

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**

**CONSUMO HÍDRICO DA VIDEIRA FESTIVAL SOB INTERMITÊNCIA DE
IRRIGAÇÃO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO**

JOSÉ MONTEIRO SOARES

**Tese apresentada ao Curso de Doutorado em
Recursos Naturais da Universidade Federal
de Campina Grande, em cumprimento às
exigências para a obtenção do grau de Doutor**

Área de Concentração: Recursos Naturais

Sub-Área: Ciclo Hidrológico

Orientadores: Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Dr. Bernardo Barbosa da Silva

CAMPINA GRANDE – PB

Fevereiro, 2003



S676c Soares, Jose Monteiro
Consumo Hidrico da videira festival sob intermitencia de irrigacao no submedio Sao Francisco / Jose Monteiro Soares.
- Campina Grande, 2003.
309 f.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Irrigacao - Intermitencia 2. Balanco - Energia 3. Balanco Hidrico 4. Videira - Variedade - Coeficiente 5. Cultura - Brasil - Submedio Sao Francisco 6. Tese I. Azevedo, Pedro Vieira de II. Silva, Bernardo Barbosa da III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) IV. Título

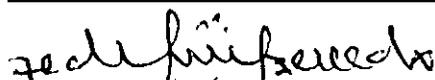
CDU 627.52(043)

JOSÉ MONTEIRO SOARES

CONSUMO HÍDRICO DA VIDEIRA FESTIVAL SOB INTERMITÊNCIA DE
IRRIGAÇÃO NO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO

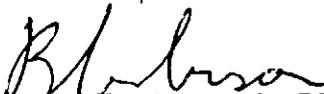
APROVADA COM DISTINÇÃO EM: 27/02/2003

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



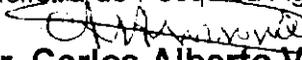
Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG



Prof. Dr. Euzébio Medrado da Silva

Centro de Pesquisa de Agropecuária do Cerrado – Embrapa Cerrado
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA



Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Departamento de Engenharia Agrícola – DEAg
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

Departamento de Ciências Atmosféricas – DCA
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

Ao meu pai Clementino Monteiro Soares, que foi a primeira pessoa a acreditar em mim, quando me liberou das atividades rurais, para fazer o Curso de Técnico Agrícola no Colégio Agrícola Dom Agostinho Ikas, São Lourenço da Mata - PE, no regime de internato, uma vez que ele é um pequeno agricultor e o meu trabalho lhe era muito útil, DEDICO.

À minha esposa Conceição e aos meus filhos Synara e Sylvan, pela compreensão diante da necessidade da minha ausência no dia a dia de suas vidas, bem como pelas forças que recebi nas horas de maior ansiedade, OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus pai, pela energia divina que recebi em cada instante da minha vida, no sentido de controlar a minha ansiedade e pela perseverança de enfrentar os obstáculos, sempre tendo em mente, que quase nada é impossível de ser alcançado;

À Chefia Geral da Embrapa Semi-Árido, na pessoa do Dr. Manoel Abílio de Queiroz, por ter interferido diretamente junto ao Departamento de Organização e Desenvolvimento - DOD para minha inclusão no Programa de Treinamento em Pós-Graduação da Embrapa e por ter acreditado na contribuição que eu poderia prestar à Embrapa Semi-Árido e na pessoa do Dr. Paulo Roberto Coelho Lopes por ter fornecido os meios para a execução deste estudo;

Ao professor Dr. Pedro Vieira de Azevedo, cujo parecer emitido por ocasião da avaliação dos candidatos inscritos para a participação do Curso de Doutorado em Recursos Naturais, no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, contribuiu decisivamente junto ao DOD, para o meu enquadramento no citado Programa de Treinamento de pós-graduação da Embrapa, uma vez que a minha solicitação para participar do referido Programa já havia sido indeferida pela segunda vez;

Ao professor Dr. Bernardo Barbosa da Silva pelo fornecimento de equipamentos, pelos detalhes das orientações prestadas e pela confiança no meu trabalho;

Ao Dr. Euzebio Medrado da Silva pelas orientações detalhadas prestadas e pelo empréstimo de equipamentos que foram de fundamental importância para o atendimento dos objetivos a que se propunha este estudo.

Aos meus colegas de trabalho, em especial aos Drs. Tarcizio Nascimento pelas orientações prestadas na área de informática e Eduardo Assis Menezes pela revisão de português e de editoração desta tese; aos Drs. José Moacir Pinheiro Filho e Antônio Heriberto Teixeira de Castro, pelo empréstimo de equipamentos e de orientações prestadas; aos Técnicos Agrícolas José Liberalino Filho e Arlindo José dos Santos, pela condução dos trabalhos de campo; ao desenhista José Cletis Bezerra, pelas orientações relativas à confecção e transporte de figuras; à Sra Maristela Ferreira Coelho de Souza e aos demais funcionários da biblioteca da Embrapa Semi-Árido, pelas colaborações tanto no levantamento de literaturas quanto nas correções bibliográficas; ao fotógrafo Cícero Barbosa Filho, pelas fotografias; aos operários rurais Expedito Freire dos Santos e João Filho Ferreira da Silva, pela coleta incansável de

dados e realização das tarefas de campo, e demais funcionários que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a execução dos trabalhos que resultaram na realização deste estudo;

Aos Srs. Leilson Costa Granjeiro, pela condução do experimento de campo durante o período em que me encontrava tomando cursos referentes ao pagamento de créditos e Pabício Marcos Oliveira Lopes, pelas orientações prestadas por ocasião da instalação dos instrumentos destinados à medição dos parâmetros micrometeorológicos.

Ao CNPq – Programa PADFIN, pela liberação de recursos financeiros para implantação e condução do parreiral que possibilitou a realização deste estudo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE QUADROS	24
LISTA DE TABELAS	25
RESUMO	28
1. INTRODUÇÃO	29
2. REVISÃO DE LITERATURA	33
2.1. Necessidade Hídrica da Cultura da Videira	33
2.2. Balanço de Energia Baseado na Razão de Bowen	36
2.3. Balanço de água no Solo	42
2.3.1. Irrigação	45
2.3.2. Fluxo de Água no Solo não Saturado	47
2.3.3. Retenção de Água no Solo	49
2.3.4. Lisímetros	51
2.3.5. Variabilidade da Tensão e do Conteúdo de Água no Solo	53
2.4. Evapotranspiração de Referência	54
2.5. Coeficiente de Cultura	56
3. MATERIAL E MÉTODOS	61
3.1. Material	61
3.1.1. Localização da Área Experimental	61
3.1.2. Cultura Estudada	62
3.1.3. Manejo de Água e de Agroquímicos	64
3.1.4. Delineamento	67
3.1.5. Sistemática de Coleta de Dados e Instrumentação Utilizada	68
3.2. Metodologia	69
3.2.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen – (BERB)	69
3.2.1.1. Balanço de Energia Clássico para o Sistema “Copa-solo”	75
3.2.1.2. Balanço de Energia Modificado para o Sistema “Copa”	75
3.2.1.3. Balanço de Energia Modificado para o Sistema “Superfície do Solo”	76
3.2.1.4. Fluxo de Calor Latente – LE	76

3.2.1.5. Fluxo de Calor Sensível – H	77
3.2.1.6. Razão de Bowen - β	77
3.2.1.7. Fluxo de Calor no Solo – G	80
3.2.1.8. Relação entre a Energia Disponível e o Fluxo de Calor Latente	80
3.2.1.9. Erros do Balanço de Energia pela Razão de Bowen - $\varepsilon(LE)$	80
3.2.2. Balanço Hídrico no Solo – (BHS)	82
3.2.2.1. Intermitência de Irrigação	82
3.2.2.2. Lâmina de Irrigação (I) ou Lâmina Infiltrada no Solo (I _i)	84
3.2.2.3. Precipitação Pluviométrica Efetiva – P _e	84
3.2.2.4. Curva de Retenção de Água no Solo	84
3.2.2.5. Variação da Lâmina de Água Armazenada no Solo - ΔW	87
3.2.2.6. Drenagem - D	88
3.2.2.7. Escoamento Superficial - E _s	88
3.2.2.8. Evapotranspiração da Cultura – E _{Tc}	88
3.2.2.9. Erro do balanço Hídrico no Solo	89
3.2.3. Evapotranspiração de Referência – E _{To}	90
3.2.4. Coeficiente da Cultura – K _c	91
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
4.1. Fenologia da Videira	93
4.2. Balanço de Energia	101
4.2.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen para o Sistema “Copa-solo”	101
4.2.2. Balanço de Energia pela Razão de Bowen para o Sistema “Copa”	105
4.2.3. Balanço de Energia pela Razão de Bowen para o Sistema “Superfície do Solo”	108
4.2.4. Variação dos Componentes de Balanço de Energia Segundo a Fenologia da Videira	114
4.2.4.1. Variação dos Componentes de Balanço de Energia para o Sistema “Copa-solo”	114
4.2.4.2. Variação dos Componentes de Balanço de Energia para o Sistema “Copa”	117
4.2.4.3. Variação dos Componentes de Balanço de Energia para o Sistema “Superfície do Solo”	119

4.2.5. Relação entre os Fluxos de Energia Disponível e Consumida no Balanço de Energia no Parreiral	122
4.2.5.1. Balanço de Energia para o Sistema “Copa-solo”	122
4.2.5.2. Balanço de Energia para o Sistema “Copa”	124
4.2.5.3. Balanço de Energia para o Sistema “Superfície do Solo”	124
4.2.6. Partição dos Componentes do Balanço de Energia Segundo a Fenologia da Videira	128
4.2.6.1. Balanço de Energia para o Sistema “Copa-solo”	128
4.2.6.2. Balanço de Energia para o Sistema “Copa”	129
4.2.6.3. Balanço de Energia para o Sistema “Superfície do Solo”	131
4.2.7. Análise da Razão de Bowen	136
4.2.8. Variação da Razão de Bowen ao longo da Fenologia da Videira	147
4.2.9. Análises dos Erros com base no Balanço de Energia	149
4.2.9.1. Erro Relativo da Razão de Bowen - $\varepsilon_r(\beta)$	150
4.2.9.2. Erro Absoluto da Razão de Bowen - $\varepsilon_a(\beta)$	156
4.2.9.3. Variação dos Erros da Razão de Bowen ao longo da Fenologia da Videira	162
4.2.9.4. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente - $\varepsilon_a(LE)$	162
4.2.9.4.1. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa-solo” - $\varepsilon_a(LE)_{c-s}$	164
4.2.9.4.2. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa” - $\varepsilon_a(LE)_c$	164
4.2.9.4.3. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Superfície do Solo” - $\varepsilon_a(LE)_{ss}$	167
4.2.9.4.4. Comparação entre as Modalidades de Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente ao longo da Fenologia da Videira	167
4.2.9.5. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente - $\varepsilon_r(LE)$	171
4.2.9.5.1. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa-solo” - $\varepsilon_r(LE)_{c-s}$	171
4.2.9.5.2. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa” - $\varepsilon_r(LE)_c$	172
4.2.9.5.3. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Superfície do Solo” - $\varepsilon_r(LE)_{ss}$	172
4.2.9.5.4. Comparação entre os Erros Relativos do Fluxo de Calor Latente ao longo da Fenologia da Videira	175

4.3. BALANÇO HÍDRICO NO SOLO	179
4.3.1. Curvas de Retenção de Água no Solo	179
4.3.2. Irrigação	179
4.3.3. Monitoramento do Conteúdo de Água no Solo	180
4.3.4. Drenagem	185
4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA VIDEIRA – ET _c	196
4.4.1. Evapotranspiração da Videira pelo Método do Balanço de Energia pela Razão de Bowen	196
4.4.1.1. Evapotranspiração da Videira Estimada para o Sistema “Copa-solo” – (ET _c) _{c-s}	197
4.4.1.2. Evapotranspiração da Videira Estimada para o Sistema “Copa” – (ET _c) _c	197
4.4.1.3. Evapotranspiração da Videira Estimada para o Sistema “Superfície do Solo” – (ET _c) _{ss}	201
4.4.1.4. Comparação entre os Valores de Evapotranspiração da Videira com base no Balanço de Energia pela Razão de Bowen	202
4.4.2. Evapotranspiração da Videira Estimada pelo Método do Balanço Hídrico no Solo	209
4.4.2.1. Evapotranspiração da Videira com base na Variação do Conteúdo de Água no Solo	211
4.4.2.2. Comparação entre os Valores de Evapotranspiração da Videira Estimados pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen e pelo Balanço Hídrico no Solo	218
4.4.2.3. Análise do Erro da Evapotranspiração	224
4.4.2.3.1. Erro da Evapotranspiração Estimada pelo Balanço de Energia pela razão de Bowen - $\epsilon(ET_c)_{BERB}$	225
4.4.2.3.2. Erro da Evapotranspiração Estimada pelo Balanço Hídrico no Solo - $\epsilon(ET_c)_{BHS}$	225
4.5. Análise Crítica da Evapotranspiração de Referência – ET _o	228
4.6. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA DA VIDEIRA – K _c	228
4.6.1. Coeficiente de Cultura da Videira Estimado pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen	228
4.6.2. Coeficiente de Cultura da Videira Estimado pelo Balanço Hídrico no Solo	236
4.6.3. Comparação entre os Valores de Coeficiente de Cultura da Videira Estimados pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen e pelo Balanço Hídrico no solo	241

4.7. Produtividade	243
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	245
5.1. Conclusões	245
5.2. Recomendações	246
ABSTRACT	247
6. LITERATURA CITADA	248
7. ANEXOS	262
7.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen	262
7.2. Balanço Hídrico no Solo	285
7.2.1. Análise do Balanço Hídrico no Solo sem Variação do Conteúdo de Água	285
7.3. Análise Crítica da Evapotranspiração de Referência - ETo	296

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 3.1. Vista da localização das plantas selecionadas no parreiral, para o balanço de energia pela razão de Bowen e o balanço hídrico no solo.
- Fig. 3.2. Detalhes da construção dos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.
- Fig. 3.3. Detalhes das instalações dos instrumentos utilizados para medição dos parâmetros micrometeorológicos, Petrolina – PE.
- Fig. 3.4. Detalhes dos equipamentos que compõem o cabeçal de controle, Petrolina – PE.
- Fig. 3.5. Detalhes de instalação dos tensiômetros de mercúrio nos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.
- Fig. 3.6. Detalhes de instalação dos pluviômetros de básculas no fundo do fosso construído ao lado dos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.
- Fig. 3.7. Detalhamento dos componentes do balanço de energia pela razão de Bowen.
- Fig. 4.1. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: período de brotação – PB (foto superior) e desenvolvimento vegetativo – DV (foto inferior), Petrolina – PE.
- Fig. 4.2. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: pré-floração e plena floração - PFF (foto superior) e primeira fase de crescimento do fruto - 1^aFCF (foto inferior), Petrolina – PE.
- Fig. 4.3. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: para de crescimento do fruto - PCF (foto superior) e segunda fase de crescimento do fruto - 2^aFCF (foto inferior), Petrolina – PE.
- Fig. 4.4. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: maturação final do fruto - MFF (foto superior) e repouso fenológico – RF (foto inferior), Petrolina – PE.
- Fig. 4.5. Comportamento do índice de área foliar da videira em função do número de dias após a poda, correspondentes ao: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.6. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo”: saldo de radiação – $R_{nc_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, correspondente ao estágio de PB para: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

- Fig. 4.7. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo”: saldo de radiação – $R_{nc_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – LE , fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H , correspondente ao estádio da 2ª FCF, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.8. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira”: saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IC}$, fluxo de calor latente – LEc e fluxo de calor sensível – Hc , correspondente ao estádio do PB, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.9. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado referente ao sistema “copa da videira”: saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IC}$, fluxo de calor latente – LEc e fluxo de calor sensível – Hc , correspondente à 2ª FCF, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.10. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo”: saldo de radiação – $R_{nss_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – $LEss$, fluxo de calor sensível – Hss e fluxo de calor no solo – G , correspondente ao PB para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.11. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico referente ao sistema “superfície do solo”: saldo de radiação – $R_{nss_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – $LEss$, fluxo de calor sensível – Hss e fluxo de calor no solo – G , correspondente à 2ª FCF para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.
- Fig. 4.12. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia clássico (R_{nc_BEC}), calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), obtidas pelo balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo” correspondente ao: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE

- Fig. 4.13. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia modificado (R_{ncc_BEM}), calor latente (LEc) e calor sensível (Hc), obtidas pelo balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira” ao longo do seu ciclo fenológico, para o: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE.
- Fig. 4.14. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia clássico (R_{nss_BEC}), calor latente ($LEss$), calor sensível (Hss) e calor no solo (G), obtidas pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo” ao longo do seu ciclo fenológico da videira, para o: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina - PE.
- Fig. 4.15. Relação entre o fluxo de calor latente - LE e a diferença entre o saldo radiação e o fluxo de calor no solo corrigidos ($R_{nc} - G$), obtidos pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema “copa-solo” para os estádios de PB e da 2ªFCF, sendo: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina - PE.
- Fig. 4.16. Relação entre o fluxo de calor latente - LEc e o fluxo do saldo radiação - R_{ncc} corrigidos, obtidos pelo balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira”, para os estádios de PB e da 2ªFCF, sendo: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina - PE.
- Fig. 4.17. Relação entre o fluxo de calor latente - $LEss$ e a diferença entre o fluxo do saldo radiação e o fluxo de calor no solo corrigido - ($R_{nss} - G$), obtidos pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo”, para os estádios de PB e da 2ªFCF, sendo: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina - PE.
- Fig. 4.18. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estádio de brotação, durante o 1º ciclo produtivo - $\beta_{ss_PB_IC}$ e β_{c_PB} , respectivamente; idem para o estádio de desenvolvimento vegetativo - β_{ss_DV} e β_{c_DV} , para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina - PE.

- Fig. 4.19. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondentes à superfície do solo e à copa da videira para o estágio de pré-floração, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_PFF_IC}$ e β_{c_PFF} , respectivamente; idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto – $\beta_{ss_1^aFCF}$ e $\beta_{c_1^aFCF}$, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.
- Fig. 4.20. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estágio da parada de crescimento do fruto, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_PCF_IC}$ e β_{c_PCF} , respectivamente; idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto – $\beta_{ss_2^aFCF}$ e $\beta_{c_2^aFCF}$, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.
- Fig. 4.21. Comportamento diurno médio da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estágio de maturação final do fruto, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_MFF_IC}$ e β_{c_MFF} , respectivamente; idem para o estágio de repouso fenológico – β_{ss_RF} e β_{c_RF} , para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.
- Fig. 4.22. Comportamento diurno médio da razão de Bowen ao longo dos oito estádios fenológicos da videira, tanto para copa quanto para a superfície do solo, relativo ao 1º ciclo de cultivo – β_{c_IC} e β_{ss_IC} , respectivamente; idem para o 2º ciclo – β_{c_IIC} e β_{ss_IIC} , Petrolina – PE.
- Fig. 4.23. Evolução da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, (β_{c_IIC}) e ($\beta_{c_Tuest_IIC}$), respectivamente, ao longo do seu ciclo fenológico durante o 2º ciclo de cultivo, Petrolina-PE.
- Fig. 4.24. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de brotação para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira – $\epsilon_r(\beta)_{ss_PB_IC}$, $\epsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\epsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\epsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, respectivamente; b) idem para o estágio de desenvolvimento vegetativo - $\epsilon_r(\beta)_{ss_PB_IC}$, $\epsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\epsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\epsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, Petrolina – PE.

- Fig. 4.25. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de pré-floração e plena floração, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_PFF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_1^aFCF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.26. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de parada de crescimento do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_PCF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_2^aFCF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.27. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de maturação final do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_MFF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio de repouso fenológico - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_RF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.28. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de brotação, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_PB_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio de desenvolvimento vegetativo - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_DV_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.29. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de pré e plena floração, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_PFF_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_1^aFCF_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.30. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de parada de crescimento do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_PCF_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, respectivamente; b) idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(\beta)_{ss_2^aFCF_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_a(\beta)_{c}$, Petrolina – PE.

