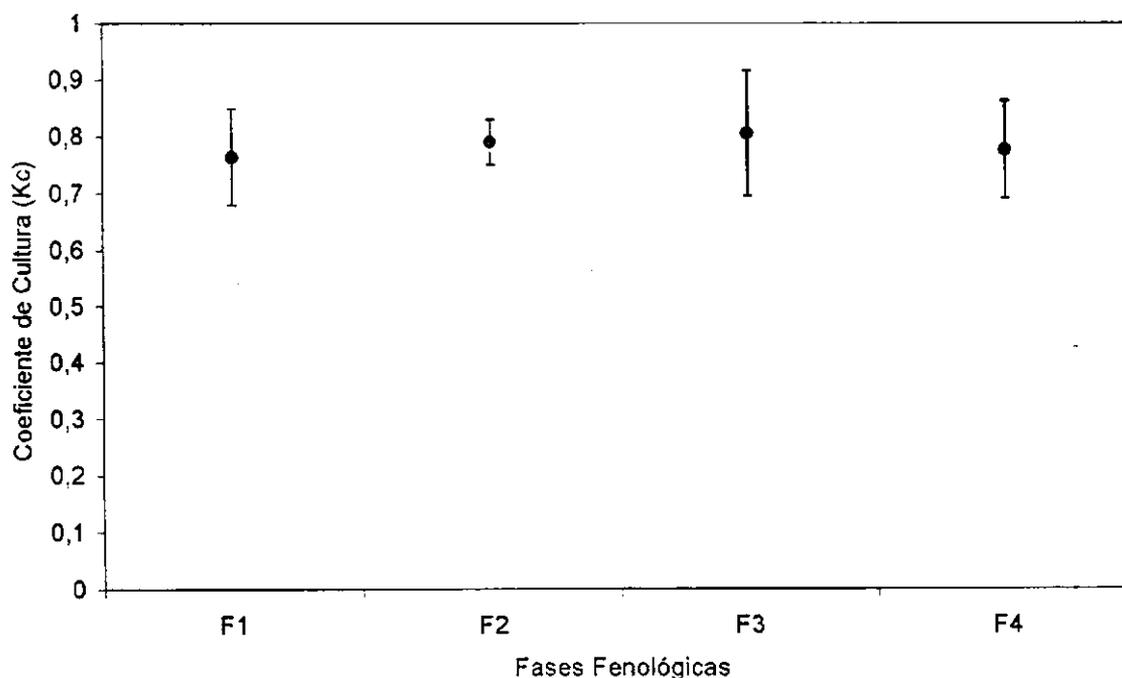


Figura 4.5.2. Comportamento médio do coeficiente de cultura (Kc) observado ao longo das fases fenológicas do ciclo produtivo da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE

Tabela 4.3. Valores da evapotranspiração da cultura, de referência e do coeficiente de cultura, durante um ciclo produtivo, para a goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada, em Petrolina – PE.

Período	ETc	ETo	Kc	Período	ETc	ETo	Kc
13-17/05	4,41	5,61	0,79	21-25/08	4,30	5,50	0,78
18-22/05	3,10	5,34	0,58	26-30/08	5,05	8,06	0,63
23-27/05	3,78	5,24	0,72	31/08-04/09	4,90	7,49	0,65
28/05-01/06	4,48	6,17	0,72	05-09/09	4,66	6,06	0,77
02-06/06	2,94	3,90	0,75	10-14/09	4,42	4,58	0,97
07-11/06	3,75	5,22	0,72	15-19/09	4,34	4,94	0,88
12-16/06	4,27	5,04	0,85	20-24/09	5,53	5,98	0,92
17-21/06	3,99	4,50	0,89	25-29/09	5,05	5,62	0,90
22-26/06	2,90	3,99	0,73	30/09-04/10	5,38	6,26	0,86
27/06-01/07	3,91	4,56	0,86	05-09/10	5,80	7,66	0,76
02-06/07	3,73	4,66	0,80	10-14/10	5,28	6,15	0,86
07-11/07	3,75	4,70	0,80	15-19/10	6,28	8,30	0,76
12-16/07	4,10	5,50	0,75	20-24/10	6,22	7,81	0,80
17-21/07	4,30	5,80	0,74	25-29/10	5,17	8,33	0,62
22-26/07	4,25	5,23	0,81	30/10-03/11	4,92	6,05	0,81
27-31/07	4,13	4,90	0,84	04-08/11	4,15	6,17	0,67
01-05/08	4,38	5,47	0,80	09-13/11	4,54	5,32	0,85
06-10/08	3,55	4,76	0,75	14-18/11	5,94	7,60	0,78
11-15/08	4,14	5,47	0,76	19-23/11	6,33	7,10	0,89
16-20/08	4,62	5,99	0,77	24-28/11	5,55	6,75	0,82