- Fig. 4.31. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de maturação final do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_a(\beta)ss_MFF_IC$, $\varepsilon_a(\beta)c_IC$, $\varepsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\varepsilon_a(\beta)c$, respectivamente; b) idem para o estágio de repouso fenológico - $\varepsilon_a(\beta)ss_RF_IC$, $\varepsilon_a(\beta)c_IC$, $\varepsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\varepsilon_a(\beta)c$, Petrolina – PE.
- Fig. 4.32. Comportamento dos erros: a) relativo da razão de Bowen correspondentes à copa da videira e à superfície do solo ao longo da fenologia da videira para o 1º e 2º ciclos de produção - $\varepsilon_r(\beta)c_IC$, $\varepsilon_r(\beta)ss_IC$, $\varepsilon_r(\beta)c_IIC$, $\varepsilon_r(\beta)ss_IIC$, respectivamente, b) idem absoluto - $\varepsilon_a(\beta)c_IC$, $\varepsilon_a(\beta)ss_IC$, $\varepsilon_a(\beta)c_IIC$, $\varepsilon_a(\beta)ss_IIC$, respectivamente, Petrolina – PE.
- Fig. 4.33. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado no sistema “copa-solo” para os estádios do período de brotação - $\varepsilon_a(LE)_PB_IC$; desenvolvimento vegetativo - $\varepsilon_a(LE)_DV$; primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)_1^aFCF$; segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)_2^a FCF$ e de repouso fenológico - $\varepsilon_a(LE)_RF$ do 1º ciclo de produção da videira - $\varepsilon_a(LE)$ e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.34. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia modificado aplicado ao sistema “copa” para os estádios do período de brotação das gemas vegetativas - $\varepsilon_a(LE)c_PB_IC$; desenvolvimento vegetativo - $\varepsilon_a(LE)c_DV$; primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)c_1^aFCF$; segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)c_2^a FCF$ e de repouso fenológico - $\varepsilon_a(LE)c_RF$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.35. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” para os estádios do período de brotação - $\varepsilon_a(LE)ss_PB_IC$; desenvolvimento vegetativo - $\varepsilon_a(LE)ss_DV$; primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)ss_1^aFCF$; segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_a(LE)ss_2^a FCF$ e de repouso fenológico - $\varepsilon_a(LE)ss_RF$ do 1º ciclo de produtivo da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

- Fig. 4.36. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente obtido pelo balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas “copa-solo” – EALE, “copa”-EALec e “superfície do solo”_EALEss, ao longo do ciclo fenológico da videira, sendo: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.37. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “copa-solo” para os estádios de brotação das gemas vegetativas – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{1^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{2^{\text{a}}\text{FCF}}$ e de repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.38. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente: a) balanço de energia clássico aplicado ao para o sistema “copa” para os estádios de brotação da gemas vegetativas – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{c_PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{c_DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{c_1}^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{c_2}^{\text{a}}\text{FCF}}$ e repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{c_RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.39. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” para os estádios de brotação – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_1}^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_2}^{\text{a}}\text{FCF}}$ e repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.40. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas “copa-solo” ERLE_IC, “copa” – ERLE_IC e “superfície do solo” – ERLE_IC ao longo do 1º ciclo produtivo da videira; b) idem 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.41. Parcelamento dos tempos real de irrigação e de repouso relativos às intermitências de irrigação calculados pelo painel de controle programável especial.

- Fig. 4.42. Detalhamento das lâminas de água infiltrada diária média – Lâm_infiltrada e precipitações efetivas ocorridas – Pe, correspondentes ao: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.43. Monitoramento do conteúdo de água no solo por tensiometria de mercúrio, correspondente à: a) intermitência I-1 para o 1º ciclo produtivo; b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.44. Detalhamento das intensidades de drenagem para a semana específica de 23 a 30/07/01, correspondentes ao 1º ciclo produtivo da videira: a) para as intermitências I-1 – ID1_IC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, b) idem para a intermitência I-3 – ID3 e a intermitência I-4 – ID4 e c) idem para a intermitência I-4, Petrolina – PE.
- Fig. 4.45. Comportamentos das intensidades de drenagem diárias médias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, para julho/2001 do 1º ciclo produtivo; b) idem agosto/2001, Petrolina – PE.
- Fig. 4.46. Comportamentos das intensidades de drenagem diárias médias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, par setembro/2001 do 1º ciclo produtivo; b) idem outubro/2001, Petrolina – PE.
- Fig. 4.47. Comportamentos das intensidades de drenagem diárias médias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IIC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, para dezembro/2001 do 2º ciclo produtivo; b) idem janeiro/2002, Petrolina – PE.
- Fig. 4.48. Comportamentos das intensidades de drenagem diárias médias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IIC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, para fevereiro/2002 do 2º ciclo produtivo; b) idem março/2002, Petrolina – PE.
- Fig. 4.49. Comportamentos das curvas de intensidades diárias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, para o 1º ciclo produtivo; b) idem para a intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4 e c) idem para a intermitência I-4 – ID4, Petrolina – PE.

- Fig. 4.50. Comportamento das curvas de intensidades diárias correspondentes à: a) intermitência I-1 – ID1_IIC, intermitência I-2 – ID2, intermitência I-3 – ID3 e intermitência I-4 – ID4, para o 2º ciclo produtivo b) intermitência I-3 – ID3 intermitência I-4 – ID4, Petrolina – PE.
- Fig. 4.51. Lâminas acumuladas de drenagem obtidas para as intermitências de irrigação por gotejamento (I-1, I-2, I-3 e I-4) correspondentes ao: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.52. Lâminas acumuladas de drenagem obtidas para os tratamentos de intermitência de irrigação por gotejamento (I-1, I-2, I-3 e I-4) correspondentes ao 2º ciclo produtivo da videira, com a exclusão da drenagem ocorrida no período compreendido entre 29/12/01 e 24/01/02, Petrolina – PE.
- Fig. 4.53. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia clássica aplicada ao sistema “copa-solo” referente ao: a) 1º ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas – ETc_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETc_DV, primeira fase de crescimento dos frutos – ETc_1ªFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETc_2ªFCF e repouso fenológico – ETc_RF; b) idem 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.54. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia modificada aplicada ao sistema “copa” referente ao: a) 1º ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas vegetativas – ETcc_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETcc_DV, primeira fase de crescimento do fruto – ETcc_1ªFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETcc_2ªFCF e repouso fenológico – ETcc_RF; b) idem 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.55. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia clássica aplicada ao sistema “superfície do solo” referente ao: a) 1º ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas vegetativas – ETcss_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETcss_DV, primeira fase de crescimento do fruto – ETcss_1ªFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETcss_2ªFCF e repouso fenológico – ETcss_RF; b) idem 2º ciclo, Petrolina – PE.

- Fig. 4.56. Comparação entre os valores de ETc obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicado aos sistemas “copa-solo” (ETc)_{c-s}, “copa” (ETc)_c e “superfície do solo” (ETc)_{ss} ao longo da fenologia da videira correspondente ao a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.57. Análise comparativa entre os valores de ETc diários obtidos pelos balanços de energia pela razão de Bowen clássico e modificado, ao longo do ciclo fenológico da videira, sendo: a) 1º ciclo; b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.58. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 para o 1º ciclo de produção, com variação do armazenamento do conteúdo de água no solo (ETc_I1_IC_CVA); idem para intermitência I-2 (ETc_I2); idem para intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.
- Fig. 4.59. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 para o 2º ciclo de produção, com variação do armazenamento do conteúdo de água no solo (ETc_I1_IIC_CVA); idem para intermitência I-2 (ETc_I2); idem para intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.
- Fig. 4.60. Comportamento dos valores médios de evapotranspiração obtidos pelo BHS para a condição: a) com fator de cobertura do solo para a intermitência I-1 – ETc_I1_IC_CFcS, intermitência I-2 – ETc_I2, intermitência I-3 – ETc_I3 e intermitência I-4 – ETc_I4, para o 1º ciclo produtivo; b) idem para condição sem fator de cobertura do solo, Petrolina - PE.
- Fig. 4.61. Comparação entre os valores médios de ETc obtidos pelo BHS para a condição: a) com fator de cobertura do solo para a intermitência I-1 – ETc_I1_IIC_CFcS, intermitência I-2 – ETc_I2, intermitência I-3 – ETc_I3 e intermitência I-4 – ETc_I4, para o 2º ciclo produtivo; b) idem para condição sem fator de cobertura do solo, Petrolina - PE.
- Fig. 4.62. Comparação entre os valores médios de evapotranspiração obtidos pelos métodos do BERB clássico (ETc)_{ss_BERB} e do BHS (ETc)_{ss_BHS} ao longo do ciclo produtivo da videira, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE.

- Fig. 4.63. Valores médios de coeficiente de cultura da videira correspondentes ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen aplicado ao sistema “copa-solo” e em dados coletados em estações agrometeorológicas convencional – Kc_{EC_IC} e automática – Kc_{EA_IC} , para o 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo, Petrolina - PE.
- Fig. 4.64. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço de energia pela razão de Bowen correspondentes a: a) “copa” da videira - Kcc , “superfície do solo” - $Kcss$ e “copa-solo” - Kc_{ac} , relativos a uma estação agrometeorológica automática para o 1º ciclo produtivo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.65. Análise comparativa entre os valores de coeficiente de cultura correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen clássico - Kc_{BEC_EA} e balanço de energia pela razão de Bowen modificado - $Kc_{ac_BEM_EA}$, referente a uma estação agrometeorológica automática, para o 1º ciclo produtivo da videira; b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.
- Fig. 4.66. Curvas de coeficiente de cultura correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen clássico - Kc_{BEC_EA} e balanço de energia pela razão de Bowen modificado de Kc_{ac_EA} , em relação a uma estação agrometeorológica automática, com respectivas equações polinomiais, para o 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.67. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço hídrico no solo correspondente a: a) intermitência I-1 com fator de do solo – $Kc_{ac_I1_IC_CFcs}$, intermitência I-2 – Kc_{ac_I2} , intermitência I-3 – Kc_{ac_I3} e intermitência I-4 – Kc_{ac_I4} e com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Fig. 4.68. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço hídrico no solo correspondente a: a) intermitência I-1 – $Kcc_{I1_IC_SFcs}$, intermitência I-2 – Kcc_{I2} , intermitência I-3 – Kcc_{I3} e intermitência I-4 – Kcc_{I4} e com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

Fig. 4.69. Valores médios de coeficiente de cultura correspondentes ao: a) balanço hídrico no solo – $K_{css_BHS_IC}$ e balanço de energia pela razão de Bowen – $K_{css_BERB_IC}$ e em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Descrição morfológica do solo (*) de uma das trincheiras abertas na área em estudo, Petrolina – PE.

Quadro 4.1. Estádios fenológicos da videira variedade *Festival* para dois ciclos de produção (estação seca e estação chuvosa), Petrolina – PE.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 4.1. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LE/R_{nc}), entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (H/R_{nc}) e entre os fluxos de calor no solo e o saldo de radiação (G/R_{nc}), para os oito estádios fenológicos da videira, 1º ciclo de produção, jul a nov/2001, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.
- Tabela 4.2. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LE/R_{nc}), entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (H/R_{nc}) e entre os fluxos de calor no solo e o saldo de radiação (G/R_{nc}), para os oito estádios fenológicos da videira, 2º ciclo de produção, dez/2001 a mar/2002, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.
- Tabela 4.3. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LEc/R_{ncc}) e entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (Hc/R_{ncc}), para os oito estádios fenológicos da videira, 1º ciclo de produção, jul a nov/2001, com base na metodologia modificada, Petrolina – PE.
- Tabela 4.4. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LEc/R_{ncc}) e entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (Hc/R_{ncc}) para os oito estádios fenológicos da videira, 2º ciclo de produção, dez/2001 a mar/2002, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.
- Tabela 4.5. Relações percentuais entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação (LE_{ss}/R_{nss}), entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (H_{ss}/R_{nss}) e entre o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação (G/R_{nss}), para os oito estádios fenológicos da videira, 1º ciclo de produção, jul a nov/2001, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.
- Tabela 4.6. Relações percentuais entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação (LE_{ss}/R_{nss}), entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (H_{ss}/R_{nss}) e entre o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação (G/R_{nss}), para os oito estádios fenológicos da videira, 2º ciclo de produção, dez/2001 a mar/2002, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.

- Tabela 4.7. Resumo das relações percentuais entre os componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, determinadas pela metodologia clássica (BEC) para o sistema “copa-solo”, pela metodologia modificada (BEM) para o sistema copa e pela metodologia clássica para o sistema superfície do solo, para os dois ciclos de produção da videira, Petrolina – PE.
- Tabela 4.8. Valores médios de evapotranspiração obtidos pelo balanço de energia pela razão de Bowen aplicado ao sistema “copa-solo” - $(ETc)_{c-s}$, para oito estádios fenológicos da videira, para o 1º e 2º ciclos produtivo, Petrolina – PE.
- Tabela 4.9. Valores diários médios de ETc obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicada aos sistemas “copa” e “superfície do solo”, para oito os estádios fenológicos da videira, para o 1º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Tabela 4.10. Valores diários médios de ETc obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicada aos sistemas copa e superfície do solo, para os oito estádios fenológicos da videira, para o 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Tabela 4.11. Coeficientes de correlação (R^2) relativo à matriz de correlação entre os parâmetros saldo de radiação (R_{nc}), déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (V_2), correspondentes à condição acima da copa da videira, para o 1º e 2º ciclos produtivo e para a média os dois ciclos, Petrolina – PE.
- Tabela 4.12. Resumo da evapotranspiração acumulada da videira obtida através do balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas copa-solo, copa e superfície do solo e pelo balanço hídrico no solo para as intermitências de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para o primeiro e segundo ciclo de cultivo da videira, Petrolina – PE.
- Tabela 4.13. Resumo do erro da evapotranspiração obtido para os sistemas “copa-solo” - $\varepsilon(ETc)_{c-s}$, “copa” - $\varepsilon(ETc)_c$ e “superfície do solo” - $\varepsilon(ETc)_{ss}$, para oito estádios fenológicos da videira e para o 1º ciclo produtivo, Petrolina – PE.
- Tabela 4.14. Resumo do erro da evapotranspiração obtido para os sistemas “copa-solo” - $\varepsilon(ETc)_{c-s}$, “copa” - $\varepsilon(ETc)_c$ e “superfície do solo” - $\varepsilon(ETc)_{ss}$, para oito estádios fenológicos da videira e para o 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

- Tabela 4.15. Resumo dos erros $\varepsilon(ETc)_{BHS}$ obtidos pelo balanço hídrico no solo para as modalidades de intermitência de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para oito estádios fenológicos, do 1º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Tabela 4.16. Resumo dos erros $\varepsilon(ETc)_{BHS}$ obtidos pelo balanço hídrico no solo para as modalidades de intermitência de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para oito estádios fenológicos, do 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.
- Tabela. 4.17. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço de energia aplicado ao sistema “copa-solo”, utilizando dados coletadas em estações agrometeorológicas convencional $Kc(BERB)_{EC}$ e automática $Kc(BERB)_{EA}$ correspondentes ao 1o e 2o ciclos produtivo da videira, Petrolina-PE.
- Tabela. 4.18. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço de energia aplicados ao sistema “copa” - $(Kcc)_{EA}$ e ao sistema “superfície do solo” - $(Kcss)_{EA}$ e de $(Kc_{ac})_{EA}$, utilizando dados obtidos em estação agrometeorológica automática para o 1o ciclo produtivo da videira, Petrolina-PE.
- Tabela. 4.19. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço aplicado ao sistema “copa” $(Kcc)_{EA}$ e aplicada ao sistema “superfície do solo” $(Kcss)_{EA}$ e de $(Kc_{ac})_{EA}$, utilizando dados coletados em estação agrometeorológica automática correspondente ao 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina-PE.

RESUMO

Este estudo foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizada no Perímetro Irrigado de Bebedouro, Petrolina-PE, visando à determinação do consumo hídrico e do coeficiente de cultura da videira (*Vitis vinifera*, L), variedade *Festival*, sem sementes, com três anos de idade, para oito estádios fenológicos: 1. período de brotação; 2. desenvolvimento vegetativo; 3. pré e plena floração; 4. primeira fase de crescimento do fruto; 5. parada de crescimento do fruto; 6. segunda fase de crescimento do fruto; 7. maturação final do fruto e 8. repouso fenológico, durante dois ciclos de produção, usando-se duas metodologias distintas: Balanço de energia pela razão de Bowen - BERB, aplicado aos sistemas “copa-solo”, “copa” e “superfície do solo” e Balanço hídrico no solo - BHS, abrangendo quatro ciclos de intermitência de irrigação (1, 2, 3 e 4). Dentre os resultados obtidos, destacam-se: a) A subdivisão do sistema “copa-solo” em dois subsistemas distintos “copa” e “superfície do solo”, proporcionou a obtenção de valores de coeficientes de cultura praticamente iguais aos obtidos por meio do balanço de energia pela razão de Bowen clássico, além da vantagem de fornecer valores de coeficientes de cultura específicos para a copa da videira, bem como para a evaporação do solo; b) Verificou-se que os valores dos coeficientes de cultura da videira, determinados com base no balanço hídrico no solo para a intermitência de irrigação de nível quatro, superaram os estimados para as demais intermitências, em quase todos os seus estádios fenológicos e tenderam a diminuir, à medida que se reduzia o número de intermitências, tendo os coeficientes obtidos para intermitência de nível um, apresentado-se como os menores; c) Constatou-se que os valores dos coeficientes de cultura da videira estimados, pelo balanço de energia modificado pela razão de Bowen, apresentaram-se bem mais elevados do que aqueles estimados por meio do BHS, apenas durante os estádios fenológicos com menor cobertura do solo e praticamente iguais em quase todos os demais estádios; d) Constatou-se que o aumento do número de intermitências de irrigação condicionou uma redução significativa das perdas de água por percolação profunda. Ou seja, as reduções obtidas em relação à testemunha foram da ordem de 20,46, 46,26 e de 79,80%, correspondentes às intermitências de níveis dois, três e quatro, respectivamente, para dois ciclos de produção; e) Verificou-se que os valores da ETc acumulados da videira, determinados pelo balanço de energia modificado, foram da ordem de 496,87 e de 472,81 mm, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, respectivamente, enquanto o valor médio estimado por meio do balanço hídrico no solo para o 1º ciclo, oscilou em torno de 435,35±32,06 mm. Porém, no 2º ciclo este tipo de comparação foi severamente prejudicado pela ocorrência de chuvas excessivas.

1 - INTRODUÇÃO

A produção de uvas finas de mesa adquiriu relevância econômica no Vale do São Francisco na década de setenta, quando o avanço nas tecnologias aplicadas à produção permitiu a obtenção e oferta de um produto competitivo e de qualidade superior nos diferentes mercados consumidores.

A viticultura no Vale do São Francisco apresentou na última década uma notável expansão da área cultivada, passando de 1.759 ha, em 1990 (Agrianual, 1997), para 5.183 ha em 2000 (Agrianual, 2002). Atualmente, a uva de mesa destaca-se como uma das principais frutas exploradas nesta região, sendo a quinta em área cultivada e a segunda na pauta de exportação, com um volume comercializado no mercado externo da ordem de 14.345 toneladas ou 14,6 milhões de dólares, no ano de 2000 (FNP/SECEX/DECEX, citados por Agrianual, 2002). Essa região responde pela quase totalidade da exportação de uvas finas de mesa do país.

Ao longo desta década observaram-se mudanças gradativas no cenário da produção de uvas da região do Submédio São Francisco. Ou seja, a comercialização dirigida exclusivamente para o mercado interno deu lugar à conquista de novos mercados que permitissem absorver a oferta cada vez maior de uvas produzidas nesta região. As exportações foram determinantes na melhoria de qualidade dos frutos, devido à necessidade de se atingir os padrões exigidos pelos mercados internacionais. Em um contexto de mercado globalizado,

esta região passou a apresentar uma desvantagem competitiva frente a outros importantes exportadores mundiais de uvas de mesa, devido à concentração de sua produção em cultivares com sementes. As possibilidades de expansão das exportações tornaram-se cada vez menores em função da crescente preferência do mercado internacional por uvas sem sementes. Na Europa, o mercado inglês destaca-se entre os mais exigentes, onde a demanda está baseada exclusivamente em uvas sem sementes. Além disso, o preço da uva 'Itália' comercializado no mercado europeu vem caindo ao longo desta década, alcançando na safra 2001 valores de apenas US\$ 3,00/caixa com 4,5 kg, enquanto o preço médio para a variedade Superior Seedless oscila em torno de US\$ 14,00/caixa com 4,5 kg.

Diante deste potencial, a região do Submédio São Francisco, nos últimos seis anos, vem expandindo a sua produção de uvas sem sementes baseada principalmente, numa cultivar de cor branca, denominada *Superior seedless* ou *Sugraone*, também conhecida por Festival. Essa variedade caracteriza-se pela sua precocidade (90-100 dias da poda à colheita) e pelas excelentes características comerciais, tais como: tamanho de cacho e de baga, baixa acidez e elevado teor de açúcar; porém, com produtividade baixa e bastante irregular.

Por outro lado, o pólo Petrolina-Juazeiro compreende vários municípios dos Estados de Pernambuco e da Bahia, cuja área irrigada é de aproximadamente 100.000 ha, dos quais 80% eram explorados nos anos 80, sob sistemas de irrigação por superfície e por aspersão. Porém, nos últimos anos, a irrigação localizada vem crescendo bastante, em decorrência das suas vantagens em relação aos sistemas de irrigação por superfície e por aspersão, teoricamente em função da elevada eficiência de aplicação de água e de nutrientes via fertirrigação, dos baixos custos operacional e de manutenção, da obtenção de produtividades com maior índice de rentabilidade e de frutos com qualidades que podem atender às demandas dos mercados interno e externo.

No entanto, apesar de os sistemas de irrigação localizada, em termos teóricos, apresentarem elevadas eficiências de aplicação de água, e de alguns produtores adotarem coeficientes de cultivo ajustados às condições climáticas dessas áreas irrigadas, tem-se constatado reduções gradativas dos níveis de produtividades da cultura da videira ao longo do tempo. Dentre os fatores que podem estar contribuindo para a obtenção dessa baixa produtividade, pode-se destacar o manejo inadequado, devido às perdas de água por percolação profunda, sob irrigação por gotejamento, e por evaporação, sob microaspersão.

Nos solos de texturas areno-argilosa e arenosa, em que os teores de areia podem superar 78%, suas capacidades de retenção de água tendem a ser inferiores a 0,93 mm/cm, que sob condições de irrigação por gotejamento podem proporcionar a formação de volumes de solo molhado com dimensões horizontais bastante inferiores às verticais, em decorrência do predomínio da força gravitacional em relação ao potencial matricial da água no solo. A associação destes fatores com o não fracionamento do tempo de irrigação por subunidade de rega pode condicionar perdas de água por percolação abaixo da profundidade efetiva das raízes ativas e, conseqüentemente, concorrer para a obtenção de baixas eficiências de uso de água, lixiviação de agroquímicos, elevação do lençol freático, aumento da salinidade dos solos e redução do volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas. Ou seja, esses fatores podem estar concorrendo para redução da produtividade e da qualidade da uva produzida nesta região e impactando o meio ambiente local.

Tem-se constatado, na maioria das áreas irrigadas dessa região, a ocorrência de lençol freático elevado ao longo de todo o ano, cuja altura tem oscilado entre 0,50 e 1,50 m em relação à superfície do solo, principalmente nos solos de texturas arenosa e areno-argilosa (Soares *et al.*, 1997). Isto pode ser devido à supremacia da lâmina de água aplicada em relação à capacidade de retenção de água desses solos na profundidade efetiva das raízes ativas, o que pode estar condicionando a obtenção de baixas eficiências de uso de água. Esta elevação do lençol freático, por sua vez, pode condicionar o aumento da salinidade dos solos, bem como uma redução do volume de solo explorado pelo sistema radicular das plantas.

A intermitência do tempo de irrigação desponta como uma tecnologia que pode adequar o manejo da água de irrigação, nas diversas modalidades de irrigação, de modo a minimizar as perdas de água e de nutrientes por percolação profunda, principalmente em solos de textura arenosa.

Além disso, o uso eficiente de água na irrigação está se tornando cada vez mais necessário, face à escassez dos recursos hídricos e ao elevado custo dos insumos, o que torna imperativa a utilização de uma metodologia apropriada para a administração da irrigação. De acordo com Azevedo *et al.* (1993), as necessidades hídricas das culturas têm sido estabelecidas por meio do coeficiente de cultura (K_c), definido originalmente como a razão entre a evapotranspiração máxima da cultura (ET_{max}) e a evapotranspiração de referência

(ET_o), correspondente à demanda hídrica da atmosfera. Mas, por outro lado, é necessário que a água aplicada seja eficientemente armazenada no perfil do solo, o que é função da textura do solo, do nível de água disponível na profundidade efetiva da raiz, da percentagem de área molhada por planta e das características hidráulicas dos emissores de água utilizados.

Diante disto, este estudo tem como objetivo geral determinar a evapotranspiração (ET_c) e o coeficiente de cultura (K_c) da videira *Festival*, por meio de duas metodologias distintas, visando otimizar o manejo de água, aumentando a sua eficiência de uso e rentabilidade e a obtenção de frutos que atendam às exigências dos mercados interno e externo, bem como a redução das perdas de água por percolação profunda e da lixiviação de nutrientes e, conseqüentemente, dos impactos ambientais proporcionados pela agricultura irrigada.

Como objetivos específicos, podem-se destacar os seguintes: a) determinar a ET_c e o K_c da videira *Festival* pelo balanço de energia pela razão de Bowen aplicado ao sistema copa-solo e sua subdivisão em dois subsistemas: copa e superfície do solo; b) determinar a ET_c e o K_c da videira *Festival* e das perdas de água por percolação profunda por meio do balanço de hídrico no solo com base em quatro categorias de intermitência de irrigação; c) fazer uma análise comparativa da ET_c e do K_c da videira *Festival* obtidos por meio do balanço de energia pela razão de Bowen e do balanço hídrico no solo.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Necessidade Hídrica da Cultura da Videira

Cerca de 99% da água usada na agricultura é reciclada pelas culturas por meio da evapotranspiração, que é definida como a transferência da água de uma superfície vegetada, na forma de vapor, ou por meio da evaporação da água do solo e transpiração pelas plantas. Dependendo do conteúdo de água no solo, um importante controle biológico é exercido pela estrutura da copa da planta na forma de uma resistência oposta, em relação à transferência de vapor d'água para a atmosfera (Perrier, 1984; Lhomme, 1997, citados por Rana & Katerji, 2000). Além disso, a evapotranspiração da cultura depende, também, dos padrões de umedecimento do solo estabelecidos pelos sistemas de irrigação, principalmente daqueles em que a água é aplicada em parte do volume do solo potencialmente explorável pelo sistema radicular, afetando bastante as taxas de absorção de água e de nutrientes pelas plantas (Michelakis *et al.*, 1996).

As condições climáticas áridas e semi-áridas também têm grande impacto no desenvolvimento das culturas, no que se refere à produtividade e qualidade do produto obtido. Sob tais condições, as culturas exploradas sob condições de recursos hídricos limitados, freqüentemente são submetidas à condição de estresse hídrico. Assim, é de fundamental

importância, conhecer com elevado nível de precisão, a quantidade de água utilizada no processo de evapotranspiração, principalmente quando se trata de culturas irrigadas com elevado valor econômico.

Segundo Rana & Katerji (2000), o consumo de água de uma cultura pode ser determinado por métodos diretos ou indiretos ou, ainda, estimados por meio de modelos matemáticos. Em geral, a medição de um parâmetro físico é a quantificação do atributo de um material sob investigação, direcionado para resposta de uma questão específica em um experimento (Kempthorne & Allmaras, 1986, citados por Rana & Katerji, 2000). A quantificação implica numa seqüência de operações que produzem a medida resultante. Convencionalmente, se o valor do parâmetro é quantificado por um instrumento, tem-se uma medida direta; se quantificado por meio de relações entre parâmetros, tem-se uma medida indireta (Settle, 1977, citado por Rana & Katerji, 2000).

Os métodos de medição da ETC deveriam ser divididos em diferentes categorias, uma vez que têm sido desenvolvidos para atender objetivos bastante distintos. Ou seja, um grupo de métodos é destinado primariamente para quantificar a evaporação relativa a um longo período, a partir de semanas a meses e da estação de cultivo. Um outro grupo de métodos tem sido desenvolvido para entender os processos que governam a transferência de energia e de matéria entre a superfície do solo e a atmosfera, enquanto o último grupo de métodos é usado para estudar as relações hídricas de plantas individuais ou de partes da planta (Rana & Katerji, 2000).

Os diferentes métodos de medição direta ou indireta da evapotranspiração estão baseados nas medições de duas classes de fatores: a) variáveis climáticas, que compreendem a radiação solar, vento, características termodinâmicas da atmosfera reinante acima da copa da cultura; b) conteúdo de água no solo e características físicas da superfície evapotranspiratória, tais como: altura, densidade de plantio, rugosidade da copa e albedo (Rana & Katerji, 2000).

Os requerimentos anuais de água de videiras adultas da espécie *Vitis vinifera* são geralmente considerados baixos, quando comparados aos de outras culturas, por causa da sua percentagem de cobertura foliar, que, freqüentemente, é inferior a 75%, principalmente quando a faixa intermediária entre duas fileiras consecutivas não é coberta pela videira. Revisões de literatura têm mostrado que a cobertura vegetal desta espécie é substancialmente afetada pela variedade, estrutura e profundidade do solo, práticas culturais, espaçamento,

sistema de condução, assim como pelo programa de manejo de água e pelo clima (Evans *et al.*, 1993).

Estes autores, realizando um levantamento de dados relativo ao uso de água pela videira para as regiões da Califórnia e do Arizona, encontraram valores entre 500 e 800 mm.ano⁻¹. Doorenbos & Pruitt (1977), baseados em determinações da umidade do solo pelo método gravimétrico, constataram que o consumo de água da videira variou entre 450 e 900 mm.ano⁻¹, enquanto James *et al.* (1992), citados por Evans *et al.* (1993), obtiveram, para as variedades de videira cultivadas na região Centro-Sul de Washington, requerimento de água variando entre 650 e 900 mm.ano⁻¹. Peacock *et al.* (1987), baseando-se em medições de água no solo e em potenciais de água na folha, estimaram que a evapotranspiração real da videira, variedade *Thompson Seedless*, irrigada por gotejamento, na região do San Joaquin Valley, era da ordem de 490 mm.ano⁻¹. Grimes & Williams (1990) estimaram que a evapotranspiração sazonal para videira estava compreendida entre 450 e 640 mm, enquanto que o Departamento de Recursos Hídricos da Califórnia estimou um requerimento anual de água da ordem de 580 mm para a variedade *Thompson Seedless* para a mesma região (Evans *et al.*, 1993).

Lascano *et al.* (1992) mencionam que o padrão diário de uso de água pela videira apresentou-se muito baixo quando comparado com o de outras culturas, tais como algodão e sorgo. Isto pode ser devido, parcialmente, ao seu baixo índice de área foliar obtido ao longo do seu ciclo de cultivo, que variou de 0,14 a 1,48. Ou seja, esses autores constataram para um mesmo IAF, que a transpiração diária do algodão varia entre 2 e 6 mm, enquanto o valor máximo da videira raramente excedia 2 mm.dia⁻¹.

A sintomatologia de deficiência hídrica apresentada pela videira é dependente do estágio fenológico no qual o déficit ocorre, bem como da intensidade do déficit. O primeiro sintoma visível em relação ao estresse hídrico em videira é o murchamento das folhas e das gavinhas mais novas. A persistência desse fenômeno poderá provocar o aparecimento de áreas necrosadas nas folhas, especialmente nas folhas basais, além de induzir a abscisão das mesmas e reduzir o diâmetro do caule da videira (Smart & Coombe, 1983).

Durante a segunda e terceira semanas após o início da frutificação, a divisão celular do pericarpo da baga é bastante intensa e a escassez de água nesta fase pode reduzir sensivelmente o tamanho da baga ou mesmo provocar sua abscisão o que, conseqüentemente, pode reduzir o peso final dos cachos e a sua produtividade (Kliewer *et al.*, 1983).

De acordo com Matheus & Anderson (1989), o déficit hídrico imposto antes ou após a fase de amolecimento da baga inibe a produtividade, crescimento do fruto e desenvolvimento do primórdio floral, sendo que quando imposto antes do amolecimento da baga, torna-se significativo. O estresse hídrico moderado, geralmente acelera a maturação das bagas, melhora a qualidade do vinho (Bravdo *et al.*, 1985), aumenta a concentração de sólidos solúveis (Kliewer *et al.*, 1983; Reynolds & Naylor, 1994), de antocianina (McCarthy *et al.*, 1983, citados por Smart & Coombe, 1983) e de prolina (Matheus & Anderson, 1989), enquanto outros autores relatam situações opostas. Estas discrepâncias, provavelmente, estão correlacionadas com a intensidade do nível de estresse hídrico imposto e com a fase fenológica de sua ocorrência, bem como com as condições climáticas reinantes no ambiente.

2.2 - Balanço de Energia Baseado na Razão de Bowen

De acordo com Irvine *et al.* (1998), a radiação solar recebida na superfície da terra, direta ou indiretamente, é partida em três formas de energia: a) a 1ª forma é a radiativa, em que parte da energia recebida é diretamente refletida ou usada para aquecer a superfície do solo, que é então irradiada com base na lei de Stefan-Boltzman (Oke, 1987, citado por Malek, 1993), de modo que o balanço entre estas é usualmente denominado saldo de radiação (R_n); b) a 2ª forma de partição da energia é o fluxo de calor turbulento, que compreende o fluxo de calor latente (LE) e o fluxo de calor sensível (H); c) a 3ª forma é agrupada como residual, que engloba a energia armazenada na copa das plantas (S), o fluxo de calor no solo (G) e a fotossíntese (P). Esses componentes devem contrabalançar a radiação solar incidente, negligenciando-se a energia advectiva. P corresponde em média a 3% de R_n (Denmead & McIlroy, 1970); S é extremamente pequeno, mesmo em torno do meio (Stewart & Thom, 1973, citados por Irvine *et al.*, 1998). Para florestas densas, Jarvis *et al.* (1976), citados por Irvine *et al.* (1998) encontraram 1% de R_n para o termo armazenamento.

O Balanço de Energia com base na Razão de Bowen (BERB) é um método indireto, simples e prático, utilizado para estimativa do fluxo de calor latente (LE), o qual tem sido amplamente utilizado por vários pesquisadores (Fuchs & Tanner, 1970; Sinclair *et al.*, 1975; Garrat, 1984; Heilman *et al.*, 1989; Cellier & Olioso, 1993; Prueger *et al.*, 1997; Lopes *et al.*, 2001). Também tem sido aprovado ser um método padrão muito preciso em ambientes

semi-áridos (Dugas *et al.*, 1991; Zhao *et al.*, 1996), bem como em culturas com porte alto (Cellier & Brunet, 1992; Rana & Katerji, 2000, Lopes *et al.*, 2001; Silva *et al.*, 2000).

De acordo com Fritschen & Simpson (1989), a aplicabilidade do BERB está baseada nas seguintes suposições: i) o transporte de massa é unidimensional, sem gradientes horizontais e os sensores que medem os gradientes estejam localizados dentro de uma subcamada de equilíbrio, onde os fluxos são considerados invariantes com a altura (Nie *et al.*, 1992; Angus & Watts, 1984; Heilman *et al.*, 1989); ii) a superfície vegetada é homogênea com respeito às fontes e sumidouros de calor, de vapor d'água e de momentum; iii) a relação entre os coeficientes de troca turbulenta de calor e de vapor d'água (K_H/K_W) é igual a 1. As duas primeiras suposições, usualmente, podem se tornar adequadas quando o "fetch" ou bordadura a barlavento atende à relação de 100:1, considerada por Rosenberg *et al.* (1983) como uma regra prática, muito embora a relação de 20:1, quando β é pequeno e positivo, seja aceita (Heilman *et al.*, 1989). Geralmente, é aceita a equidade dos coeficientes de troca quando as condições de estabilidade atmosféricas mantêm-se neutras ou instáveis. Isto pode não ser o caso durante condições estáveis ou quando H é advectado para a superfície em estudo (Todd *et al.*, 1998).

Em regiões semi-áridas, onde as culturas podem ser submetidas a uma diversidade de níveis de estresse hídrico, o gradiente de temperatura (ΔT) pode mostrar-se muito elevado, mas o gradiente de pressão de vapor (Δe) muito baixo. Isto significa que é muito importante obterem-se medições altamente precisas relativas à pressão de vapor (Angus & Watts, 1984). Uma das maneiras mais simples é por meio do uso de psicrômetros diferenciais, cujos requerimentos de precisão envolvem a manutenção dos bulbos úmidos e limpos e o registro contínuo (Fritschen & Gay, 1979, citados por Rana & Katerji, 2000). Contudo, é aceito o uso de termopares bem calibrados, que possam detectar diferenças de temperatura da ordem de 0,05 a 0,2 °C, podendo aumentar a precisão das medições, mas que ainda pode ser bastante melhorada, quando se alterna o posicionamento destes tipos de psicrômetros (Gay, 1988; Fritschen & Simpson, 1989).

Angus & Watts (1984) observaram que o método BERB oferece bons resultados em condições úmidas; no entanto, torna-se impreciso em condições muito secas ou com considerável advecção de energia e que, independentemente dos valores assumidos pela razão

de Bowen, o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo oferecem uma contribuição de erro relativo da ordem de 4% no cálculo do fluxo de calor latente. Rosenberg *et al.* (1983) também observaram que os coeficientes K_h e K_w só são iguais em condições próximas da neutralidade e em períodos limitados do dia. Brakke *et al.* (1978), citados por Oliveira (1998), ao compararem os fluxos de LE obtidos pelo BERB e de medições lisimétricas, verificaram que o balanço de energia subestimou LE entre 10 e 40%. Atribuíram esse erro à suposição da condição de igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor sensível (K_h) e latente (K_w). Obtiveram um erro significativamente menor quando assumiram serem esses coeficientes diferentes. Quando examinaram experimentalmente o relacionamento entre K_H e K_w , mediante condições de advecção de calor sensível, Verma *et al.* (1978) observaram que a hipótese de igualdade entre estes coeficientes provoca uma subestimativa da evapotranspiração calculada pelo método do BERB. Nessas condições, K_H é maior do que K_w e o gradiente $\Delta T/\Delta e$ é negativo, desde que H e e ocorram em direções opostas. Resultados similares também foram obtidos por Blad & Rosenberg (1974). Posteriormente, Rosenberg *et al.* (1983) verificaram que o processo de advecção local ocorre quando o vento desloca-se de uma superfície seca para uma superfície úmida, cuja principal evidência é quando a energia consumida no processo de evapotranspiração é maior do que a energia disponível. Segundo Heilman *et al.*, (1989), ao contrário de outros métodos, o BERB não necessita de informação sobre a velocidade do vento e propriedades aerodinâmicas da superfície do solo, visto que os fluxos são independentes da estabilidade do ar atmosférico quando se considera a igualdade entre os coeficientes de transferência turbulenta de calor latente e sensível. A maior exigência desse método é que os gradientes de temperatura e umidade devem ser medidos dentro da camada limite interna, preferencialmente na parte da camada limite em equilíbrio com a superfície considerada. Com base no fluxo vertical de calor latente obtido pelo BERB, Steduto & Hsiao (1998) determinaram o coeficiente de transferência turbulenta do vapor d'água de uma cultura de milho, cujo valor máximo ocorreu em torno das 11h00 e que variou entre 0,1 e $0,38 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Verma *et al.* (1978) verificaram que altos valores de LE estão associados com baixos valores de $|\Delta T/\Delta e|$, condição que pode estar associada à elevada advecção.

Oliver & Sene (1992), estudando a cultura da videira, observaram que a evapotranspiração pode ser obtida a partir das componentes do solo e da planta,

independentemente uma da outra. Segundo Wallace *et al.* (1993), no caso de vegetação esparsa, a evaporação do solo pode ser tão importante quanto a transpiração da planta. Continuando essa linha de pesquisa, Wallace (1995) apresentou uma revisão dos mais recentes modelos capazes de prever a evaporação de solos com vegetações esparsas e homogêneas, tendo demonstrado que a melhor forma de se calcular a evapotranspiração real é aquela que utiliza as resistências da superfície evaporante. Heilman *et al.* (1994), estudando os balanços de energia da copa, da superfície do solo e do parreiral como um todo, verificaram que a copa e a superfície do solo não podem ser tratados como sistemas independentes, uma vez que o calor sensível, gerado pela superfície do solo, pode contribuir bastante para o balanço de energia e, conseqüentemente, para a transpiração da videira. No entanto, isto pode ser válido para parreirais conduzidos no sistema de espaldeira, mas não para o sistema de latada.

Lang (1973), utilizando o balanço de energia bidimensional com base na razão de Bowen, observou que em condições de grama irrigada os gradientes verticais de temperatura e de umidade mostraram-se de 20 a 200 vezes maiores do que os gradientes horizontais. Por outro lado, Culf *et al.* (1993), ao considerarem nulo o fluxo de calor no solo para períodos de um dia, encontraram um erro na ordem de 1MJm^{-2} no cálculo da energia disponível para os fluxos turbulentos. Considerando que a advecção de ar quente contribui para aumentar a imprecisão dos métodos de estimativa de E_{Tc} , Singh & Taillefer (1986) e Brakke *et al.* (1978) propuseram correções para as equações de Priestley-Taylor e de Bowen, respectivamente.

Irvine *et al.* (1998), trabalhando em florestas com três densidades de plantio, constataram que o espaçamento não teve efeito significativo no fluxo de calor sensível, enquanto que LE aumentou de maneira significativa, decorrente do aumento de R_n , indicando a possibilidade de mudança do albedo entre as diferentes populações de plantas. Segundo Calder (1990), citado por Irvine *et al.*, (1998), a energia armazenada no substrato da floresta pode tornar-se excelente conversor de energia disponível em calor latente.

Rosset *et al.* (1997) aplicaram o balanço de energia e de radiação em pastagem, sob manejo permanente para diferentes altitudes, visando verificar a variação temporal dos fluxos de energia com a altitude. Verificaram que a evapotranspiração, calculada pelo BERB, era fortemente correlacionada com a energia disponível e que a altitude não afetou os balanços de energia e de radiação. Por outro lado, a produção de matéria seca, a eficiência do uso da água

e a evapotranspiração real declinaram com a altitude, as quais foram acompanhadas com o aumento na massa total de raízes. Konzelmann *et al.* (1997) encontraram uma razoável correlação linear entre o saldo de radiação, o fluxo de calor latente e a radiação global em regiões montanhosas e concluíram que a evapotranspiração é regulada pelo conteúdo de umidade do solo e pelo comportamento fisiológico da vegetação.