4.6. Taxa de Transpiração da Cultura

A estimativa do fluxo de seiva (F) em cada planta ocorreu como mencionado na Metodologia. Observa-se na Figura 4.6.1 que o fluxo de seiva para ambas as plantas segue a tendência da radiação global, sendo que os valores da Planta 01 (P1) são próximos do dobro dos observados na Planta 02 (P2), principalmente até o dia 04/09, quando a cultura passou por um período de estresse hídrico, até ser podada no dia 19/09. A partir desse dia, os valores de transpiração de ambas as plantas são mais próximos, haja vista que a área foliar média estimada de uma planta do pomar, após a poda foi igual a 11,96 m², com

desvio padrão de 1,27 m², enquanto que antes da poda esses valores eram iguais a 59,52 m², com desvio padrão de 16,01 m², isto é, a diferença dos valores do fluxo de seiva entre as duas plantas deve-se, sobremaneira, à diferença em suas áreas foliares. Lascano *et al.* (1992) observaram diferenças significativas na transpiração diária entre plantas de videira, e que estas diferenças foram sensivelmente reduzidas ao se dividir a transpiração diária pela área foliar de cada planta. Segundo Dugas (1990) a variabilidade nas medições do fluxo de seiva em um pomar são devidas, principalmente, a diferença no volume da copa das plantas observadas.

Na Figura 4.6.1, pode-se perceber que mesmo a cultura tendo elevada área foliar e havendo disponibilidade de energia, sua transpiração foi reduzida devido a falta de água no solo, durante a etapa do experimento em que foi induzido estresse hídrico antes da poda, mais ou menos entre o dia juliano de 250 a 260. Ademais, os valores de fluxo de seiva durante essa fase são coerentes com aqueles observados após a poda, ou seja, quando o solo não dispõe de água para a planta ela transpira tão pouco como se tivesse pequena área foliar e disponibilidade hídrica.

Analisando-se os valores horários do fluxo de seiva, verifica-se que o mesmo não segue a variação diária da radiação global. Esse tipo de resultado também foi observado por Valancogne & Nasr (1989) com plantas de macieira e por Gutiérrez & Meinzer (1994) com a cultura do café. Nesse último estudo, observou-se que a razão entre a transpiração determinada pelo fluxo de seiva e a evapotranspiração da cultura variou de 40% a 95%, correspondendo a uma variação no índice de área foliar de 1,4 a 6,7. Percebe-se também uma maior regularidade no fluxo de seiva da Planta 02, enquanto que a Planta 01 apresenta

valores com maiores flutuações, tanto para dias nublados como para dias de céu limpo, antes (Figura 4.6.2 a e b) e após a poda (Figura 4.6.3 a e b).

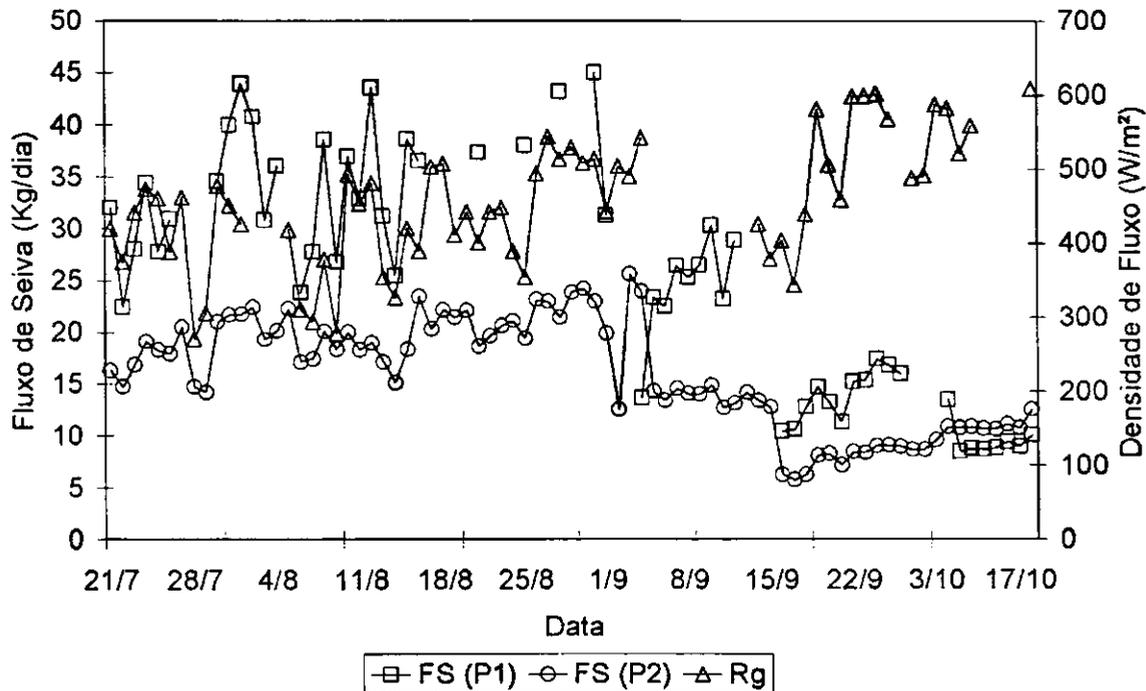


Figura 4.6.1. Variação sazonal do fluxo de seiva diário das plantas 1 e 2, e do valor médio da radiação solar global, para o período de 21/07 a 18/10, na goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina - PE

Na Figura 4.6.2 é mostrada a variação diária da radiação global e do fluxo de seiva das Plantas 1 e 2, para dias representativos de céu nublado (09/08) e de céu claro (27/08), durante a fase de crescimento de frutos. Na Figura 4.6.2a (09/08), foi verificado fluxo de seiva diário igual a 26,75 Kg/dia para a Planta 01 e 18,37 Kg/dia para a Planta 02. Neste dia, verificou-se a presença de nebulosidade intensa, principalmente no período compreendido entre 9h00 e 15h00. Ao observar-se o dia 27/08 (Figura 4.6.2b), percebe-se valores do fluxo de seiva iguais a 53,66 Kg/dia e 22,95 Kg/dia, respectivamente, para as Plantas 01 e 02,

enquanto que a radiação solar global atingiu valor máximo em torno de 850,00 W/m², por volta das 13h00.

Nos dias 09/08 e 27/08 as evapotranspirações das plantas monitoradas segundo o método do balanço de energia foram iguais a 2,87 mm e 5,04 mm, correspondendo a um volume de água evapotranspirada de 40,79 litros e 76,19 litros, respectivamente. Ao se analisar a transpiração diária da Planta 01 (P1), nos referidos dias, verifica-se que as mesmas correspondem a 65,6% e 70,4% da evapotranspiração da cultura, resultado que possibilita se inferir que a evaporação naquelas fases foi da ordem de 30-35% da evapotranspiração da cultura. Embora se trate de plantas com diferenças em suas áreas foliares, pode-se perceber que há uma boa concordância entre as variáveis. Silva *et al.* (2000) trabalharam com duas variedades de videira, 'Reliance' e 'Glenora' no Arizona, a fim de determinar suas taxas de transpiração através do método do balanço de calor no caule. Verificaram que a transpiração da 'Glenora' e 'Reliance' foi de 55% e 60% da evapotranspiração da cultura, respectivamente, e em média verificaram evaporação do solo na ordem de 40%. Já Ferreira *et al.* (1996), ao utilizarem a técnica do balanço de calor no caule com o pessegueiro em Portugal, observaram que a contribuição relativa da transpiração para a evapotranspiração diária da cultura foi de 87%, o que significa dizer que a evaporação foi de água do solo correspondeu a 13% da evapotranspiração da cultura.