Zhao *et al.* (1996), determinando a evapotranspiração da cultura do girassol por meio dos sistemas da razão de Bowen e de correlações turbulentas, estimaram os fluxos de calor sensível armazenado pela vegetação (Q_{cv}), pelo solo (Q_{cs}) acima dos fluxímetros e calor sensível e latente armazenados pelo volume de ar ocupado pelo dossel vegetativo (Q_{ca}). A evapotranspiração foi calculada pelos dois métodos, negligenciando-se ou não a soma dos fluxos $Q_{cv}+Q_{cs}+Q_{ca}$. Observaram que apesar de o valor dessa soma ser freqüentemente pequeno, quando comparado com o de R_n , ela modifica o comportamento diurno da evapotranspiração e que o cálculo do fluxo de calor do solo, utilizando o calor armazenado acima das placas pode diferir significativamente, chegando, inclusive, a atingir sinais opostos. Além disso, a correção para o fluxo de calor no solo, devido ao calor armazenado acima dos fluxímetros, é pequena em solos com alta difusividade térmica. No entanto, os erros são mais significativos em solos com baixa condutividade térmica. Por outro lado, Malek (1993) observou que a radiação solar, saldo de radiação, cobertura de nuvens, direção e velocidade do vento afetam o fluxo de calor no solo. Observou, também, que o BERB, efetuado utilizando a placa de medição do fluxo de calor da superfície (G_{sup}), apresentou uma sobrestimativa da ETc quando comparado com aquele calculado com G determinado a 0,08 m (G_s). No entanto, as estimativas da evapotranspiração para períodos de um dia, utilizando (G_{sup}) ou (G_s), não apresentaram erros significativos.

Silans *et al.* (1997) mencionam que o fluxo de calor no solo não pode ser medido diretamente na superfície do solo, porque os fluxímetros não podem ser expostos à radiação solar. E nem podem ser localizados muito próximos da superfície por causa de modificações induzidas pelo sensor no fluxo de umidade. No entanto, um grande número de trabalhos realizados com base no BERB não utilizam correções para as densidades de fluxos de LE e de H. Ou seja, é assumido que o fluxo de calor no solo a poucos centímetros de profundidade apresenta-se como uma boa aproximação do seu valor real à superfície. Embora isso possa

tornar-se uma realidade para culturas densas, quando os gradientes de temperatura à superfície do solo são pequenos, não o são para culturas com copas esparsas (Silans *et al.*, 1997). Estes autores não constataram diferenças significativas quando LE era calculado pelo BERB com base em valores de $G_{2,5\text{ cm}}$ e de G_0 , por tratar-se de um solo de alta difusividade térmica, característica dos solos arenosos, porém, pode introduzir erros importantes no balanço, quando tratar-se de solos com baixa difusividade térmica.

A cobertura do solo com matéria orgânica vegetal, assim como a umidade do solo, também pode influenciar no comportamento da densidade de fluxo de calor no solo. Quanto maior for a espessura da camada de cobertura vegetal, menor poderá ser a quantidade de energia que flui através da camada superficial do solo.

Daamen *et al.* (1999), estudando o fluxo de energia num pomar de limão, cujo fator de cobertura do solo era de 39%, constataram uma inconsistência relativa entre a soma dos fluxos de energia que atuavam sobre o pomar, quando utilizaram os métodos de Eddy correlation e Razão de Bowen, indicando que o último comportava-se de maneira irreal naquele local.

Embora o comportamento aerodinâmico em parreirais tenha sido estudado em alguns detalhes, pesquisas envolvendo suas interações com o balanço de energia têm sido limitadas, por causa das dificuldades de obtenção de medições separadas dos balanços de energia dos sistemas “copa” e “superfície do solo” (Heilman *et al.*, 1994). Ham & Heilman (1991) mostraram que as determinações separadas dos balanços de energia dos sistemas “copa” e “superfície do solo” poderiam ser obtidos combinando-se o método de fluxo de seiva que fornece a transpiração da planta com o método do BERB que mede a evaporação do solo.

McNaughton & van den Hurk (1995), citados por Daamen *et al.* (1999), observaram que quando a copa da planta é separada da superfície do solo por 0,7 m ou mais, as duas áreas fontes são bastante distintas, pois o componente de armazenamento superior é insignificante próximo à superfície do solo e que os fluxos escalares do componente de armazenamento inferior obedecem à teoria K, uma vez que os redemoinhos são de portes pequenos.

Heilman *et al.* (1994), analisando o BERB em um parreiral, constataram que o fluxo de calor latente oscilou entre $7,20 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($\cong 83,33 \text{ W.m}^{-2}$) e $10,10 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($\cong 116,90 \text{ W.m}^{-2}$), correspondendo a 2,8 e 4,1 mm.dia⁻¹, respectivamente. Constataram, também, para o

BERB relativo à superfície do solo, que LEss oscilou entre $3,2 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($\cong 74,07 \text{ W.m}^{-2}$) e $6,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ($\cong 150,46 \text{ W.m}^{-2}$).

Cunha *et al.* (1996), analisando as componentes do balanço de energia pela razão de Bowen de uma cultura de milho, verificaram que o saldo de radiação foi fracionado em 80% para o fluxo de calor latente, em 14% para o fluxo de calor sensível e em 6% para o fluxo de calor no solo e que este fracionamento diferenciou-se em função do índice de área foliar. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira & Lima Filho (1997) com a cultura da videira, ou seja, 82% do saldo da radiação foram particionados em fluxo de calor latente, 13% em fluxo de calor sensível e 5% em fluxo de calor no solo.

Burba *et al.* (1999), utilizando o BERB para estimativas dos fluxos de calor latente e sensível, em gramíneas (*Pharagmites australis*) no Centro-Oeste de Nebraska, constataram, durante os estádios iniciais e de pleno crescimento, que a ETc variou de 2,5 a 6,5 mm.dia^{-1} , correspondendo de 80 a 90% de Rn, enquanto H consumia cerca de 5 a 10% de Rn. Observaram, também, que o ponto de máxima de LE ocorreu em torno de uma a duas horas após o ponto de máxima de Rn e que nos dias sem chuva, LE, geralmente, consumia cerca de 80-90% de Rn. Constataram, ainda, durante os estádios inicial e de pleno crescimento e no início da senescência, que as frações evaporativas (LE/Rn) foram da ordem de 0,6; 0,8 e 0,3, respectivamente.

2.3 - Balanço de água no solo

O balanço de água no solo (BHS) é classificado como um método indireto de determinação da evapotranspiração das culturas, uma vez que a ETc é obtida como um termo residual na equação do balanço de água (Rana & Katerji, 2000).

Considerando-se que é muito difícil medir precisamente todos os termos do balanço hídrico no solo, as simplificações realizadas podem tornar este método inadequado para medições precisas da ETc. Em princípio, a lâmina de água aplicada pela irrigação é conhecida e a precipitação é medida por meio de pluviômetros. No entanto, os demais parâmetros necessitam ser medidos ou, pelo menos, estimados.

No caso do uso de lisímetros de drenagem, o termo D pode ser medido diretamente, por meio do uso de recipiente fechado ou de pluviômetros eletrônicos acoplados a um sistema de aquisição automática de dados. Quando o BHS não envolve a técnica da lisimetria, ele depende da declividade do terreno, profundidade, capacidade de armazenamento e condutividade hidráulica do solo (Jensen *et al.*, 1990; Parkes & Yuanhua, 1996, citados por Rana & Katerji, 2000).

Segundo Rana & Katerji (2000), em algumas situações drenagem é tão importante que sua medição direta pode ser usada para estimativa semanal de ET_c . Nessas condições, ΔW passa a ser o único termo desconhecido e pode ser facilmente medido. No entanto, segundo os autores, sua precisão fica na dependência do tipo de equipamento a ser utilizado e que a ET_c obtida pode ser comparável com o método de balanço de energia pela razão de Bowen.

No caso do uso de sistemas fechados, como é o caso de lisímetros, os parâmetros ascensão capilar e escoamento superficial são desprezados, uma vez que são rigorosamente controlados pela estrutura do lisímetro, o que condiciona uma simplificação do balanço.

Para os sistemas abertos, a ascensão capilar ou drenagem interna não podem ser negligenciados, o que dificulta a medição exata da ET_c .

A precisão do BHS também depende fortemente da medição do conteúdo de água no solo na escala de tempo e de espaço (Burrough, 1989) e da representatividade da amostragem do solo (Bertuzzi *et al.*, 1994; Leenhard *et al.*, 1994). O “Time Domain Reflectometry – TDR” tem se constituído numa técnica bastante importante para a medição do conteúdo de água no solo, com bastante precisão, tanto sob condições de laboratório quanto sob condições de campo (Topp & Davis, 1985; Zegelin *et al.*, 1989). A técnica do TDR permite que a medição da dinâmica da água no solo seja feita de maneira automatizada, uma vez que as medições podem ser feitas em tempo real, o que torna esta tecnologia extremamente importante para a realização de estudos de balanço de água no solo e para determinação da evapotranspiração (Baker & Allmaras, 1990; Heimovaara & Bouten, 1990; Herkelrath *et al.*, 1991).

De acordo com Reichardt (1985), o método do balanço hídrico no solo é satisfatório na determinação da evapotranspiração de culturas, visto que o mesmo contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas da planta.

saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas da planta.

Em estudos relacionados com as interações solo-planta, o conhecimento do movimento de água no perfil do solo, drenagem profunda, movimentos de poluentes e o ajuste da curva de retenção para determinar a função condutividade hidráulica do solo são parâmetros essenciais na elaboração do balanço hídrico (Vieira & Castro, 1987; Pauletto *et al.*, 1988).

Andrade *et al.* (1988), determinando os componentes do balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, cultivado com milho, com irrigação por aspersão, relacionando a ET_c com a ET_o , para o estabelecimento do coeficiente da cultura – K_c , concluíram que a técnica de separação dos fluxos de ET_c e de drenagem profunda, utilizando perfis de umidade e potencial total de água no solo, mostrou-se confiável nos períodos de déficit hídrico, falhando nos períodos chuvosos, quando ocorre aumento no armazenamento de água no solo.

Villagra *et al.* (1995), analisando os efeitos da variabilidade da água armazenada no solo, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica e densidade de fluxos de água no solo, no cálculo da evapotranspiração, pelo BHS, verificaram o seguinte: a) a variabilidade desses parâmetros confere um coeficiente de variação na ordem de 40% no cálculo da evapotranspiração da cultura; b) os métodos aerodinâmicos e empíricos mostraram-se mais eficientes nas estimativas de evapotranspiração em áreas com grande variabilidade das características hidráulicas do solo; c) as medições tensiométricas oferecem melhores estimativas da condutividade hidráulica do solo do que a sonda de neutrons. Por outro lado, Plauborg (1995), quando comparou a evapotranspiração diária, utilizando sonda de neutrons e microlisímetros, observou que este último não se aplica para períodos com alta precipitação e que a evaporação do solo é fator muito importante no cálculo do BHS, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde ocorre grande perda de água por evaporação.

Mastrorilli *et al.* (1998), determinando a evapotranspiração das culturas de sorgo e milho, em escala diária, utilizando as técnicas do BERB e do BHS, em que o conteúdo de água no solo foi determinado gravimetricamente e por de TDR, concluíram que o método do BERB pode ser usado como referência, pois oferece medições contínuas e precisas da evapotranspiração da cultura.

2.3.1 - Irrigação

O uso eficiente da água na irrigação está se tornando cada vez mais necessário, face à escassez dos recursos hídricos e ao elevado custo dos insumos, o que torna imperativa a utilização de uma metodologia apropriada para a administração da irrigação.

Na elaboração e operacionalização de um projeto de irrigação, um dos fatores de maior importância é a quantificação precisa do volume de água necessário ao desenvolvimento adequado das culturas. Mas, por outro lado, é necessário que a água aplicada seja eficientemente armazenada no solo, o que é função da capacidade de retenção de água do solo, do nível de água disponível no solo, do volume de solo molhado na profundidade efetiva da raiz, das características hidráulicas do sistema de irrigação e do tempo de irrigação.

Rawlins (1973) menciona que o ciclo tradicional da irrigação consiste de um breve período de infiltração seguido por um longo período de extração de água pela cultura, como acontece nos sistemas de irrigação por superfície e por aspersão, cujo contraste econômico minimiza o número de irrigações, aumentando o tempo entre elas. Isto condiciona a aplicação de lâminas de água de irrigação relativamente altas, resultando em perdas excessivas de água por percolação profunda. Diante disto, pesquisas têm sido direcionadas no sentido de maximizar o armazenamento de água no perfil do solo e aumentar a sua eficiência de uso, o que pode ser conseguido com a redução do intervalo de tempo entre duas irrigações consecutivas, implicando na elevação da frequência de irrigação. Os sistemas de irrigação localizada foram desenvolvidos para atender a estas particularidades.

Quando a frequência de irrigação aumenta, o período de infiltração torna-se a parte mais importante do ciclo de irrigação. Mudanças no ciclo de irrigação de um processo dominado pela extração de água para um processo dominado pela infiltração traz consigo um conjunto de leis que governam o fluxo de água no solo, que freqüentemente não eram aplicadas no processo anterior. Como consequência, o critério usado para o manejo da irrigação também necessita ser ajustado (Rawlins, 1973).

O regime de fluxo durante o processo de infiltração e a distribuição de água no perfil do solo dependem da intensidade de aplicação (I_a) do sistema de irrigação. Ou seja, $I_a = K(\theta)$, em que K é condutividade hidráulica não-saturada do solo, que é função do seu conteúdo

volumétrico de água (θ). Este parâmetro pode apresentar-se altamente variável, principalmente na profundidade efetiva da raiz, devido à extração de água pelas plantas, mas pode permanecer constante abaixo desta zona. Esta relação é verdadeira quando a relação (R) entre a intensidade de aplicação média e a intensidade de aplicação do emissor (I_e) é menor que a condutividade hidráulica do solo, o que seria de uma importância agrônômica considerável (Rawlins, 1973).

Com base nos resultados disponíveis na literatura, referentes à relação entre a condutividade hidráulica (K) e o conteúdo volumétrico de água no solo (θ), para vários tipos de solos, Zur (1976) estimou que a intensidade de aplicação deveria oscilar entre 0,5 e 2,0 mm.h⁻¹, no sentido de encontrar uma relação água-solo-planta ótima. Como os emissores disponíveis no mercado proporcionam intensidades de aplicação médias da ordem de 3 a 5 mm.h⁻¹, devido a limitações técnicas concernentes à vazão e pressão de operação, Rubin & Steinhardt (1964) adotaram o princípio do pulso ou da intermitência da irrigação, visando obter-se a intensidade de aplicação desejada.

É postulado que o fluxo de água no solo sob condições de irrigação intermitente é análogo ao fenômeno de propagação de ondas em um meio resistente. O pulso de água que alcança a superfície do solo é esperado resultar em fluxos de água periódicos, movendo-se para baixo através do perfil do solo. A amplitude destas ondas tenderia a aumentar com a profundidade, de modo que a partir de uma profundidade limite, o comportamento periódico de fluxo tenderia a desaparecer. O resultado final seria um fluxo essencialmente constante, abaixo desta profundidade limite, que se igualaria à intensidade de aplicação média (Zur, 1976).

Se a prática de estresse hídrico zero ou mínimo for adotada, um elevado conteúdo de água no solo deve ser mantido entre duas irrigações consecutivas, resultando em uma ampliação do período de perda de água e de nutrientes por percolação. Se estas perdas são para ser evitadas ou minimizadas, enquanto a mesma favorabilidade do conteúdo de água no solo é para ser mantida, é essencial conhecer os efeitos das técnicas de manejo de água realizada de maneira contínua ou intermitente, em relação ao consumo de água da cultura da videira e as perdas de água por percolação profunda, em função da lâmina de água aplicada em cada irrigação, entre outros efeitos.

Levin *et al.* (1979) constataram perdas de água da ordem de 26 % abaixo de 60 cm de profundidade, quando optaram pelo tempo contínuo de irrigação, utilizando emissores com vazão de 2, 4 e 8 L.h⁻¹ em comparação ao uso de emissores com vazão de 1 L.h⁻¹ sob aplicação contínua e de 2 L.h⁻¹ sob intermitência do tempo de irrigação, que resultou em perdas de apenas 12 % sem afetar a distribuição horizontal de umidade no perfil do solo.

O termo pulso ou intermitência da irrigação é definido como uma série de períodos cíclicos de irrigação, em que cada ciclo compreende duas fases: 1) fase de operação do sistema de irrigação propriamente dita; 2) fase de repouso, durante a qual o sistema fica parado. Isto significa que na primeira fase, a intensidade de aplicação é relativamente alta; entretanto, no conjunto das duas fases, a intensidade de aplicação média torna-se relativamente baixa. Portanto, a irrigação intermitente pode ser explicada e caracterizada, em termos de quantidade de água aplicada ao solo, em função do tempo total de irrigação.

Segundo Karmeli & Peri (1974), as variáveis da irrigação intermitente são as seguintes: tempo real de irrigação (t_i) de um único pulso; tempo em que o sistema permanece parado ou tempo de repouso (t_r) de um único pulso; tempo total de um único pulso ($t_p = t_i + t_r$); número de pulsos ou de ciclos (n), sendo que o último ciclo consiste apenas da fase de funcionamento do sistema de irrigação; e taxa de pulsação, que é a relação (p) obtida entre o tempo real de irrigação e o tempo total de um único pulso, dado por $p = t_i/t_p$.

A equação proposta por Karmeli & Peri (1974) para se determinar o tempo total de irrigação é válida para projetos de irrigação localizada com apenas uma subunidade de rega por subárea. Neste caso, tanto a taxa de pulsação quanto o tempo de repouso tornam-se arbitrários. Porém, no Nordeste do Brasil, os projetos são constituídos por subáreas com duas a quatro subunidades de rega alimentadas por uma mesma tubulação terciária. Desse modo, além do número de ciclos adotado, os tempos de repouso, pulso, total e real de irrigação, também são função do número de subunidades (m) de rega por subárea.

Portanto, o número de subáreas por subunidade de rega é o que define o tempo de repouso, excluindo a arbitrariedade imposta pela metodologia proposta por Karmeli & Peri (1974).

2.3.2 - Fluxo de Água no Solo Não-Saturado

Segundo Richards (1931), a equação descrita por Darcy-Buckingham é altamente dependente da umidade do solo. Isto significa que as variações de umidade que ocorrem durante o fluxo de água no solo envolvem funções complexas entre as variáveis potencial total e condutividade hidráulica, que, por sua vez, pode ser afetada pela histerese. Este fenômeno é resultante dos efeitos da geometria irregular dos poros, formação de bolhas de ar na matriz do solo, características de expansão e coesão do solo e diferença do ângulo de contato durante os processos de umedecimento e secamento do solo (Vanclooster *et al.*, 1994 e Jury *et al.*, 1991, citados por Libardi, 1995).

Enfield & Yates (1990), citados por Costa (1998), afirmaram que na maioria dos casos, a lei de Darcy-Buckingham é aplicada assumindo-se uma função única para descrever a curva de retenção de água no solo, negligenciando-se os efeitos da histerese. Por outro lado, a condutividade hidráulica, que é uma propriedade hidrodinâmica do solo, depende da complexidade da estrutura do solo, que, por sua vez, exerce influência na formação da geometria do espaço poroso do solo, tais como a distribuição e forma do tamanho dos poros, tortuosidade dos capilares, porosidade e superfície específica das partículas. Mas, também depende das características do fluido, tais como: massa específica e viscosidade dinâmica (Libardi, 1995 e Martinez, 1989, citado por Costa, 1998).

A diferença mais importante na descrição do movimento de água em condições saturadas ou não, está na condutividade hidráulica. Quando o solo encontra-se saturado, seu conteúdo de água aproxima-se de sua porosidade total, condicionando a obtenção de um valor máximo de condutividade hidráulica (K_0). Mas à medida que a umidade do solo diminui, os poros de maior tamanho vão se esvaziando, o que implica em um decréscimo acentuado da condutividade, que geralmente é de forma exponencial (Libardi, 1995).

Os modelos matemáticos desenvolvidos com base na equação de Richards (1931) requerem o conhecimento de parâmetros físico-hídricos do solo, que são difíceis de serem determinados, incluindo a retenção de água e a condutividade hidráulica do solo não-saturado. Em decorrência disso, estes parâmetros são estimados a partir de funções contínuas que descrevem as relações $\theta(h)$ e $K(h)$.

Para os casos de escoamento não-permanente, as equações diferenciais que governam o processo de transporte na zona não-saturada são do tipo tempo dependentes e não-lineares.

Neste caso, a solução da equação do transporte de água depende dos valores de condutividade hidráulica e da capacidade hídrica específica ou da difusividade, que, por sua vez, são função do potencial matricial ou da umidade do solo (Costa, 1998).

2.3.3 – Retenção de Água no Solo

A principal dificuldade de utilização dos modelos de simulação do transporte de água no solo, sob condições de não-saturação, é a determinação das funções de condutividade hidráulica do solo não-saturado e da capacidade hídrica específica ou da difusividade do solo. Tais funções variam com o teor de umidade do solo no espaço e tempo. Em geral, essas funções são obtidas a partir de modelos empíricos que relacionam a umidade do solo com a tensão capilar ou potencial matricial de água no solo.

Estudos realizados por Nielsen *et al.* (1973) e Cameron (1978), citados por Hutson & Cass (1987), indicam que muitas medições são requeridas no sentido de se obter estimativas reais, tanto da retenção de água quanto da condutividade hidráulica do solo. Existem muitos modelos propostos para modelagem dessas funções hídricas, porém negligenciando-se nesses modelos, os efeitos da histerese, difusão de vapor, expansão e coesão do solo, temperatura e concentração de solutos. Por essas razões, é freqüentemente aceitável estimar-se as relações de retenção de água do solo e de condutividade hidráulica, assegurando que as características predominantes no perfil do solo são refletidas nas estimativas dos dados. Para propósitos práticos, as equações de retenção de água não deveriam ter mais que duas ou três constantes, senão se tornam muito difícil relacioná-las com as propriedades do solo (Hutson & Cass, 1987).

Felton & Nieber (1991), analisando a aplicabilidade da modelagem numérica nas equações que representam a curva característica de retenção de umidade, propostas por Campbell, Verma & Brutsaert, van Genuchten & Huston e Cass, para uma mistura de silte e areia, concluíram que os valores estimados por meio das equações de van Genuchten e de Verma & Brutsaert subestimaram os dados observados no intervalo próximo à saturação, mas apresentaram, no geral, uma melhor aproximação aos dados observados. O erro médio do

modelo de van Genuchten é de uma subestimação de 2%, enquanto que o de Verma & Brustsaert é de uma superestimação de 6%. Quando analisaram o erro padrão da média para a estimação da saturação efetiva (S_e), observaram que os modelos de van Genuchten e de Hutson & Cass apresentaram valores marcadamente menores para saturação efetiva, em comparação com as equações de Campbell e de Verma & Brustsaert. Como a equação de van Genuchten apresenta valores ligeiramente menores para S_e , que a de Hutson & Cass, isto implica que o modelo de van Genuchten apresenta um melhor ajuste para curva de retenção de uma mistura de silte-areia para um intervalo de pressão matricial entre 0 e 200 cm de coluna de água ou de 0 a 1,94 kPa.

Vários modelos têm sido desenvolvidos para descrever o efeito da histerese na curva de retenção de água do solo (Abenney-Mickson *et al.*, 1997). Aproximações teóricas têm levado ao desenvolvimento de modelos baseados no domínio teórico da histerese capilar, como os de Mualem (1974, 1984). Embora o domínio teórico tenha aplicabilidade para um grande intervalo de tipos de solos, não é fácil aplicá-lo nos modelos existentes de balanço de água, porque muitos dados são requeridos para a obtenção de boa precisão (Ibrahim e Brustsaert, 1968 e Javes, 1992, citados por Abenney-Mickson *et al.*, 1997).

Zhang & van Genuchten (1994) mencionam, também, que um grande número de funções analíticas tem sido desenvolvido com base na retenção de água no solo; porém, poucas são facilmente incorporadas aos modelos que predizem o tamanho dos poros, tais como os de Mualem (1976, 1984), para se obter uma expressão analítica simples referente à condutividade hidráulica não-saturada. Segundo Othmer *et al.* (1991) e Durner (1992), citados por Zhang & van Genuchten (1994), quase todos os modelos que estão sendo usados têm a forma de S e podem fracassar numa caracterização adequada das curvas de retenção de solos que têm distribuição multi-modal de poros Bouman (1981, 1984) e Ross & Smettem (1993), citados por Zhang & van Genuchten (1994), mencionaram que a natureza bimodal de muitos sistemas de poros é muito importante na predição de funções hidráulicas do solo. Nieber (1979), citado por Felton & Nieber (1991), constatou em testes de laboratório por exemplo, que o conteúdo de água variou com a densidade global.

Poliseli & Prevedello (1999) analisaram o desempenho de um modelo numérico para prever a variação da umidade e do potencial matricial no tempo e no espaço, utilizando dois

tipos de solos distintos, sendo um areia marinha e outro Latossolo Vermelho-Amarelo. Estes autores constataram que os valores estimados pelo modelo proposto não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, em relação aos valores medidos.

2.3.4 - Lisímetros

De um modo geral, os lisímetros enquadram-se dentro de duas categorias: **pesagem e drenagem**. Os lisímetros de pesagem têm sido desenvolvidos para medição direta da evapotranspiração das culturas, pelo balanço de massa de água, sendo apresentado em várias configurações (Ritchie & Burnett, 1968; Howell *et al.*, 1985; Schneider & Howell, 1991, citados por Martin *et al.*, 1994). Por outro lado, os lisímetros de drenagem são usados para medição indireta da evapotranspiração, por meio do balanço de volume (Howell *et al.*, 1991, citados por Rana & Katerji, 2000), bem como para coleta da água de drenagem para se determinar o movimento de agroquímicos, pelo perfil do solo (Reeder, 1986; Owens, 1987; Klocke *et al.*, 1991, todos citados por Martin *et al.*, 1994).

Estas duas categorias de lisímetros podem ser cheias usando a técnica de amostras de solo deformadas ou indeformadas. Os lisímetros que utilizam amostras de solo deformadas compreendem a remoção do solo do local de origem, camada por camada, que são recolocadas no lisímetro obedecendo à mesma ordem, procurando representar, o melhor possível, o estado original do solo. O lisímetro que utiliza amostras de solo não-deformadas requer uma técnica mais complicada e cara para remoção do solo, mantendo sua estrutura natural. Os lisímetros cheios com amostras deformadas de solo podem fornecer resultados que não representem a realidade. Porém, estes erros têm sido mais frequentemente encontrados em solos com estrutura bastante agregada e estratificada e, em menor frequência, em solos com textura arenosa ou argilo-arenosa (Schneider & Howell, 1991, citados por Martin *et al.*, 1994).

Martin *et al.* (1994), avaliando estratégias de manejo de nitrogênio e de lâminas de irrigação para minimizar a lixiviação de nitrato, no cultivo de milho em lisímetro de drenagem, constataram, durante dois anos consecutivos, que a drenagem sob condições convencionais era da ordem de 190 mm maior que na parcela teste, enquanto o nitrogênio lixiviado era da ordem de 170 kg.ha⁻¹. Mostraram, também, a utilidade do lisímetro de

drenagem na avaliação de estratégias de manejo de água e de fertilizantes nitrogenados, com respeito à drenagem e à lixiviação de nitrato nas áreas irrigadas.

Alguns estudos conduzidos em lisímetros, utilizando-se culturas com sistema radicular profundo, fracassaram na detecção de um valor limiar de estresse hídrico (Millar & Gardner, 1972; Proffitt *et al.*, 1985, citados por Berliner & Oosterhuis, 1987). Berliner & Oosterhuis (1987), realizando estudos visando à comparação da resposta ao estresse hídrico da cultura do trigo cultivado em lisímetro, em relação ao cultivado nas áreas circunvizinhas, constataram que os parâmetros mensurados (potencial hídrico da folha, resistência estomática, temperatura da copa e evapotranspiração) das plantas cultivadas nas áreas circunvizinhas revelaram sinais de estresse muito antes das plantas cultivadas em lisímetros, mas que nestes, a passagem da condição de planta não-estressada para estressada ocorreu de forma abrupta. Estes resultados foram decorrentes de anomalias na distribuição no conteúdo de água e do sistema radicular das plantas cultivadas em lisímetros (elevada densidade radicular na camada inferior a 60 cm de profundidade) em comparação àquelas cultivadas nas áreas circunvizinhas.

Rogowski & Jacoby (1977) desenvolveram estudos com base em microlisímetros instalados em diversos pontos de uma área cultivada, no sentido de obter um método prático de avaliação experimental da evapotranspiração real e das perdas por percolação, onde a predominância do sistema radicular estava a cerca de 30 cm de profundidade. Os resultados obtidos foram comparados com outros dois métodos, mostrando que não houve diferenças significativas quanto à determinação da evapotranspiração. Constataram, também, que as perdas acumuladas de água por percolação apresentaram uma alta correlação com a raiz quadrada do tempo.

Van Rooyen (1980), citado por Evans *et al.* (1993), determinou por meio de lisímetro de drenagem, na África do Sul, que o requerimento de água da videira variedade *Waltham Cross* era da ordem de 226 mm.ano^{-1} , mas reconheceu que as plantas eram aparentemente subirrigadas em relação a uma condição de máxima evapotranspiração real. Prior & Grieve (1987), citados por Evans *et al.* (1993) também determinaram por meio de lisímetro, na Austrália, que o requerimento de água da *Vitis vinifera* variedade *Sultana* variava entre 700 e 800 mm.ano^{-1} .

2.3.5 - Variabilidade da tensão e do conteúdo de água no solo

A variabilidade da tensão (h) e do conteúdo de água (θ) no solo tem-se destacado como um grande obstáculo para o manejo de água, uma vez que demanda a estimativa real do “status” da água e das propriedades hidráulicas do solo. A variabilidade da umidade no solo tem sido estudada desde o início dos anos 50, quando os tensiômetros e a sonda de neutrons tornaram-se disponíveis para medição rápida da tensão de água em amostra de solo não destrutiva (Richards, 1965, citado por Hendrickx *et al.*, 1990), assim como do conteúdo de água (Gardner, 1965, também citado por Hendrickx *et al.*, 1990). O avanço computacional alcançado nos anos 70, aliado à aplicação da geoestatística em física de solo, estimulou o desenvolvimento de pesquisas relativas à variabilidade da umidade do solo (Hendrickx *et al.*, 1990).

Taylor (1955) foi o primeiro a avaliar dados de tensão e de conteúdo de água no solo a partir de dados de campo e chamar a atenção da variabilidade dessas medições, tendo concluído que a grande variabilidade da umidade em condições de campo não era causada pela calibração ou erro instrumental, mas sim pelas variações espaciais da umidade no solo. Essa conclusão foi confirmada por Webster (1966), citado por Hendrickx *et al.* (1990), medindo a tensão de água no solo, por meio de tensiômetros. Vauclin *et al.* (1984), fazendo medições do conteúdo de água no solo, utilizando sonda de neutrons, constataram que o erro local era frequentemente mais importante que os erros devidos ao instrumento ou à calibração.

De acordo Hendrickx *et al.* (1990), a variabilidade da umidade do solo depende do volume da amostra e do tamanho da área amostrada. Hawley *et al.* (1982) observaram um decréscimo no desvio padrão do conteúdo de água no solo, à medida que o volume de solo amostrado aumentava. Hendrickx & Nieber (1985), citados por Hendrickx *et al.* (1990), obtiveram uma redução do desvio padrão relativa à tensão de água no solo, quando se aumentava o tamanho da cápsula do tensiômetro. Keisling *et al.* (1977) constataram que a restrição da amostragem de solo dentro de um mesmo horizonte morfológico reduziu o desvio padrão da condutividade hidráulica saturada. Contudo, Hendrickx *et al.* (1990) afirmam que mesmo dentro de uma área relativamente homogênea, as propriedades do solo podem ser bastante variáveis.

Webster (1966), citado por Hendrickx *et al.* (1990), obteve valores do coeficiente de variação oscilando entre 11 e 26 % para a tensão de água no solo expressa com pF ($\log_{10} h$), referente a 30 tensiômetros instalados a 0,38 m, em um solo gramado. Saddiq *et al.* (1985), utilizando 99 tensiômetros instalados a 0,30 m de profundidade em uma área cultivada com pimenta chilena, sob irrigação por gotejamento, verificaram que o coeficiente de variação da tensão da água no solo oscilou entre 16 e 95 %. Nielsen *et al.* (1973) reportaram coeficientes de variação referentes ao conteúdo de água no solo, da ordem de 11 % sob uma tensão de 0 kPa e de 24 % para -20 kPa.

Hendrickx *et al.* (1990), analisando os resultados obtidos por Nielsen *et al.* (1973), verificaram que o desvio padrão do conteúdo de água no solo tendeu a crescer com o aumento da tensão. Resultados similares foram confirmados por Yeh *et al.* (1985), com base em dados obtidos em uma área cultivada com alfafa, assumindo uma relação linear entre a tensão e o conteúdo de água no solo. No entanto, resultados contraditórios foram determinados por Hawley *et al.* (1982), afirmando que o desvio padrão aumenta quando o solo torna-se mais úmido.

Hendrickx *et al.* (1990), realizando um estudo detalhado compreendendo a tensão e o conteúdo de água no solo, concluíram que o aumento dos desvios padrões do conteúdo de água e da tensão de água num solo relativamente úmido foi concordante com os resultados experimentais obtidos por Nielsen *et al.* (1973) e por Yeh *et al.* (1985). Hendrickx *et al.* (1990) afirmam que as razões dessas concordâncias foram atribuídas à expressão dos respectivos resultados em base úmida, enquanto que as discordâncias foram decorrentes da expressão dos dados em base seca. Hendrickx *et al.* (1990) afirmaram que até aquele momento não havia dados experimentais ou resultados teóricos disponíveis para assegurar o comportamento da tensão de água em um solo seco com uma tensão média de mais que 80 kPa.

2.4 - Evapotranspiração de Referência

Algumas pesquisas têm atentado para melhorar a estimativa da ETo para diferentes locais utilizando de dados experimentais e de estudos disponíveis. Lamentavelmente, muitos destes estudos mostraram deficiências na aplicação da metodologia proposta pelo manual 24

da FAO, em vários locais do mundo, pelas seguintes razões: a) dificuldade para se calcular a ETo para uma cultura de referência - grama (padronização da variedade e das características morfológicas e manejo para diferentes condições climáticas); alfafa (problemas semelhantes aos da grama que dificultam a sua repetição em outros locais); b) problemas concernentes às medições em lisímetros e de dados climatológicos; c) a combinação da equação de Penman adotada pela Food and Agriculture organization (FAO - 24), que apesar da sua simplicidade, tende a superestimar as medições de ETo; d) outras equações, como por exemplo, a FAO-Penman, têm mostrado menores desvios em relação à ETo de referência da grama.

As Nações Unidas e a FAO adotaram por mais de uma década o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) proposta por Doorenbos & Pruitt (1977). Allen *et al.* (1989), comparando as estimativas de ETo obtidas pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith, com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que mais se ajustou às medições diárias e mensais e que a alfafa se ajustava melhor do que a grama como cultura de referência na estimativa de ETo, visto que a altura e a rugosidade da mesma se aproximam mais da maioria das culturas.

A calibração da equação de Penman provocou vários problemas na definição da cultura de referência. Alguns pesquisadores têm argumentado que as variedades de grama e suas características morfológicas não são padronizadas para diferentes condições climáticas e a alfafa apresenta problemas de variedade e manejo (Allen *et al.*, 1994a). Reconhecendo a necessidade de se padronizar um único método para representar e definir a ETo, em 1990 a FAO e a ICID (International Commission on Irrigation and Drainage) reuniram uma comissão de especialistas para redefinir o conceito e apresentar uma nova metodologia de cálculo da evapotranspiração de referência. Como resultado dessas discussões, foram introduzidos na formulação anterior os valores de 70 s.m^{-1} , 23 % e 12 cm para resistência estomática, albedo e altura da grama, respectivamente. Determinaram a grama como cultura de referência e o método de Penman-Monteith como o mais adequado para se determinar a ETo. Essa cultura foi escolhida porque suas características são melhor definidas, são facilmente adaptadas e disponíveis para validação de novos modelos (Allen *et al.*, 1994 b).

Chiew *et al.* (1995), ao determinarem a ETo para 16 estações climatológicas da Austrália, utilizando os métodos de Doorenbos & Pruitt (1977) e de Penman-Monteith,

observaram que o método de Doorenbos & Pruitt (1977) superestima em 20-40% a ETo obtida pelo método de Penman-Monteith.

Por outro lado, Ortega-Farias *et al.* (1995) verificaram que os valores de ETo obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen subestimam os obtidos pelo método de Penman-Monteith. Michalopoulou & Papaioannou (1991), determinando a ETo para 31 localidades da Grécia, com base nos métodos de Penman, Priestley-Taylor e Thornthwaite, constataram que os modelos de Priestley-Taylor e de Thornthwaite sempre subestimam os valores mensais previstos pelo método de Penman-Monteith.

Smith *et al.* (1996), revisando a metodologia de estimativa das necessidades hídricas de culturas, proposta pela FAO, reconheceram a equação de Penman-Monteith como método padrão para determinação da evapotranspiração de culturas e da evapotranspiração de referência. E que a mudança da definição de ETo, proposta por Allen *et al.* (1994a), para uma cultura hipotética com parâmetros fixos facilita a calibração de coeficientes de cultura.

Assim, o método de Penman-Monteith – FAO é mantido como o único método padrão para determinação da ETo, a partir de dados meteorológicos. Os procedimentos de cálculos para determinação da ETo, a partir de dados meteorológicos, podem ser aplicados para diferentes períodos de tempo, destacando-se, dentre eles: a) períodos decenais ou mensais; b) períodos diários; c) períodos horários (Allen *et al.*, 1998). A ETo também pode ser estimada a partir da evaporação de superfícies de água, como a tanque de evaporação.

Quando se utilizam dados de evaporação, deve-se usar coeficientes específicos para cada tipo de tanque. No caso do tanque classe A, que se destaca como um dos mais usados na região Nordeste do Brasil, o coeficiente de tanque pode ser obtido por meio de tabelas ou de regressão apropriada para cada condição de fetch.

2.5 - Coeficiente de Cultura

O coeficiente de cultura (K_c) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (E_{Tc}), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (ETo). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento

hídrico, necessário tanto para o dimensionamento de sistemas de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados (Mohan & Arumugam, 1994; Clark *et al.*, 1996).

Muitos dos efeitos das condições climáticas são incorporadas na estimativa da ETo. Portanto, como a ETo representa o índice de demanda climática, Kc varia predominantemente com as características da cultura e apenas com uma extensão limitada do clima. A ETo é definida e calculada usando a equação de Penman-Monteith, enquanto que o Kc é basicamente a relação entre a ETc da cultura considerada e a da cultura hipotética de referência e representa uma integração dos efeitos de quatro características primárias que distinguem uma cultura específica da de referência, tais como: altura, albedo, propriedades aerodinâmicas e da folha e evaporação do solo (Allen *et al.*, 1998).

Espécies que possuem estômatos apenas na face dorsal da folha, como a videira ou folhas com grande resistência, terão valores de Kc relativamente menores. Culturas esparsas que cobrem apenas 70% da superfície do solo e que se cultivadas sem cobertura do solo, também resulta em valores de Kc inferiores à unidade. Variações aerodinâmicas do vento alteram as resistências das culturas e os seus coeficientes de cultura, especialmente daquelas cujas alturas são substancialmente maiores que a da grama hipotética. Deste modo, para muitas culturas, o valor de Kc aumenta quando a velocidade do vento aumenta e a umidade relativa do ar diminui (Allen *et al.*, 1998).

Sob condições semi-áridas, o efeito da diferença na resistência aerodinâmica entre a cultura de referência e uma cultura específica, torna a ETc mais pronunciada, porque a diferença entre as pressões de saturação e atual de vapor ($e_s - e_a$) pode ser relativamente grande, o que implica na obtenção de valores de Kc mais elevados, se a área foliar e a rugosidade da cultura considerada forem maiores que as da cultura de referência.

A diferença obtida entre a evaporação do solo mais a transpiração da cultura em relação à superfície de referência é integrada no coeficiente de cultura, Kc. Deste modo, para culturas que cobrem completamente a superfície do solo, o Kc reflete primariamente a diferença na transpiração da cultura quando a contribuição da evaporação do solo é relativamente pequena. No entanto, onde a superfície do solo é umedecida por longo período de tempo, por meio da irrigação ou chuva, o efeito da evaporação torna-se predominante, quando a cultura é pequena e a cobertura do solo é escassa, o que aumenta consideravelmente a evaporação e, como conseqüência, o valor de Kc pode exceder a unidade. Por outro lado,

onde a superfície do solo está seca, a evaporação torna-se restrita, o que implica na obtenção de valores de K_c tão baixos quanto 0,1 (Allen *et al.*, 1998).

A cobertura efetiva da superfície do solo para muitas culturas é alcançada por ocasião do estágio de pré-floração ou de floração. Para algumas culturas, especialmente aquelas com altura maior que 0,50 m, a cobertura efetiva do solo somente é alcançada quando 70 a 80 % da área de domínio da planta está coberta. Uma outra maneira de se estimar a obtenção de cobertura efetiva do solo é quando o índice de área foliar alcança 3 (Allen *et al.*, 1998).

Quando os efeitos de transpiração da planta e de evaporação do solo são determinados separadamente, tem-se o K_c duplo, que se constitui no coeficiente de cultura basal (K_{cb}), que descreve a transpiração da planta e o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e).