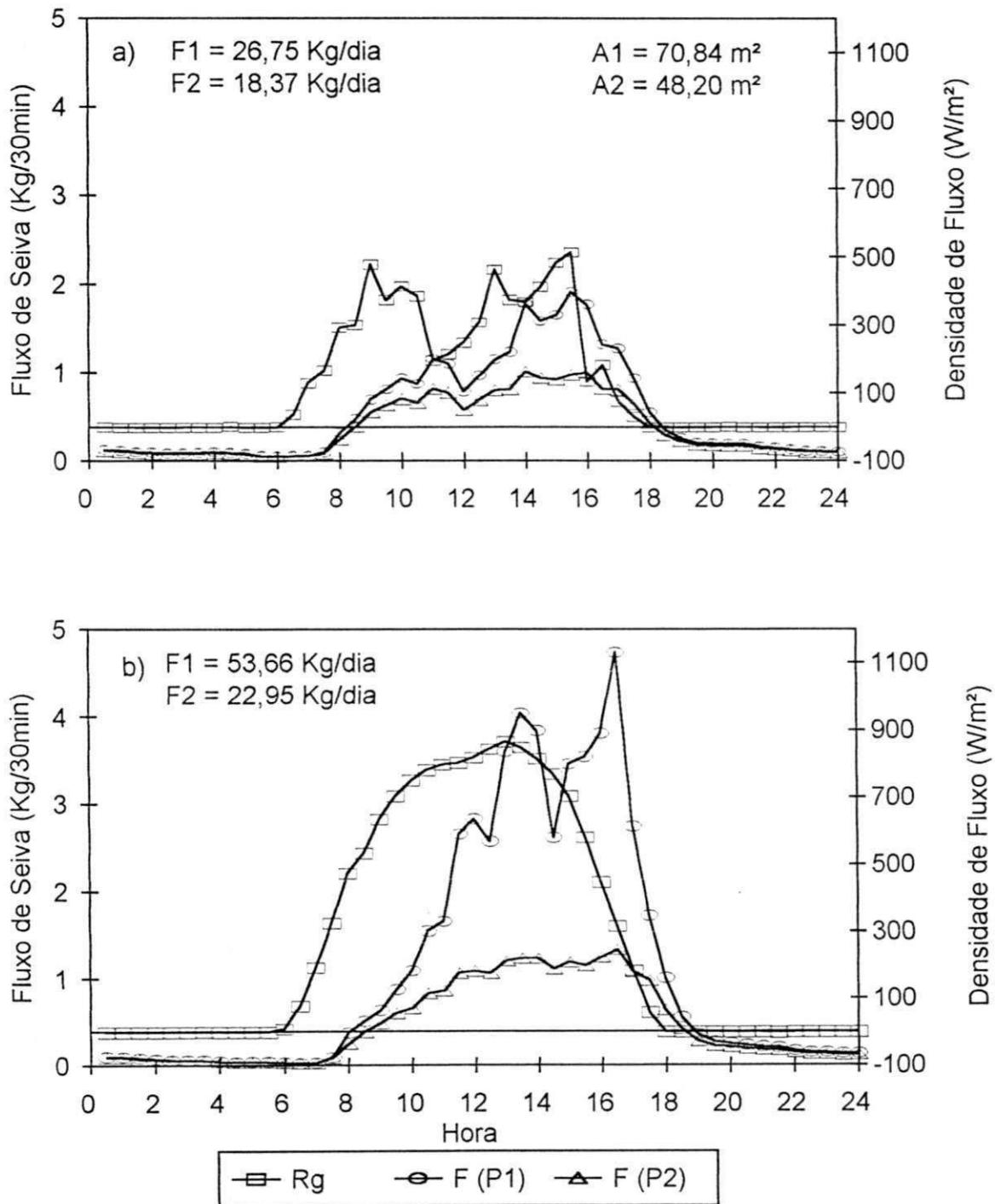


Figura 4.6.2. Fluxo de seiva e radiação solar global diária, para um dia de céu nublado, 09/08, (a) e céu claro, 27/08, (b), para a cultura da goiaba, antes da poda, em Petrolina – PE

Após a poda, que ocorreu no dia 19/09, os valores do fluxo de seiva sofreram significativa redução, obviamente devido a redução na área foliar das plantas. Na Figura 4.6.3 são mostrados os cursos diários do fluxo de seiva e da radiação solar global, para os dias 26/09 (céu com nebulosidade) e 24/09 (céu claro, sem nuvens). Observa-se que o fluxo de seiva tende a aumentar com o incremento da radiação solar global até às 13h00 e, a partir daí, há um decréscimo no fluxo de seiva, condicionado pela redução da radiação solar global a tarde. Em tais dias, verificou-se valores diários do fluxo de seiva iguais a 15,45 e 8,97 Kg, em dia de céu nublado (Figura 4.6.3a) e, 17,37 Kg e 9,05 Kg, em dia de céu claro, respectivamente para as Plantas 01 e 02. Após a poda, a diferença entre os valores do fluxo de seiva entre as Plantas 01 e 02 foi menor, pois, mesmo após a poda, a área foliar da Planta 01 continuou maior que a da Planta 02. Verifica-se, ainda, na Figura 4.6.3, que a radiação solar global aumentou, chegando a atingir picos de aproximadamente 1100,00 W/m² para o dia 26/09 (Figura 4.6.3a) e, quase 1000,00 W/m² no dia 24/09 (Figura 4.6.3b). Sakuratani (1987) comparou o curso diário da radiação solar global, do saldo de radiação, da evapotranspiração e da evaporação com a transpiração da soja, nos dias 30/08/1981 e 17/09/1981. A variação diária da transpiração acompanhou a variação diária do saldo de radiação e da radiação solar global, ou seja, de manhã houve um rápido incremento na transpiração, que atingiu picos ao meio-dia e a partir daí diminuiu com a redução do saldo de radiação a tarde, quando verificou-se valores baixos de transpiração. O autor cita que a contribuição da transpiração para a evapotranspiração foi diferente para esses dois dias. No dia 30 de agosto a transpiração foi quem mais contribuiu para a evapotranspiração, enquanto que no

dia 17 de setembro a contribuição da evaporação e da transpiração para a evapotranspiração foi aproximadamente igual.

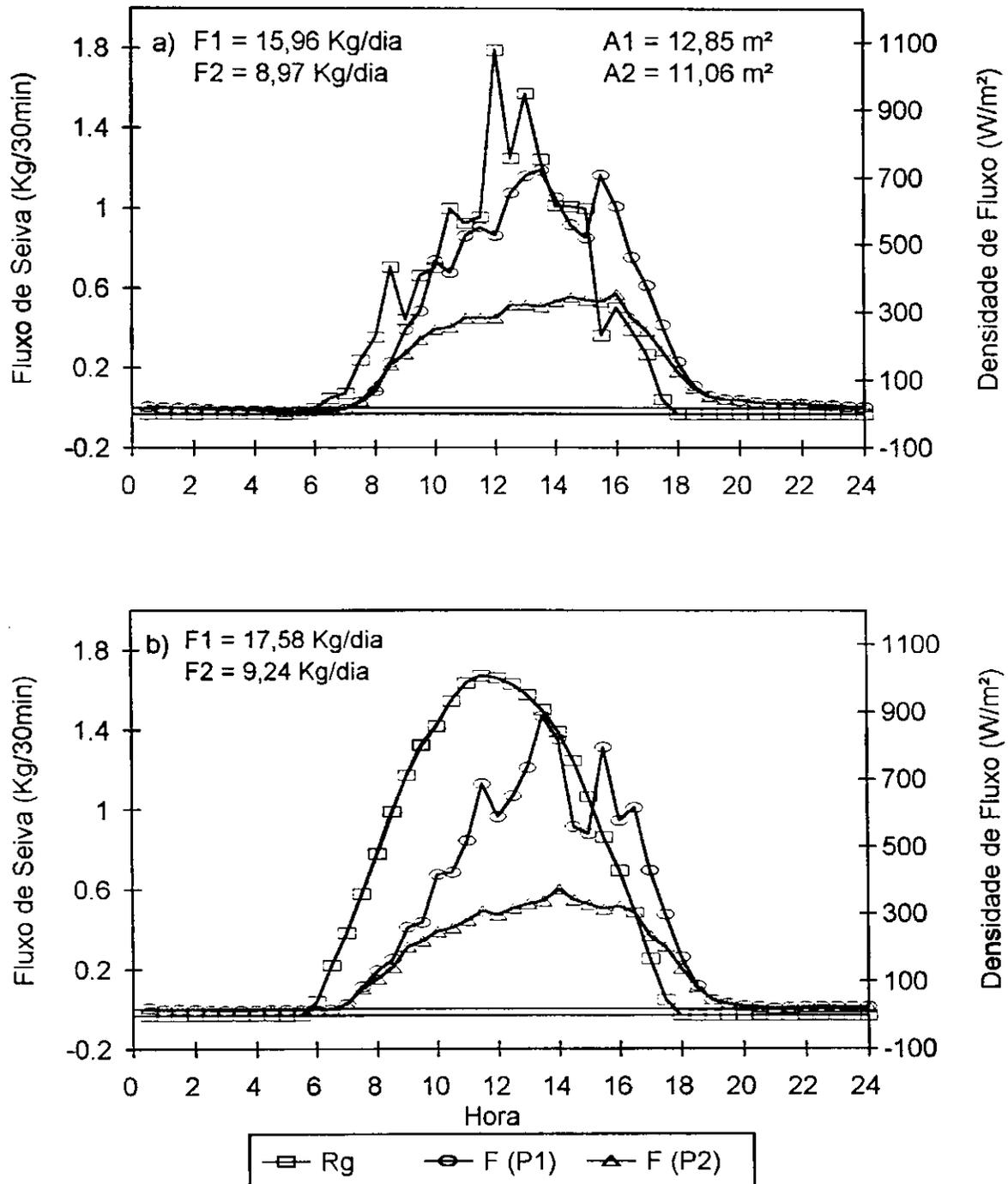


Figura 4.6.3. Fluxo de seiva e radiação solar global diária, para um dia de céu nublado, 26/09, (a) e céu claro, 24/09, (b), para a cultura da goiaba, após a poda, em Petrolina – PE

O fluxo de seiva acumulado durante o período de 21/07 a 18/10, na cultura da goiabeira, compreendendo períodos de crescimento e maturação de frutos, estresse hídrico, poda de frutificação e brotação, é mostrado na Figura 4.6.4, para as Plantas 1 e 2. Pode-se observar que há rápido incremento do fluxo de seiva nas fases iniciais do período observado. Posteriormente, devido a poda de frutificação, houve uma tendência de estabilidade no fluxo de seiva, que voltou a sofrer incremento com a fase de brotação de novos ramos. O valor do fluxo de seiva acumulado para a Planta 1, durante os 56 dias analisados foi de 1402,3 Kg, enquanto que para a Planta 2, esse valor foi igual a 1262,9 Kg.

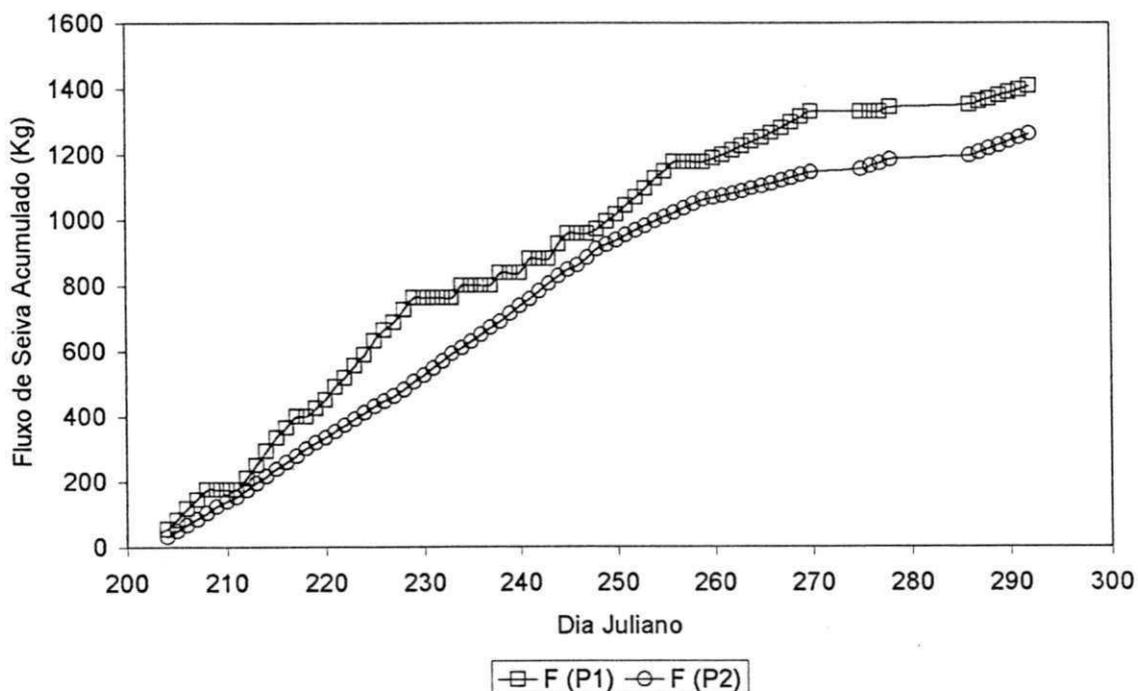


Figura 4.6.4. Fluxo de seiva acumulado nas Plantas 01 e 02, durante o período de 21/07 a 18/10, em goiaba, em Petrolina – PE