As maiores diferenças entre K_e e K_{cb} são encontradas nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta, onde a evapotranspiração é predominantemente na forma de evaporação, enquanto que a transpiração é ainda pequena. No entanto, à medida que a cultura cresce, cobrindo a superfície do solo, o valor de K_{cb} aumenta enquanto que o de K_e diminui, tendendo a zero. Os valores de $K_{c_inicial}$ e de K_{c_final} para árvores e arbustos deveriam refletir as condições prioritárias do solo, durante o estágio de emergência das folhas e de dormência ou de baixa atividade fotossintética, respectivamente. O $K_{c_inicial}$ depende do nível de cobertura do solo pelas ervas daninhas, frequência de umedecimento do solo, densidade de plantio e densidade de mulch. Por outro lado, plantas decíduas em pomares livres da ocorrência de geada, porém com existência de ervas daninhas, poderiam alcançar valores de K_c tão altos quanto 0,8 a 0,9 e tão baixos quanto 0,3 ou 0,4, quando o solo é mantido livre de ervas e a irrigação é infreqüente (Allen *et al.*, 1998).

Muitos valores de K_c são reportados na literatura de Doorenbos & Pruitt (1977) e Allen *et al.* (1998), que apresentaram valores de coeficientes de cultura para um grande número de culturas, usualmente derivados de estudos relativos ao balanço hídrico no solo, sob diferentes condições climáticas, os quais são comumente usados em locais onde estes parâmetros não são disponíveis. Contudo, Doorenbos & Pruitt (1977) enfatizaram a forte necessidade de calibração desses coeficientes, sob condições climáticas específicas.

Sammis *et al.* (1985) representaram curvas de coeficiente de cultura como função do parâmetro "Graus-Dias de Desenvolvimento (GDD)" a partir da emergência até a maturação

fisiológica, para determinar coeficientes de cultura, tendo encontrado uma boa concordância em relação às curvas bases.

Engel *et al.* (1989), citados por Mohan & Arumugam (1994), mencionam que o desenvolvimento de uma relação simplificada representando um coeficiente de cultura médio seria capaz de estimar rapidamente os valores de Kc a qualquer tempo durante o desenvolvimento da cultura. Abdulmumin & Misari (1990) também apresentaram curvas de Kc para várias culturas, usando lisímetros, tendo recomendado seu emprego para o trópico semi-árido do oeste da África.

Mohan e Arumugam (1994), testando modelos linear, polinomial e exponencial para determinação de valores de Kc médios em relação aos estádios fenológicos definidos de uma cultura, constataram que os modelos não lineares não representam os valores máximos de Kc. Verificaram, portanto, que somente os modelos lineares apresentaram-se adequados para o desenvolvimento de relações de coeficientes de cultura com respeito ao tempo (dias) para cada estádio de crescimento. O modelo linear consiste de quatro períodos obedecendo à forma de uma regressão linear de primeiro grau com elevados valores de R^2 e baixos valores de erro padrão.

Sepaskhah & Kashefipour (1995), comparando os valores de Kc obtidos para a cultura da lima doce sob irrigação por gotejamento, constataram que os valores de Kc para esta cultura, no período de junho-novembro, eram maiores que os reportados por Doorenbos e Kassam (1979) para outras variedades de citros, tendo o valor máximo de Kc para lima doce sido da ordem de 1,17, contra 0,75 para outras variedades de citros, obtido sob outros sistemas de irrigação. A obtenção de valores elevados de Kc para a lima doce pode ser atribuída aos efeitos de microadvecção da área seca que ocorre entre as fileiras de plantas, sob o sistema de irrigação por gotejamento (Sepaskhah & Kashefipour, 1995). Efeitos similares têm sido reportados por Ben-Asher & Sammis (1978) e Pruitt (1984), citados por Sepaskhah & Kashefipour (1995), para as culturas do limão e tomate, respectivamente.

Doorenbos & Pruitt (1977) apresentaram coeficientes de uso de água para a cultura da videira variedade *Concord* (*Vitis labrusca*), em relação à evapotranspiração da grama, os quais variaram de 0,35 a 0,90 para o período de abril a meados do verão, para áreas com inverno frio, baseados, primariamente, em resultados de umidade de solo determinados pelo método gravimétrico. James *et al.* (1982), citados por Evans *et al.* (1993) recomendaram, basicamente,

estes mesmos coeficientes para os parreirais de *Vitis labrusca* e *Vitis vinifera* localizados na região Sul-Central de Washington. Evans *et al.* (1990), citados por Evans *et al.* (1993), apresentaram coeficientes de cultura semanais, baseados no tanque classe A, para a região de Washington, que variaram de 0,03 no início da primavera a 0,62 na fase de maturação da uva.

Outros coeficientes, baseados na evaporação do tanque classe A, têm sido propostos por Van Rooyen (1980) e Van Zyl & Van Huyssteen (1988), citados por Evans *et al.* (1993).

Michelakis *et al.* (1996), estudando a influência de potenciais de água no solo na cultura da oliveira sob condições de irrigação, constataram que os valores dos coeficientes de cultura variaram: a) entre 0,40 e 0,65 para potenciais de água no solo na faixa entre -0,02 e -0,06 Mpa; b) entre 0,30 e 0,40 para potenciais na faixa de -1,00 a 1,50 Mpa; c) entre 0,05 e 0,20 para áreas não irrigadas, mas não obtiveram diferenças significativas para o sistema de irrigação por gotejamento, utilizando uma ou duas linhas laterais por fileira de plantas associadas ou não ao uso de microbacias por planta.

Clark *et al.* (1996), analisando o requerimento de água e o coeficiente de cultura para morango em lisímetros, sob irrigação por gotejamento, constataram que os valores de Kc mensais aumentaram linearmente de dois a seis meses após o transplante das mudas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Compreende uma descrição detalhada da área experimental, envolvendo a classe de solo, características climáticas, cultura estudada e suas peculiaridades e da infra-estrutura utilizada no estudo, tais como: sistema de irrigação com os respectivos equipamentos operacionais de automação, referentes ao manejo de água e de agroquímicos; lisimetria de drenagem com instrumentos com monitoramento automatizado da água drenada; instrumentação para o monitoramento do conteúdo de água no solo; instrumentação e sistemática de coleta de dados microclimático.

3.1.1 – Localização da Área Experimental

Este estudo foi conduzido no Campo Experimental de Bebedouro, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido), localizado no Perímetro Irrigado Bebedouro, Petrolina-PE (Latitude: 09^o 09' S, Longitude: 40^o 22' W; Altitude: 365 m), região do Submédio do Rio São Francisco.

As características climáticas obtidas com base em uma estação agrometeorológica instalada neste Campo Experimental são as seguintes: temperatura média de 26,5 °C, umidade relativa média de 67,8 %, precipitação média anual de 400 mm, insolação anual de 3.000 h,

evaporação média anual de 2.000 mm e a velocidade de vento de 2,3 m/s (Reedy e Amorim Neto, 1983).

O solo é classificado como Podzólico Amarelo Eutrófico latossólico com fragipã, textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, moderadamente drenado, com lençol freático a 1,80 m de profundidade. No Quadro 3.1 está representado um resumo das características morfológicas de uma das trincheiras feitas na área em estudo, por pesquisador da Embrapa Solos - UEP Recife.

A área experimental estava localizada dentro de uma área cultivada com videira *Festival* (*Vitis vinifera* L), com dimensões de 70 m x 70 m, circundada por outros parreirais. As plantas selecionadas para a realização do balanço de energia pela razão de Bowen estavam localizadas a 20 m de distância daquelas destinadas ao balanço hídrico, que se encontravam encerradas em doze lisímetros de drenagem, conforme esquematização na Figura 3.1.

As dimensões do lisímetro de drenagem eram de 2,00 m x 2,00 m x 1,20 m, cuja base foi construída em alvenaria e paredes com folhas de alumínio (Figura 3.2 inferior).

3.1.2. Cultura Estudada

Utilizou-se a cultura da videira (*Vitis vinifera* L), variedade *Festival* sem sementes, cujos cachos são geralmente cônicos com aproximadamente 300 g, bagas elípticas podendo alcançar até 23 mm de diâmetro com aplicação de reguladores de crescimento, coloração verde e textura crocante, com sabor especial, baixa fertilidade de gemas e com produtividade média anual de 20 t/ha, no Submédio São Francisco (Souza Leão, 2000). O pomar foi plantado em maio de 1999, no espaçamento de 4,00 m x 2,00 m e conduzido no sistema de latada.

O ciclo de produção da videira foi dividido em oito estádios fenológicos distintos, como segue: 1 – período de brotação (PB); 2 – desenvolvimento vegetativo (DV); 3 – pré e plena floração (PFF); 4 – primeira fase de crescimento do fruto (1^aFCF); 5 – parada de crescimento do fruto (PCF); 6 – segunda fase de crescimento do fruto (2^aFCF); 7 – maturação final do fruto (MFF); e 8 - repouso fenológico (RF).

Quadro 3.1. Descrição morfológica do solo (*) de uma das trincheiras abertas na área em estudo, Petrolina – PE.

Classe	Camada (cm)	Descrição
Ap	0 – 28	Bruno amarelo escuro (10YR 4/4/, úmido); franco-arenoso (-); fraco pequeno e médio blocos subangulares; macio, muito friável, não ligeiramente plástico e não ligeiramente pegajoso; transição clara ou abrupta e plana.
Bt ₁	29 - 60	Vermelho-amarelo (6YR 5/6, úmido); franco-argilosa (-); fraco médio blocos subangulares; duro a muito duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada (25 – 35 cm).
Bt ₂	61 – 110	Vermelho-amarelo (6YR 5/6, úmido); mosqueado pouco a comum, pequeno e médio, distinto vermelho (3,5 YR 4,5/6, úmido); franco-argilosa (-); fraco, médio, blocos subangulares; duro a muito duro, friável e firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e ondulada (40 – 60 cm).
Btx ₁	111 - 180	Bruno amarelo (10YR 5/6, úmido); mosqueado pouco a comum, pequeno e médio, proeminente vermelho-amarelo (4 YR 5/6, úmido); franco-argiloarenosa; fraco, médio, blocos subangulares; muito duro, friável e firme, plástico e pegajoso; transição gradual e ondulada (61 – 80 cm).
Btx ₂	181 - 220	Bruno amarelo (10YR 5/6, úmido); mosqueado pouco a comum, pequeno e médio, proeminente vermelho-amarelo (4 YR 5/6, úmido) e pouco a comum; pequeno e médio distinto cinzento claro (10 YR 7/2, úmido); franco argiloarenosa; fraco, médio, blocos subangulares; muito duro, friável e firme, plástico e pegajoso.

(*) Descrição feita pelo Dr. Antônio Cabral Cavalcanti, pesquisador da Embrapa Solos – UEP/Recife.



Fig. 3.1. Vista da localização das plantas selecionadas no parreiral, para o balanço de energia pela razão de Bowen e o balanço hídrico no solo.

3.1.3. Manejo de Água e de Agroquímicos

A irrigação foi conduzida em uma frequência diária, de segunda-feira a sábado, pelo sistema de irrigação por gotejamento, com emissores do tipo labirinto, estrudado na tubulação, com vazão média de $2,3 \text{ L.h}^{-1}$, espaçados de 0,50 m com uma linha lateral por fileira de plantas. O cabeçal de controle do sistema de irrigação era dotado de dois painéis eletrônicos programáveis, interligados a um sistema dotado de seis válvulas solenóides e seis válvulas hidráulicas e de sistema de filtragem de discos com limpeza automática, válvula mantenedora de pressão à jusante e de injetor hidráulico de fertilizantes. A intermitência do tempo de irrigação foi controlada automaticamente, por meio dos painéis eletrônicos. A lâmina de água aplicada em cada irrigação foi calculada com base na evaporação do tanque “classe A”, fator de cobertura do solo (F_{cs}) ou percentagem de área sombreada (Pas) e na uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação – UD, de conformidade com a seguinte equação:



Fig. 3.2. Detalhes da construção dos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.

$$L_b = \frac{K_p \cdot K_c \cdot F_{cs} \cdot E_t}{UD} \quad (3.1)$$

em que L_b é a lâmina bruta, em mm; $K_p=0,75$ é o coeficiente do tanque classe A; K_c é o coeficiente de cultura, adimensional; F_{cs} é o fator de cobertura do solo, em decimal; E_t é a evaporação do tanque classe A, mm; UD é a uniformidade de distribuição do sistema de irrigação, em decimal, obtido em teste de campo.

Na equação 3.1, considerou-se K_c e F_{cs} iguais a 1,0, visando proporcionar condições ótimas de umidade no perfil do solo, ao longo do ciclo de produção da videira. No entanto, para se obter a lâmina infiltrada no solo dividiu-se a lâmina bruta pela percentagem de área molhada proporcionada pelo sistema de irrigação, que era igual à área interna dos lisímetros ($3,92 \text{ m}^2$).

O fator de cobertura do solo ou percentagem de área sombreada ao longo do ciclo fenológico da videira foi obtido com base em uma regressão linear, na qual o Índice de Área Foliar (IAF) foi utilizado como variável independente. Para obtenção desta regressão, foram selecionadas duas plantas no estágio de repouso fenológico, cuja área foliar apresentava-se sadia e cobria completamente a superfície do solo e dividiu-se a sua área de domínio, $4,00 \text{ m} \times 2,00 \text{ m}$, em oito partes iguais de $1,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$. Em seguida, foram tomados pares de dados compreendendo $F_{cs} \times \text{IAF}$, obedecendo à seguinte ordem: a) leitura da planta com cobertura total; b) leitura da planta com as quadrículas 1, 2, 7 e 8 desfolhadas; c) leitura da planta com as quadrículas 1, 2, 3, 6, 7 e 8 desfolhadas; d) leitura da planta podada. O F_{cs} foi determinado por meio do programa SIARCS 3.0, desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente (EMBRAPA s.d.), utilizando fotografia digital de cada quadrícula, enquanto o IAF foi determinado para cada condição de cobertura foliar, usando-se o analisador de dossel modelo LI 2.000 (Licor, Inc.). Por ocasião do desfolhamento da planta, as folhas retiradas de cada quadrícula foram colocadas em sacos separados para determinação em laboratório das respectivas áreas foliares totais (AF), utilizando um medidor de área foliar modelo LI 3.100 (Licor, Inc.). Com base na paridade dos dados ($\text{IAF} \times \text{AF}$), ajustou-se também uma regressão linear, em que a AF foi usada como variável independente.

Por outro lado, o IAF foi monitorado ao longo do ciclo da videira, sendo que a primeira leitura foi tomada aos 10 dias após a poda (DAP) e, posteriormente, foi realizada uma vez por semana, durante a fase de desenvolvimento vegetativo. A partir da 1ªFCF as leituras passaram a ser feitas uma vez por quinzena. Com base nos pares de dados coletados ajustou-se uma regressão linear de 1º grau, tendo como variável independente o número de dias após a poda (DAP), para cada um dos dois ciclos fenológicos. Adotou-se o critério recomendado pela FAO (Allen *et al.*, 1998), que quando 70% da área de domínio da planta estivesse coberta, o F_{cs} seria considerado igual a 1.

Os manejos de nutrientes e de hormônios e demais tratamentos culturais foram feitos de acordo com as recomendações técnicas adotadas pela Embrapa Semi-Árido para esta cultura na região do Submédio São Francisco.

A uniformidade de distribuição de vazão - UD foi determinada em teste de campo para um conjunto de quatro emissores correspondentes a cada um dos doze lisímetros, utilizando-se a metodologia recomendada por Pinto *et al.* (1991).

3.1.4 - Delineamento

Este estudo compreendeu dois ciclos de cultivo consecutivos da videira conduzidos nos períodos de julho a novembro/2001 e de dezembro/2001 a março/2002, envolvendo o uso de duas metodologias para determinação do consumo hídrico da videira, como seguem:

Metodologia I: Balanço de energia pela razão de Bowen (BERB);

Metodologia II: Balanço hídrico no solo (BHS).

O balanço de energia compreendeu apenas um ponto localizado dentro da área experimental, enquanto o balanço hídrico foi obtido para quatro tratamentos envolvendo a intermitência do tempo de irrigação, num delineamento de blocos ao acaso com três repetições, como seguem:

A – um ciclo de intermitência do tempo de irrigação (Testemunha) – I-1;

B – dois ciclos de intermitência do tempo de irrigação – I-2;

C – três ciclos de intermitência do tempo de irrigação – I-3;

D – quatro ciclos de intermitência do tempo de irrigação – I-4.

Para o cálculo dos tempos de repouso e total de irrigação foi assumido que a subárea do sistema de irrigação era constituída por três subunidades de rega.

Cada parcela foi constituída por uma fileira com cinco plantas espaçadas de 4,00 m x 2,00 m, utilizando-se como área útil apenas as três plantas centrais plantadas nos lisímetros de drenagem.

3.1.5. Sistemática de Coleta de Dados e Instrumentação Utilizada

Os instrumentos utilizados na determinação dos componentes do balanço de energia pela razão de Bowen obedeceram ao seguinte esquema, utilizando uma torre micrometeorológica: a) Acima da copa da videira – foram instalados um saldo radiômetro modelo REBS para leitura do saldo de radiação; dois radiômetros, sendo um modelo LI200 e outro modelo Eppley para medição das radiações solar incidente (R_i) e refletida (R_r), respectivamente; dois psicrômetros constituídos por termopares de cobre-constantan instalados em dois níveis, 0,50 e 1,80 m acima do topo da copa da videira, para medida das temperaturas do ar em bulbos seco e úmido; um anemômetro de concha Young; b) Abaixo da latada da videira - foram instalados um saldo radiômetro modelo NR Lite (Kipp & Zonen); dois piranômetros modelo JE (ELTEC); três psicrômetros constituídos por termopares de cobre-constantan, instalados nos níveis de 0,30, 1,30 e 1,80 m acima da superfície do solo e abaixo da copa da videira; um anemômetro de concha Young e dois fluxímetros REBS ligados em série, instalados a 0,02 m de profundidade. As Figuras 3.3a e 3.3b mostram detalhes das instalações dos referidos instrumentos. Estes instrumentos foram conectados a dois dataloggers, modelos CR 10X e CR 23X (Campbell Scientific, Inc.) programados para ler os parâmetros micrometeorológicos a cada 5 segundos e armazenar médias a cada 15 minutos.

Os instrumentos utilizados para determinação dos parâmetros do balanço de água no solo compreenderam: a) Cabeçal de controle – constituído por um painel eletrônico com programação especial, destinado à automação dos tempos reais de irrigação e de repouso, bem como do volume de água aplicada em cada lisímetro. As Figuras 3.4 superior e inferior mostram detalhes dos equipamentos que constituem o cabeçal de controle; b) Tensiometria de mercúrio – TM - que compreendeu a instalação de doze baterias, sendo uma em cada lisímetro, constituídas de cinco tensiômetros nas profundidades de 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 e

1,00 m, instalados a uma distância de 0,30 m em relação à linha de emissores, visando o monitoramento do conteúdo de água armazenado no perfil do solo, cujas leituras foram feitas diariamente sempre às 09:00 e 15:00 h. As Figuras 3.5 superior e inferior mostram detalhes da instalação dos tensiômetros de mercúrio; c) Pluviômetros de básculas – foram instalados dois pluviômetros eletrônicos ou de básculas com capacidade para 0,1 mm para cada três lisímetros, que constituem um tratamento de intermitência de irrigação, os quais foram colocados num fosso coletor, também construído em alvenaria ao lado dos referidos lisímetros (Figura 3.6). As leituras acumuladas das basculadas eram realizadas a cada 15 minutos e média a cada 60 minutos, sob o comando de dois coletores de dados CR 23X (Campbell Scientific, Inc.), para o monitoramento do volume de água drenado em cada lisímetro.

Semanalmente, os dados coletados nos instrumentos eram transferidos para um módulo de armazenamento externo e, em seguida, para um microcomputador, onde eram processados de acordo com as metodologias propostas para avaliação de cada um dos parâmetros mensurados.

3.2. Metodologia

Compreendeu a determinação da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo da videira *Festival*, utilizando-se duas metodologias distintas, sendo uma denominada balanço de energia pela razão de Bowen (BERB) e outra balanço hídrico no solo (BHS).

3.2.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen – BERB

Normalmente, o balanço de energia é realizado em um volume controle de hipotético, localizado no centro de uma área vegetada, de modo a formar um sistema que interage com o ambiente externo. A energia que entra no volume de controle menos a energia que sai é igual à energia armazenada. Neste balanço, o saldo de radiação de ondas curtas (K^*) e o saldo de radiação de ondas longas (L^*) constituem a energia disponível no volume de controle único ou dividido em dois subvolumes distintos, sendo um relativo à copa e outro referente à superfície do solo (Figura 3.7).



Fig. 3.3. Detalhes das instalações dos instrumentos utilizados para medição dos parâmetros micrometeorológicos, Petrolina – PE.

Fig. 3.4. Detalhes dos equipamentos que compõem o cabeçal de controle, Petrolina – PE.