Capítulo 5 | CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos a partir de experimento de campo realizado no pomar de goiabeiras, cultivar 'Paluma', com 2,5 anos de idade, no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina – PE, conclui-se que:

- o ciclo produtivo (período entre a poda e a colheita) compreendeu 204 dias, sendo que a fase de floração (Fase 2) foi de 22 dias. A curva de crescimento dos frutos foi do tipo dupla-sigmóide e as plantas irrigadas por microaspersão permitiram uma colheita mais concentrada; no entanto, seus frutos apresentaram menor peso médio;
- os componentes do balanço de radiação apresentaram ligeiro aumento da Fase 1 (brotação, crescimento vegetativo e maturação) à Fase 4 (maturação e colheita de frutos), sendo que o saldo de radiação representou pouco mais de 60% da radiação solar global, enquanto que a radiação refletida atingiu valores em torno de 20%;

- o albedo da goiabeira apresentou-se maior durante a Fase 2 (25%) e valor médio de 23,25% durante todo o período estudado. Não verificou-se simetria do albedo em torno do meio dia;
- o fluxo de calor no solo e o fluxo de calor sensível representaram pequena fração do saldo de radiação, que quase foi que totalmente convertido em fluxo de calor latente;
- as irrigações praticas no pomar corresponderam a 421,9%, 287,8%, 118,1% e 68,4% da evapotranspiração da cultura segundo o método do balanço de energia baseado na razão de Bowen, respectivamente para as Fases 1(brotação, crescimento vegetativo e maturação),2 (crescimento vegetativo, floração e queda fisiológica), 3 (crescimento de frutos) e 4 (maturação e colheita de frutos);
- os valores da razão de Bowen foram muito pequenos e em geral, positivos para o período diurno;
- o coeficiente de cultura da goiabeira não apresentou-se constante durante o ciclo produtivo. Seu valor médio foi 0,78, sendo que a maioria dos valores variou entre 0,7 e 0,9, logo o fato de as empresas responsáveis pelos projetos de irrigação da região do Vale do São Francisco utilizarem um Kc médio de 0,75 provoca subestimava e superestimativa, dependendo da época do ciclo de desenvolvimento da cultura;
- a transpiração da goiabeira foi fortemente dependente do saldo de radiação e da área foliar, apresentando grandes flutuações ao longo do período analisado; sendo que o método do balanço de calor no caule apresentou boa resposta ao estresse hídrico e à poda da goiabeira.

Capítulo 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; *et al.* **Crop evapotranspiration**. Roma: FAO, 1998. 301p. (Irrigation and Drainage paper 56).

ALVES, A. V. **Balanços de radiação e de energia em um cultivo de melão**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1997. 95p. (Dissertação de Mestrado).

ALVES, A. V.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação num cultivo de melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p 520.

ANDRÉ, R. G. B.; SILVA FILHO, V. P.; MOLION, L. C. B.; *et al.* Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (estações seca e úmida). **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 269-274, 1988.

ANGELOCCI, L. R.; VALANCOGNE, C.; VILLA NOVA, N. A.; *et al.* Estimativa da transpiração máxima de macieiras em pomares pelo modelo de Penman-Monteith e comparação com o fluxo de seiva medido pelo método do balanço de calor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 719.
- ANGELOCCI, L. R.; VILLA NOVA, N. A.; MARIN, F. R.; *et al.* Estimativa da transpiração de lima ácida "Tahiti" por modelos climatológicos e comparação com o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGIA, 8, Mendoza, 2000. CD Rom.
- ANGUS, D. E.; WATTS, P. J. Evapotranspiration How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 133-150, 1984.
- ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. North Carolina: Academic Press, 1988. 307 p.
- ASSENG, S.; HSIAO, T. C. Canopy CO₂ assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. **Field Crops Research**. v. 67, p. 191-206, 2000.
- ÁVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira na região do submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1997. 86p. (Dissertação de Mestrado).
- ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, T. V.; SILVA, B. B.; *et al.* Exigências hídricas da videira na região do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1559-1566, 2000.
- AZEVEDO, P. V.; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. S.; *et al.* Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 7, p. 863-870, 1993.