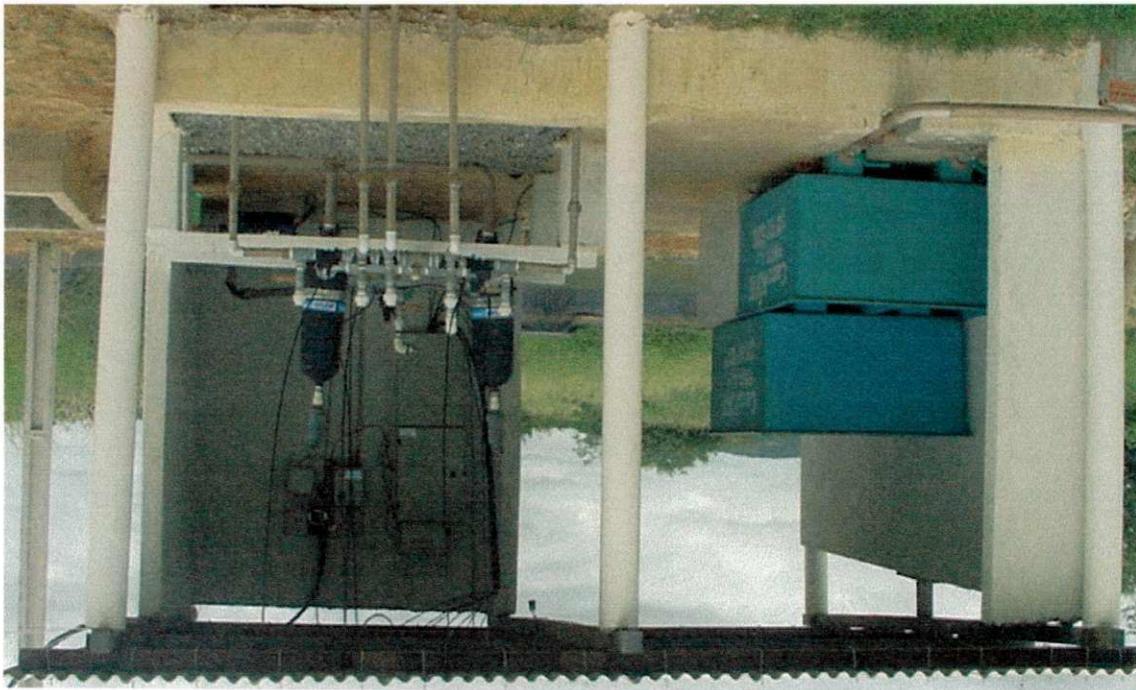
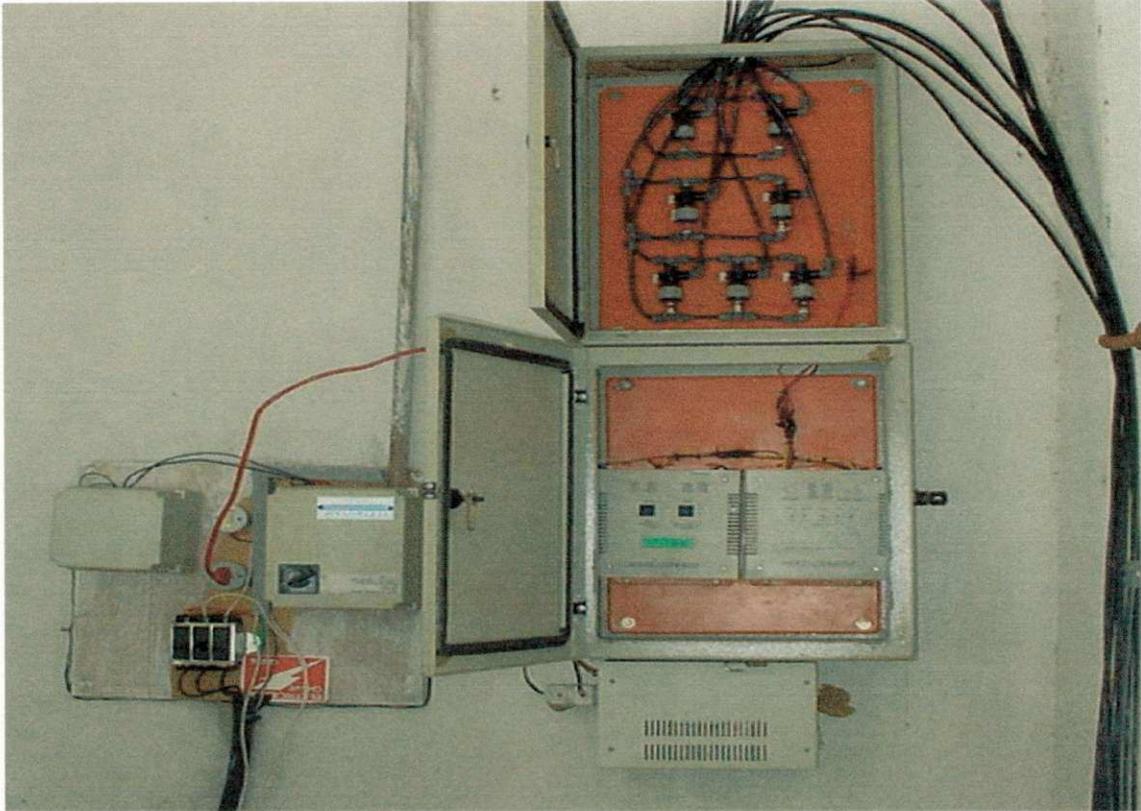




Fig. 3.5. Detalhes de instalação dos tensiômetros de mercúrio nos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.

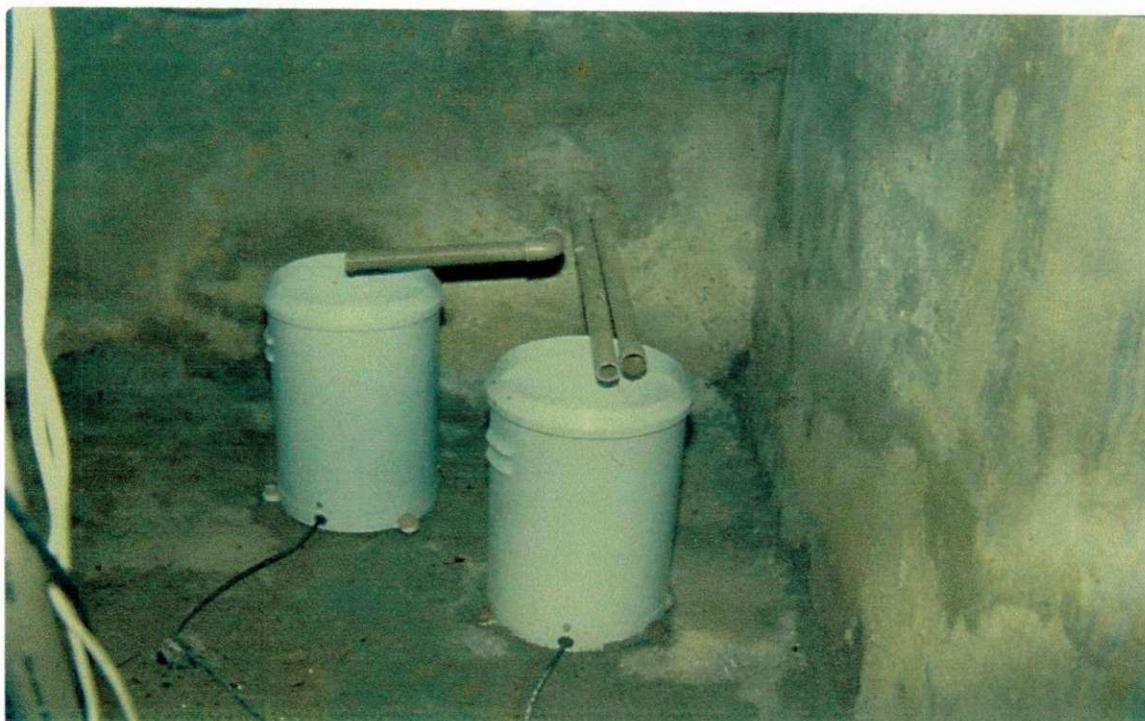


Fig. 3.6. Detalhes de instalação dos pluviômetros de básculas no fundo do fosso construído ao lado dos lisímetros de drenagem, Petrolina – PE.

Os fluxos advectivos podem ser considerados desprezíveis, quando as medições são realizadas próximas à superfície e no centro de uma área tampão, suficientemente grande, para que os gradientes horizontais de temperatura e de umidade sejam minimizados. Desse modo, o balanço de energia compreende os seguintes componentes:

$$R_n \pm LE \pm H \pm G \pm S \pm P \pm LE' \pm H' = 0 \quad (3.2)$$

em que R_n representa o saldo de radiação; LE é o fluxo vertical de calor latente de vaporização da água; H é o fluxo de calor sensível; G é o fluxo de calor no solo; S representa o fluxo associado à absorção de calor pela copa da planta; P corresponde à energia utilizada no processo de fotossíntese; LE' e H' representam, respectivamente, os fluxos advectivos de calor latente e de calor sensível. Todos os parâmetros foram expressos em $W.m^{-2}$.

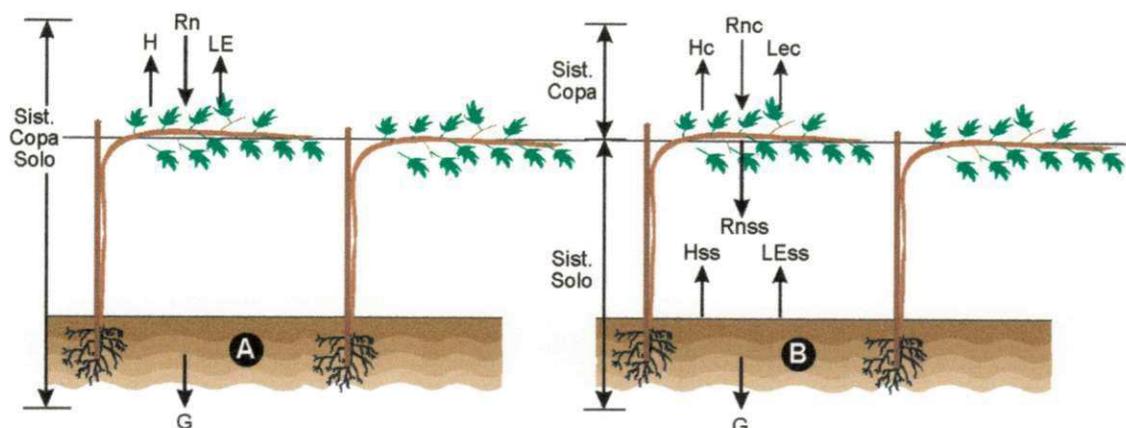


Fig. 3.7. Detalhamento dos componentes do balanço de energia pela razão de Bowen

Segundo Heilman *et al.* (1994), P varia entre 1 e 2 % do saldo de radiação, podendo ser desprezado, enquanto que S varia com a espécie vegetal, mas é ainda desconhecido, podendo também ser desprezado. Os fluxos de advecção de calor sensível (LE') e latente (H') devem ser mensurados, uma vez que podem influir de maneira significativa no balanço de energia de um volume de controle. No entanto, quando a área em estudo encontra-se localizada no centro de uma área cultivada ou pelo menos a uma distância 20 vezes a altura do instrumento mais elevado, os fluxos advectivos de calor latente e sensível podem ser desprezados e a equação do balanço de energia fica reduzida à seguinte forma:

$$Rn + LE + H + G = 0 \quad (3.3)$$

Na obtenção do balanço de energia, os fluxos de energia que entram no volume de controle são considerados positivos, enquanto os fluxos que saem deste volume são considerados negativos.

Há alguns anos, a eliminação parcial ou total de ervas daninhas nos parreirais era uma prática tradicionalmente usada pelos viticultores da região do Submédio São Francisco. No entanto, em decorrência do crescimento da demanda por produtos agrícolas de origem orgânica, vem sendo introduzida uma série de alterações no sistema de cultivo da videira. Ou seja, tem-se tornado comum consorciar-se a videira com culturas destinadas à adubação verde,

como é o caso da Crotalaria e sorgo granífero ou mesmo de outras espécies usadas de maneira isolada ou combinada. Esta condição vem demandando muitas informações, destacando-se, dentre elas, parâmetros relativos ao manejo de água.

Deste modo, visando a obtenção de informações que atendam a uma condição específica, adotaram-se três metodologias do balanço de energia com base na razão de Bowen, como seguem:

3.2.1.1. Balanço de Energia Clássico para o Sistema “Copa-Solo”

A esquematização da partição dos componentes do balanço de energia, considerando-se um único volume de controle, formado pelo volume compreendido entre a superfície do solo e a copa da videira, inclusive, é representada pela Figura 3.7A. A equação do BERB utilizada para atender a esta condição clássica é a própria equação 3.3.

Como o saldo radiômetro instalado acima da copa da videira era do modelo REBS, o saldo de radiação foi corrigido em função da velocidade do vento (V_2 , em m/s) registrada pelo anemômetro de conchas também instalado acima da copa, conforme recomendação do manual do fabricante do REBS, como segue:

Para valores positivos de R_n utilizou-se a seguinte equação:

$$R_{nc} = R_n (1 + (0,066 \times 0,2 \times V_2) / (0,066 + 0,2 \times V_2)) \quad (3.4)$$

Enquanto para valores negativos de R_n usou-se a seguinte equação:

$$R_{nc} = R_n (0,00174 \times V_2 + 0,99755) \quad (3.5)$$

3.2.1.2. Balanço de Energia Modificado para o Sistema “Copa”

A Figura 3.7B mostra a esquematização da partição dos componentes do balanço de energia, considerando-se dois subvolumes de controle, sendo um formado pelo espaço abaixo da copa da videira até a superfície do solo e o outro apenas pela copa da videira.

A equação do BERB utilizada para atender o sistema “copa” é dada por:

$$R_{nc} - R_{i_ab} + R_{r_ss} = 0 \Rightarrow R_{ncc} + L_{Ec} + H_c = 0 \quad (3.6)$$

em que R_{nc} é o saldo de radiação corrigido; R_{ncc} é o saldo de radiação acima da copa da videira; R_{i_ab} é a radiação solar incidente abaixo da copa da videira; R_{r_ss} é a radiação refletida pela superfície do solo; LE_c é o fluxo de calor latente da copa da videira e H_c é o fluxo de calor sensível da copa da videira, todos expressos em $W.m^{-2}$.

3.2.1.3. Balanço de Energia Clássico para o Sistema “Superfície do Solo”

A equação do BERB utilizada para atender o sistema “superfície do solo” é dada por:

$$R_{nss} + LE_{ss} + H_{ss} + G = 0 \quad (3.7)$$

em que R_{nss} é o saldo de radiação; LE_{ss} é fluxo de calor latente; H_{ss} é o fluxo de calor sensível e G é o fluxo de calor no solo, todos relativos ao subvolume compreendido entre a copa da videira e a superfície do solo, expressos em $W.m^{-2}$.

3.2.1.4 – Fluxo de Calor Latente - LE

A maior parte do saldo de radiação à superfície da Terra é usada no processo de evaporação da água da superfície do solo e de superfícies líquidas e da evapotranspiração de superfícies vegetadas.

Nestas superfícies, a maior parte da energia disponível é transferida para a atmosfera na forma de calor latente de vaporização. Quando o solo está nu, suas características físicas, tais como textura, porosidade, estrutura do solo, nível de água no solo, dentre outros fatores, controlam a taxa de evaporação, enquanto que em áreas vegetadas, estes fatores compreendem as espécies e variedades, características das folhas e altura das plantas que, associadas à disponibilidade de umidade no perfil do solo e às condições climáticas, controlam a perda de água para a atmosfera. Muitos métodos que estimam estes tipos de perdas de água são baseados nos métodos aerodinâmicos e nos métodos de balanço de energia.

Utilizou-se o método da razão de Bowen para se determinar, de maneira indireta, o fluxo de calor latente, como segue:

$$LE = \left(\frac{Rn - G}{1 + \beta} \right) \quad (3.8)$$

em que β é a razão de Bowen, adimensional.

LE representa a energia por unidade de área e por unidade de tempo, que pode ser transformada em unidade de lâmina de água evaporada ou evapotranspirada em um dado intervalo de tempo, dividindo-se LE pelo calor latente de vaporização (L) e multiplicando-se o resultado pelo intervalo de tempo correspondente ao período em que foram realizadas as medições correspondentes ao saldo de radiação, gradientes de temperatura (ΔT) e de vapor d'água (Δe) e do fluxo de calor no solo.

3.2.1.5. Fluxo de Calor Sensível - H

O fluxo de calor sensível corresponde ao transporte vertical de calor, em decorrência da turbulência da camada atmosférica próximo à superfície, o que concorre para um maior ou menor aquecimento e resfriamento tanto da superfície do solo quanto da atmosfera, que pode ser calculado por diferença com base na equação 3.3, ou seja:

$$Rn + LE + H = 0 \Rightarrow H = -(Rn + LE + G) \quad (3.9)$$

3.2.1.6. Razão de Bowen - β

A razão de Bowen (β) é definida pela razão entre os fluxos de calor sensível e latente (Bowen, 1926) obtida por:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \frac{-K_H \rho c_p (\delta\theta / \delta z)}{-K_w \rho L (\delta q / \delta z)} = \frac{c_p K_H \Delta\theta}{L K_w \Delta q} \quad (3.10)$$

Na ausência de advecção de calor sensível e em condições de neutralidade atmosférica, $K_h = K_w$, o que condiciona uma simplificação da equação 3.10, como segue:

$$\beta = \frac{c_p \Delta\theta}{L \Delta q} = \frac{c_p \cdot P \cdot \Delta T}{622 \cdot L \cdot \Delta e} = \frac{c_p \cdot P \cdot \Delta T}{622 \cdot (2501 - 2,3601 \cdot T_m) \Delta e} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.11)$$

em que $\Delta\theta$ é a diferença de temperatura potencial, aproximadamente igual à diferença de temperatura de bulbo seco entre dois níveis ($\Delta\theta = \Delta T_s - \Gamma \Delta Z = (T_{s2} - T_{s1}) - \Gamma (Z_2 - Z_1)$); Δq é a diferença de umidade específica entre dois níveis ($\Delta q = q_2 - q_1 = 0,662 (e_2 - e_1) / P = 0,662 \Delta e / P$); Γ é o lapse rate adiabático seco na atmosfera ($\Gamma = -0,01 \text{ } ^\circ\text{C/m}$); γ é o fator psicrométrico, em $\text{kPa}/^\circ\text{C}$.

Para corrigir os efeitos dos fluxos advectivos de calor sensível e de calor latente em relação ao volume de controle, Verma *et al.* (1978) propuseram a seguinte expressão:

$$\frac{K_h}{K_w} = 2,95 + 3,72 \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta e} \right) + 1,72 \left(\frac{\Delta T_s}{\Delta e} \right)^2 \quad (3.12)$$

Esta relação se aplica sempre que $-0,1 > \Delta T_s / \Delta e > -0,8$.

Substituindo a equação 3.12 na equação 3.11, obteve-se a razão de Bowen corrigida (β_c):

$$\beta_c = \gamma [2,95 + 3,72 (\Delta T_s / \Delta e) + 1,72 (\Delta T_s / \Delta e)^2] (\Delta T_s / \Delta e) \quad (3.13)$$

Mesmo com a adoção da metodologia proposta por Verma *et al.* (1978), para corrigir os efeitos advectivos no BERB, não isenta a equação 3.13 das restrições que ocorrem quando β aproxima-se de -1 , o que implica na obtenção de valores irrealis de LE. Deste modo, alguns pesquisadores têm proposto critérios adicionais para aceitação/rejeição de valores de β . Dentre estes, pode-se destacar o critério proposto por Unland *et al.* (1996), que recomendam a

exclusão dos dados coletados entre dois níveis, quando $|\Delta e| < 0,0005$ kPa e quando β se aproxima de -1 , especificamente para o intervalo $|1 + \beta| < 0,3$. Isto implica que os valores de LE e de H devem ser obtidos pela média entre os seus respectivos valores precedentes e procedentes ao intervalo considerado.

Diante disto, foi feita uma análise comparativa compreendendo quatro categorias de critérios de aceitação/rejeição da Razão de Bowen, utilizando a metodologia recomendada por Spano *et al.* (2000), como segue:

- a) M I – valores de β determinados pela equação 3.11, sem correção de efeitos advectivos;
- b) M II – valores de β determinados pela equação 3.13, com correções dos efeitos advectivos, recomendada por Verma *et al.* (1978);
- c) M III – exclusão dos valores de β obedecendo a um critério proposto Unland *et al.* (1996) aplicada aos resultados obtidos com base na equação 3.11;
- d) M IV – exclusão dos valores de β determinados com base em um critério único ($-0,7 < \beta < 0,7$) aplicado nos resultados determinados pela equação 3.11.

A metodologia proposta por Spano *et al.* (2000) determina o erro estatístico (ε) tendo como padrão a metodologia proposta por Verma *et al.* (1978), como segue:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (M_{III} - M_j)^2} \quad (3.14)$$

em que N é o número de observações e $J = I, III$ e IV.