- BAKER, J. M.; VAN BAVEL, C. H. M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 777-782, 1987.
- BARRADAS, V. L.; TEJEDA-MARTINEZ, A.; JAUREGUI, E. Energy balance measurements in a suburban vegetated area in Mexico City. **Atmospheric Environment**. v. 33, p. 4109-4113, 1999.
- BEZERRA, F. M. L.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura para o milho em Fortaleza, CE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 8-17, set. 1999.
- BOWEN, I. S. The ration of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, New York, v. 27, p. 779-787. 1926.
- BURMAN, R.; POCHOP, L. O. **Evaporation and climatic data**. Amsterdã, Elsevier, 1994. 278 p.
- CASA, R.; RUSSEL, G.; CASCIO, B. Lo. Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 289-301, 2000.
- CHAN, A. S. K.; PRUEGER, J. H.; PARKIN, T. B. Comparison of closed-chamber and Bowen-ratio methods for determining methane flux from peatland surfaces. **Journal of Environment Quality**, v.17, n. 1, p. 232-239, 1998.
- CIENCIALA, E.; KUCERA, J.; MALMER, A. Tree sap flow and stand transpiration of two Acacia mangium plantations in Sabah, Borneo. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 236, p. 109-120, 2000.
- CODEVASF. Codevasf – Fonte de progresso em Pernambuco. <http://www.codevasf.gov.br/port/codevasf/dadosda3.html>. 2000

- DAAMEN, 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.
- DEVITT, D. A.; SALA, A.; SMITH, S. D.; *et al.* Bowen ratio estimates of evapotranspiration for *Tamarix ramosissima* stands on the Virgin River in southern Nevada. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 9, p. 2407-2414, 1998.
- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Roma: FAO, 1977.198p. (Irrigation and Drenage paper 24).
- DUGAS, W. A. Comparative measurement of stem flow and transpiration in cotton. **Theoretical Applied Climatology**, Heidelberg, v.42, p. 215-221, 1990.
- DUGAS, W. A.; HICKS, R. A.; WRIGHT, P. Effect of removal of *Juniperus ashei* on evapotranspiration and runoff in the Seco Creek watershed. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 6, p. 1499-1506, 1998.
- ELTAHIR, E. A. B. A soil moisture-rainfall feedback mechanism: 1. Theory and observations. **Water Resources Research**, Washington, v. 34, n. 4, p. 765-776, 1998.
- FELDBERG, N. P.; PEREIRA, F. M.; NACHTIGAL, J. C. Crescimento dos frutos de goiabeira (*Pisidium guajava* L.), seleção 8502-01. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15, 1998, Poços de Caldas. **Resumos...**, Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1998, p. 368.
- FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P.; RODRIGUES, T. J. D. Balanço hídrico do solo em cultura de soja irrigada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 43-52, set. 1999.

- 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.
- 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.
- GONZAGA NETO, L. **Cultura da goiabeira**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 26p. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 23).
- GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. **Goiaba para exportação: aspectos técnicos da produção**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1994. 26p. (EMBRAPA-CPATSA, Frupex).
- GUTIÉRREZ, M. V.; 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, 1994.
- HAM, J. M.; HEILMAN, J. L. Dynamics of a heat balance stem flow gauge during high flow. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, p. 147-152, 1990.
- HAM, J. M.; HEILMAN, J. L.; LASCANO, R. J. Determination of soil water evaporation and transpiration from energy balance and stem flow measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 52, p. 287-301, 1990.
- HEILMAN, J. L.; BRITTIN, C. L. Fetch requeriments for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 99-114, 1989.

- IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; REGINATO, B. A.; *et al.* The dependence of bare soil albedo on water content. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 14, p. 109-113, 1975
- KJELDGAARD, J. F.; STOCKLE, C. O.; BLACK, R. A.; *et al.* Measuring sap flow with the heat balance approach using constant and variable heat inputs. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 85, p. 239-250, 1997.
- KUSTAS, W. P.; ZHAN, X.; JACKSON, T. J. Mapping surface energy flux partitioning at large scales with optical and microwave remote sensing data from Washita'92. **Water Resources Research**, Washington, v. 35, n. 1, p. 265-277, 1999.
- LASCANO, R. J.; BAUMHARDT, R. L.; LIPE, W. N. Measurement of water flow in young grapevines using the stem heat balance method. **American Journal of Enology Viticulture**, Lockford, v. 43, n. 2, p. 159-165, 1992.
- LEITÃO, M. M. R. V. B. **Balço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada**. DCA/CCT/UFPB, Campina Grande – PB, 110p. 1989. (Dissertação de mestrado).
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; MOURA, M. S. B.; SALDANHA, T. R. F. C.; *et al.* Balço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 15, p. 57 – 63, 2000.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 214-218, 2000.
- LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1999. 108p. (Dissertação de Mestrado).

- MANZI, A. O.; MOLION L. C. B.; SANTOS, J. M. estudos de radiação de onda longa em floresta de terra firme na região de Manaus. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, 1985, Londrina. **Anais...**, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985, p. 113.
- MARANCA, G. **Fruticultura comercial: mamão, goiaba, abacaxi**. 5ª ed., São Paulo: Nobel, 1991, 121p.
- MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; VILLA NOVA, N. A.; *et al.* Balanço de energia e sua relação com a transpiração em pomar de lima ácida "Tahiti". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000, CD Rom.
- McCUEN, R. H. The role of sensitivity analysis in hydrologic modelling. **Journal Hydrological**, v. 18, p. 37-53, 1973.
- MEDINA, J. C. Goiaba I – Cultura. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (Campinas, SP). **Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. 2ª ed., Campinas, 1991. Cap. I, p. 1 – 121.
- MERCADO-SILVA, E. M.; BAUTISTA, P. B.; VELASCO, M. A. G. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. **Postharvest Biology and Technology**. v. 13, p. 143-150, 1998.
- MIRANDA, F. R.; SOUZA, F.; RIBEIRO, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do Estado do Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. 63-70, jun. 1999.

- MOKATE, A. S.; VARSHNEYA, 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.
- MOURA, M. S. B. Balanço de radiação em um solo descoberto, para duas épocas diferentes, em Mossoró-RN. Mossoró: ESAM, 1998. 72p. (Monografia).
- NADEZHDINA, N. Sap flow index as an indicator of plant status. **Tree Physiology**, v. 19, p. 885-891, 1999.
- OLIVEIRA, G. M. **Advecção sobre um cultivo de amendoim irrigado.** DCA/CCT/UFPB, Campina Grande – PB, 111p. 1998. (Dissertação de mestrado).
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapo(transpi)ração. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz: FEALQ, São Paulo, 183 p. 1997.
- PEREIRA, F. M.; JOSÉ, A. B. S. Estudo do desenvolvimento de frutos da goiabeira “Paluma e Rica” . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 9, 1987, Campinas. **Anais...**, Campinas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1987, p. 369.
- PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; *et al.* Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.
- QUAGLIA, A. M. L.; BASTOS, E. A.; MORENO, J. S.; *et al.* **Projeto de irrigação Vale do Massangano (Senador Nilo Coelho).** Brasília, 1989. 154p. (Relatório de Avaliação Ex-post).

- RATHORE, D. S. Effect of season in the growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. **Journal of Horticultural Science**, Ashford-Kent, v. 51, n. 1, p. 41-47. 1976.
- REDDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil. Petrolina-PE, **EMBRAPA/CPATSA**, 280 p., 1993.
- RODRIGUES, L. N.; SEDIYAMA, G. C.; MARTINEZ, M. A.; *et al.* Estimativa do albedo com base em dados discretos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 223-225, 1997.
- ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. 2nd Edition, Lincoln – Nebraska: John Wiley & Sons, 1983, 495p.
- SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 37, n. 1, p. 9-17, 1981.
- SAKURATANI, T. Studies on evapotranspiration from crops (2) Separate estimation of transpiration and evaporation from a soybean field without water shortage. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 42, n. 4, p. 309-317, 1987.
- SANTOS, J. M.; FRANCISCO, V. P. S.; FISH, G.; *et al.* Radiação de onda longa utilizando observações de superfície na região de Tucuruí – PA. In: **BOLETIM TÉCNICO**, 4, Campinas, 1984. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984, 53 p.
- SENOCK R. S.; HAM, J. M. Heat balance sap flow gauge for small diameter stems. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 16, p. 563-601, 1993.

- SILVA, B. B.; SLACK, D. C.; KILBY, M. W.; *et al.* Measurements of water requirements of table grapes in Arizona. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, 2000.(No prelo).
- SILVA, R. P.; SILVA, H.; GONDIM, T. M. S. Fenologia de plantas e características de frutos de goiabeira cv. Paluma na região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15, 1998, Poços de Caldas. **Resumos...**, Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1998, p. 371.
- SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira.** Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 2000. 129p. (Tese de Doutorado).
- SINGH, R.; SEHGAL, O. P. Studies on the blossom biology of *Psidium guajava* L. (guava); 2, Pollen studies stigmal receptivity pollination and fruit set. **Indian Journal of Horticulture**, v. 25, p. 52-59, 1968.
- SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; COUTO, F. A. A. Influência da irrigação na goiabeira (*Psidium guajava* L. var. Ogawa III). II: Florescimento e vingamento dos frutos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1, 1997, Jaboticabal. **Anais...**, Jaboticabal: FCAJ-UNESP/FUNEP GOIABRAS, 1997, p. 171.
- SRIVASTAVA, H. C.; NARASIMHAN, P. Physiological studies during the growth and development of different varieties of guavas (*Psidium guajava* L.). **The Journal of Horticultural Science**, v. 42, p. 97-104, 1967.
- STEINBERG, S.; van BAVEL, C. H. M.; McFARLAND, M. J. A gauge to measure mass flow rate of sap in stems and trunks of woody plants. **Journal of American Society of Horticultural Science**, Virginia, v. 114, n. 3, p. 466-472, 1989.

- TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; *et al.* Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 413-416, 1999.
- TEIXEIRA, A. H. C.; LIMA FILHO, J. M. P.; SOARES, J. M. Saldo de radiação e índice de área foliar na cultura da videira, conduzida em um sistema de latada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...**, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 523.
- TETENS, O. Über einige meteorologische Begriffe. **Z. Geophys.** v. 6, p. 297-309, 1930.
- TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L.; FOLION, L. L.; *et al.* Estimativa da radiação solar global diária em Botucatu – SP a partir da insolação diária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 53-60, 1976.
- VALANCOGNE, C.; NASR, Z. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance. **HortScience**, v. 24, n. 2, p. 383-385, 1989.
- 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**, American Meteorological Society, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.

VERTESSY, R. A.; HATTON, T. J.; REECE, P.; *et al.* Estimating stand water use of large mountain ash trees and validation of the sap flow measurements technique. **Tree Physiology**, v. 17, p. 747-756, 1997.

ZAMBÃO, J. C.; BELLINTANI NETO, A. M. **Cultura da goiabeira**, Campinas, CATI, 1998, 23 p. (Boletim Técnico, 236).