Foi feita, também, uma análise da razão de Bowen utilizando valores de temperatura úmida estimada com base na temperatura do ar, saldo de radiação e velocidade do vento, apenas para os dados coletados acima da copa da videira, durante o 2º ciclo de cultivo para o período de 15 minutos ao longo de 24 horas. Os valores de temperatura úmida medidos e estimados também foram submetidos a uma análise comparativa com base na metodologia proposta por Spano *et al.* (2000).

3.2.1.7. Fluxo de Calor no Solo - G

As camadas superficiais do solo atuam como um reservatório de calor, absorvendo parte do excesso de calor ao longo do dia, enquanto durante a noite o calor armazenado é devolvido para o ambiente. Este armazenamento de calor favorece a diminuição da variação de temperatura ambiental, funcionando como um estabilizador térmico.

Este parâmetro foi determinado diretamente por meio de fluxímetros REBS instalados em série, na faixa molhada do solo, a 0,02 m de profundidade.

3.2.1.8. Relação entre a Energia Disponível e o Fluxo de Calor Latente

Foi determinada a relação entre a energia disponível $(R_{nc} - G)_{cor}$ e $(LE)_{cor}$ para o sistema “copa-solo”; entre $(R_{nc})_{cor}$ e $(LE)_{cor}$ para o sistema “copa” e entre $(R_{ns} - G)_{cor}$ e $(LE)_{cor}$ para o sistema “superfície do solo”, com base nas metodologias propostas por Field *et al.* (1992, citado por Crago & Brutsaert, 1996) e por Crago & Brutsaert (1996), que recomendam utilizar valores de R_n , LE e H maiores ou iguais a 9 W.m^{-2} .

3.2.1.9. Erros do Balanço de Energia pela Razão de Bowen - $\epsilon_r(LE)$

Os erros instrumentais do saldo radiômetro, fluxímetro e psicrômetro associados ao BERB podem ser obtidos utilizando-se a metodologia proposta por Fuchs & Tanner (1973), aprimorada por Angus & Watts (1984), em que o erro relativo do fluxo de calor latente $\epsilon_r(LE)$ é dado por:

$$\epsilon_r(LE) = \frac{\delta LE}{LE} = \frac{\delta R_n + \delta G}{R_n - G} + \frac{\delta \beta}{1 + \beta + \delta \beta} \quad (3.15)$$

em que $\delta LE/LE$ é o próprio erro relativo de LE ; δR_n e δG são os erros dos instrumentos usados para medir o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo, que são iguais a 0,04 e 0,20, respectivamente; $\delta \beta$ é o erro absoluto da razão de Bowen e β é a razão de Bowen.

O erro absoluto do fluxo de calor latente $\varepsilon_a(\text{LE})$ foi determinado multiplicando-se $\varepsilon_r(\text{LE})$ por LE, expresso em percentagem.

O erro relativo da razão de Bowen $\varepsilon_r(\beta)$, associado aos erros proporcionados pelos instrumentos utilizados nas medições das temperaturas em bulbo seco (T_s) e em bulbo úmido (T_u), também foi obtido por meio da metodologia proposta de Fuchs & Tanner (1970), aprimorada por Angus & Watts (1984), pela equação:

$$\varepsilon_a(\beta) = (1 + \beta) \left| \frac{\delta\Delta T_u}{\Delta T_u} + \frac{\delta\Delta T_s}{\Delta T_s} \right| \quad (3.16)$$

em que $\delta\Delta T_u$ e $\delta\Delta T_s$ correspondem aos erros prováveis relativos às medidas das temperaturas úmida e seca, respectivamente, que são considerados iguais a 0,05 e 0,02 °C, respectivamente.

O erro absoluto de $\varepsilon_a(\beta)$ foi determinado multiplicando-se $\varepsilon_r(\beta)$ por β , expresso em percentagem, enquanto o erro relativo ao balanço de energia pela razão de Bowen foi determinado com base na metodologia proposta por Trambouze *et al.* (1998), que leva em consideração as incertezas das medições da temperatura do ar, velocidade do vento, energia disponível e do deslocamento do plano zero, no intervalo de 15 minutos e ao longo do período em que R_n é positivo, como segue:

$$\tau_\varepsilon^2(ETc) = \left[\frac{\varepsilon_{r(\max)}(ETc)}{2} \bar{\varepsilon}_r(ETc) \right]^2 \quad (3.17)$$

em que $\tau_\varepsilon^2(ETc)$ é o desvio padrão da estimativa da média; $\varepsilon_{r(\max)}(ETc)$ é o desvio padrão máximo de ETc médio e $\bar{\varepsilon}_r(ETc)$ é o desvio padrão médio de ETc médio, todos expressos em $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Este parâmetro foi calculado para cada um dos estádios fenológicos da videira ao longo de dois ciclos de produção, correspondentes aos sistemas “copa-solo”, “copa” e “superfície do solo”.

3.2.2. Balanço Hídrico no Solo (BHS)

O balanço hídrico no solo foi obtido pela equação a seguir:

$$Q(\text{entrada}) - Q(\text{saída}) \pm \Delta W = 0 \Leftrightarrow (P_e + I) - (-Ac + D + ETc + Es) \pm \Delta W = 0$$

$$\Leftrightarrow ETc = P_e + I + Ac - D \pm \Delta W - Es \quad (3.18)$$

em que I corresponde à irrigação; P_e é a precipitação pluviométrica efetiva; ΔW é a variação da lâmina de água disponível no solo, num instante considerado; D é a lâmina de drenagem (negativa) ou de ascensão capilar (positiva); ETc é a evapotranspiração da cultura; Es é o escoamento superficial. Todos estes componentes são expressos em mm na unidade de tempo.

De acordo com Singh & Chauhan (1996), a equação 3.18 é baseada no princípio da conservação da massa, que aplicada para períodos de tempo específicos, proporciona a determinação dos componentes do ciclo hidrológico do sistema solo-planta. O volume de controle para fins do balanço hídrico correspondeu ao volume de solo contido no lisímetro (2,00 m x 2,00 m x 1,20 m = 4,80 m³), utilizando como referencial a superfície do solo. Deste modo, os componentes do fluxo de água que entram no volume de controle foram considerados positivos, enquanto os que saíram foram considerados negativos.

A determinação de cada um destes componentes foi feita como segue:

3.2.2.1. Intermitência de Irrigação

Para se estabelecer relações em termos de tempo, levou-se em consideração a quantidade de água aplicada no tempo real de irrigação por planta e a intensidade de aplicação do emissor considerado. Como de um modo geral, os projetos de irrigação localizada para as áreas irrigadas do Nordeste brasileiro compõem-se de 3 a 4 subunidades de rega por subárea, tornou-se necessário introduzir-se algumas alterações nos procedimentos de cálculo da intermitência de irrigação. Adotou-se neste estudo três subunidades de rega por subárea.

A quantidade de água aplicada no final de cada pulso por planta foi dada por:

$$v_a = t_i \cdot e \cdot q \quad (3.19)$$

em que: v_a é o volume de água aplicado no final de cada pulso de irrigação, em L; t_i é o tempo de irrigação por pulso, em horas; e é o número de emissores por planta; q é a vazão do emissor, em $L \cdot h^{-1}$.

O volume total (V_{ta}) de água aplicada no tempo total de irrigação (T_i) por planta foi obtido por:

$$V_{ta} = n \cdot v_a = n \cdot t_i \cdot e \cdot q = L_b \cdot A_p \Rightarrow t_i = \frac{L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} \quad (3.20)$$

em que n é o número de ciclos ou de intermitências da irrigação; t_i é o tempo de irrigação de cada pulso, em horas; L_b é a lâmina bruta, em mm e A_p é a área total de domínio da planta, em m^2 .

O tempo em que a subunidade de rega fica sem receber água pode ser determinado como segue:

$$t_{rsub} = (m-1)t_i = (m-1) \frac{L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} \quad (3.21)$$

em que m é o número de subunidade de rega por subárea.

Deste modo, o tempo de cada pulso é dado por:

$$t_p = t_i + t_{psu} = \frac{L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} + (m-1) \frac{L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} = \frac{m \cdot L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} \quad (3.22)$$

Finalmente, calculou-se o tempo total de irrigação (T_i) em função do número de subunidades de rega por subáreas, lâmina bruta de irrigação, área total de domínio da planta,

fator de cobertura do solo, número de intermitências, vazão do emissor e número de emissores por planta, como segue:

$$T_i = t_i \cdot [m(n-1) + 1] = [m(n-1) + 1] \times \frac{L_b \cdot A_p}{n \cdot e \cdot q} \quad (3.23)$$

3.2.2.2. Lâmina de Irrigação (I) ou Lâmina Infiltrada no Solo (I_i)

A lâmina de irrigação ou lâmina bruta, calculada pela equação 3.1, foi convertida em volume para facilitar a operacionalidade do sistema de irrigação. Entretanto, para o processamento do balanço hídrico, o volume aplicado por planta foi convertido em lâmina infiltrada, dividindo-o pela área molhada por planta (A_p), como segue:

$$I_i = \frac{L_b \cdot A_p}{A_m} = \frac{V}{A_m} \quad (3.24)$$

em que I_i é a lâmina de irrigação ou lâmina infiltrada no solo, em mm; L_b é a lâmina bruta, em mm; V é o volume de água aplicado, em L; A_m é a área molhada por planta que corresponde à área interna do lisímetro, em m² e A_p é a área de domínio da planta, em m². A conversão da lâmina bruta em lâmina infiltrada também pode ser obtida dividindo-se L_b pela percentagem de área molhada (P_{am}).

3.2.2.3. Precipitação Pluviométrica Efetiva – P_e

A precipitação pluviométrica foi medida em pluviômetro instalado na estação agrometeorológica de Bebedouro, localizada nas proximidades da área experimental em estudo, tendo sido corrigida para precipitação pluviométrica efetiva (P_e), com base na metodologia recomendada por Jensen *et al.* (1990).

3.2.2.4. Curva de Retenção de Água no Solo

e sua inversa:

$$h^* = \frac{(1 - Se) + \sqrt{(1 - Se)^2 + 4c_2Se(1 - Se)}}{2c_2Se} \quad (3.32)$$

3.2.2.5. Variação da Lâmina de Água Armazenada no Solo - ΔW

A variação da lâmina de água armazenada no volume de solo molhado e explorado pelo sistema radicular da planta foi determinada com base na lâmina de água remanescente no perfil do solo num dado tempo, a qual é função do conteúdo volumétrico de água (θ_v) remanescente nas camadas de solo que compõem a profundidade efetiva da raiz, num instante considerado.

A lâmina de água calculada com base na tensiometria de mercúrio foi obtida pela seguinte equação:

$$W_t = \sum_{i=0}^t \left[\sum_{i=1}^5 W_i \right] = 10 \cdot \sum (\theta_{vi} \cdot P_r) \quad (3.33)$$

em que W_t é lâmina total de água armazenada no perfil do solo, em mm; W_i é a lâmina de água armazenada na camada de solo i , em mm; θ_{vi} é a umidade volumétrica remanescente na camada de solo i , $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$; P_r é a profundidade da camada de solo, em cm.

A variação da lâmina total de água remanescente no perfil de solo molhado num intervalo de tempo considerado foi obtida pela equação, como segue:

$$\Delta W_t = W_{t(t)} - W_{t(t-1)} \quad (3.34)$$

em que ΔW_t é a variação da lâmina total de água no perfil do solo, num período de tempo considerado, em mm; t é o intervalo de tempo, em dia; $W_{t(t)}$ e $W_{t(t-1)}$ são as lâminas totais de água remanescentes no perfil do solo nos tempos t e $t-1$, em mm, respectivamente.

3.2.2.6. Drenagem - D

O volume de água drenado do lisímetro foi monitorado por meio de pluviômetro de balsa, tendo sido utilizados dois telepluviômetros para cada intermitência de irrigação (Figura 3.6). As leituras foram feitas a cada 15 minutos com média de uma hora, durante 24 horas e armazenadas em três dataloggers distintos. As leituras foram transformadas em volumes, multiplicando-se o número de basculadas pelo volume de cada balsa, que posteriormente foi convertido em lâmina, dividindo-se o volume drenado pela área interna do lisímetro. Porém, para se calcular a quantidade de água drenada em relação à lâmina aplicada, multiplicou-se a lâmina drenada no lisímetro pelo fator de cobertura do solo e pela relação entre a área lisímetro e a área de domínio da planta.

3.2.2.7. Escoamento Superficial – Es

Como o volume de solo considerado está inserido em lisímetros, o escoamento superficial foi desprezado, por tratar-se de um sistema fechado ($E_s = 0$).

3.2.2.8. Evapotranspiração da Cultura – ETc

Considerando-se que: a) que tanto a lâmina da água de irrigação infiltrada quanto a precipitação efetiva foram monitoradas ao longo do tempo; b) a determinação da lâmina de água disponível no perfil solo foi determinada com base no conteúdo de água remanescente nas camadas que integram o perfil considerado, no período de um dia; c) a determinação da lâmina de água drenada média foi feita a cada uma hora, cuja integração ao longo do período de 24 horas fornece a lâmina total de água drenada, com base nestas considerações, a evapotranspiração diária média da cultura da videira (ET_{c_L}) foi determinada por diferença, de conformidade com a equação 3.21. Considerando, ainda, que a copa da videira ou superfície vegetada é diferente da área molhada ou área interna do lisímetro, a ET_c foi corrigida pela equação seguinte:

$$ETc = ETc_{-L} \left(\frac{A_m}{A_p} \right) (F_{cs} + P_{am}) = ETc_{-L} (Fc) \quad (3.35)$$

em que ETc é a evapotranspiração da videira em mm.dia⁻¹; A_p é a área de domínio da planta, em m²; P_{am} é a percentagem de área molhada por planta; F_{cs} é o fator de cobertura do solo e Fc é o fator de correção global. Para se determinar a evapotranspiração da copa da videira (ETcc), excluiu-se o termo P_{am} enquanto a evapotranspiração referente à superfície do solo foi obtida por diferença entre a ETc e a ETcc.

3.2.2.9. Erro do Balanço Hídrico no Solo

Conforme Abenney-Mickson *et al.* (1997), o erro do balanço de água no solo num dado intervalo de tempo é dado por:

$$\Delta \varepsilon_t = \left\{ \frac{\left(W_{t-1} + \sum_{j=0}^t (I + P_e) - \sum_{j=0}^t D - \sum_{j=0}^t ETc \right) - W_t}{W_t} \right\} \cdot 100 \quad (3.36)$$

em que $\Delta \varepsilon^t$ é o erro do balanço de água no solo no tempo t, em %, devendo ser avaliado no final do período de tempo considerado; W_{t-1} é o armazenamento inicial de umidade, em mm; W_t é o armazenamento de umidade no tempo t, em mm; $\sum_{j=0}^t (I + P)$ é a irrigação e/ou precipitação efetiva ocorrida no tempo de 0 a t, em mm; $\sum_{j=0}^t D$ é a lâmina de água drenada no tempo de 0 a t, em mm; $\sum_{j=0}^t ETc$ é a evapotranspiração acumulada média da videira no tempo de 0 a t, em mm.

3.2.3. Evapotranspiração de Referência – ETo

A evapotranspiração de referência diária (ETo) foi estimada pelo método de Penman-Monteith – FAO, de conformidade com a metodologia proposta por Allen *et al.*, 1998, como segue:

$$ETo = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} V_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,3V_2)} \quad (3.37)$$

em que Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), estimado segundo Pereira *et al.* (1997), em função da radiação solar global; G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); T corresponde à 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 (m.s^{-1}); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e é a pressão atual de vapor (kPa); $e_s - e$ é o déficit de pressão de vapor (kPa); Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$), igual a $(4098e_s)/(T + 237,3)^2$, γ é o fator psicrométrico ($\text{kPa.}^{\circ}\text{C}^{-1}$), obtido como sendo $0,0016286 (P_o/\lambda)$, na qual λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$). Para maiores detalhes, consultar Pereira & Allen (1997) e Allen *et al.* (1998).

O fluxo de calor no solo (G) para períodos de 24 horas é aproximadamente nulo, tendo sido desprezado. Entretanto, para períodos curtos, como uma hora ou menos, G torna-se significativo e não deve ser desconsiderado (Allen *et al.*, 1998).

ETo foi determinada em base diária utilizando-se dados coletados em duas categorias de estação agrometeorológica, sendo uma do tipo convencional localizada no Campo Experimental de Bebedouro, a 200 m da área em estudo e outra automática situada a 30 km de distância em relação à área em estudo. A diferença básica entre os procedimentos para o cálculo da ETo está relacionada apenas à obtenção da radiação global. Ou seja, para a estação agrometeorológica convencional, a R_g foi estimada por meio de fórmulas enquanto para a estação agrometeorológica automática, esta foi medida diretamente por meio de radiômetro. Os coeficientes da equação de Angstrom utilizados nos cálculos do saldo de radiação de ondas

longas foram determinados mês a mês, com base em dados coletados na estação agrometeorológica convencional de Bebedouro (Teixeira, 1999).

Foi feita uma análise comparativa entre o valor de ETo determinado com base em dado coletado na estação agrometeorológica convencional e o estimado com base em dados obtidos da estação agrometeorológica automática, utilizando a metodologia recomendada por Spano *et al.* (2000).

3.2.4. Coeficiente da cultura – Kc

O coeficiente da cultura simples (Kc) foi determinado com base na expressão seguinte, recomendada por Doorenbos & Kassam (1979):

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.38)$$

em que ETc é a evapotranspiração do sistema copa-solo, em mm.dia⁻¹; ETo é a evapotranspiração de referência, em mm.dia⁻¹.

Considerando que o balanço de energia pela razão de Bowen e balanço hídrico do solo possibilitaram o desmembramento da evapotranspiração acumulada da videira em evapotranspiração relativa à copa e em evapotranspiração relativa à superfície do solo, no período em que as culturas utilizadas como cobertura orgânica estavam vivas e da evaporação do solo no período após o corte destas culturas. O coeficiente de cultura simples também foi desmembrado em dois coeficientes de cultura distintos, como segue:

$$K_{cb} = K_{cc} = \frac{ET_{cc}}{ET_o} \quad (3.39)$$

$$K_e = K_{css} = \frac{ET_{css}}{ET_o} \quad (3.40)$$

em que K_{cb} ou K_{cc} é o coeficiente de cultura basal ou da copa da planta, adimensional; K_e ou K_{css} é o coeficiente de evaporação ou de evapotranspiração do solo, adimensional; ET_{cc} e ET_{css} são as evapotranspirações da copa da videira e da superfície do solo, respectivamente, em mm.dia^{-1} ; ET_o é a evapotranspiração de referência, em mm.dia^{-1} .

Foram determinados valores de K_c com base em valores de ET_o calculados tanto com base em dados coletados em estação agrometeorológica convencional quanto automática, levando-se em consideração apenas valores de ET_c obtidos a partir do BERB para o sistema “copa-solo” para o 1º e 2º ciclos de cultivo da videira. Para as demais modalidades de ET_c , os valores de K_c foram calculados, utilizando apenas ET_o para estação automática.

Também foram estimados os valores de K_c da videira, com base em dados tabelados, obedecendo-se os procedimentos recomendados pelo manual 56 da FAO (Allen *et al.*, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Fenologia da Videira

O ciclo de produção da videira foi dividido em oito estádios fenológicos distintos,, como segue: 1 – período de brotação (PB); 2 – desenvolvimento vegetativo (DV); 3 – pré e plena floração (PFF); 4 – primeira fase de crescimento do fruto (1^aFCF); 5 – parada de crescimento do fruto (PCF); 6 – segunda fase de crescimento do fruto (2^aFCF); 7 – maturação final do fruto (MFF); e 8 - repouso fenológico (RF).

Nas Figuras 4.1a a 4.4b estão ilustrados os distintos estádios fenológicos da videira. O número médio de dias decorridos entre a poda seca e a brotação das gemas vegetativas foi da ordem de 11 dias após a poda (DAP) para ambos os ciclos de produção (Figura 4.1a), seguido por um período com desenvolvimento vegetativo bastante intenso (Figura 4.1b), totalizando 21 e 13 DAP, correspondentes ao 1^o e 2^o ciclos, quando, então, foi feita a poda verde ou eliminação dos ramos que não emitiram cachos ou que estavam localizados em pontos que afetariam a arquitetura da planta no próximo ciclo produtivo. Neste estágio,, também foram eliminadas gavinhas e brotações nas axilas das folhas ao longo dos ramos. O estágio caracterizado como de pré e plena floração ocorreu entre 33 e 41 DAP, tendo a floração plena ocorrida aos 35 DAP (Figura 4.2a) para o 1^o ciclo e entre 25 e 34 DAP no 2^o ciclo; a 1^aFCF é caracterizada por um crescimento muito rápido do fruto, especialmente nas fases conhecidas como chumbinho e ervilha; na sequência, o fruto continua crescendo até que ocorra a divisão celular total do mesmo, que para o 1^o ciclo ocorreu entre os 42 e



Fig. 4.1. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: período de brotação – PB (foto superior) e desenvolvimento vegetativo – DV (foto inferior), Petrolina – PE.

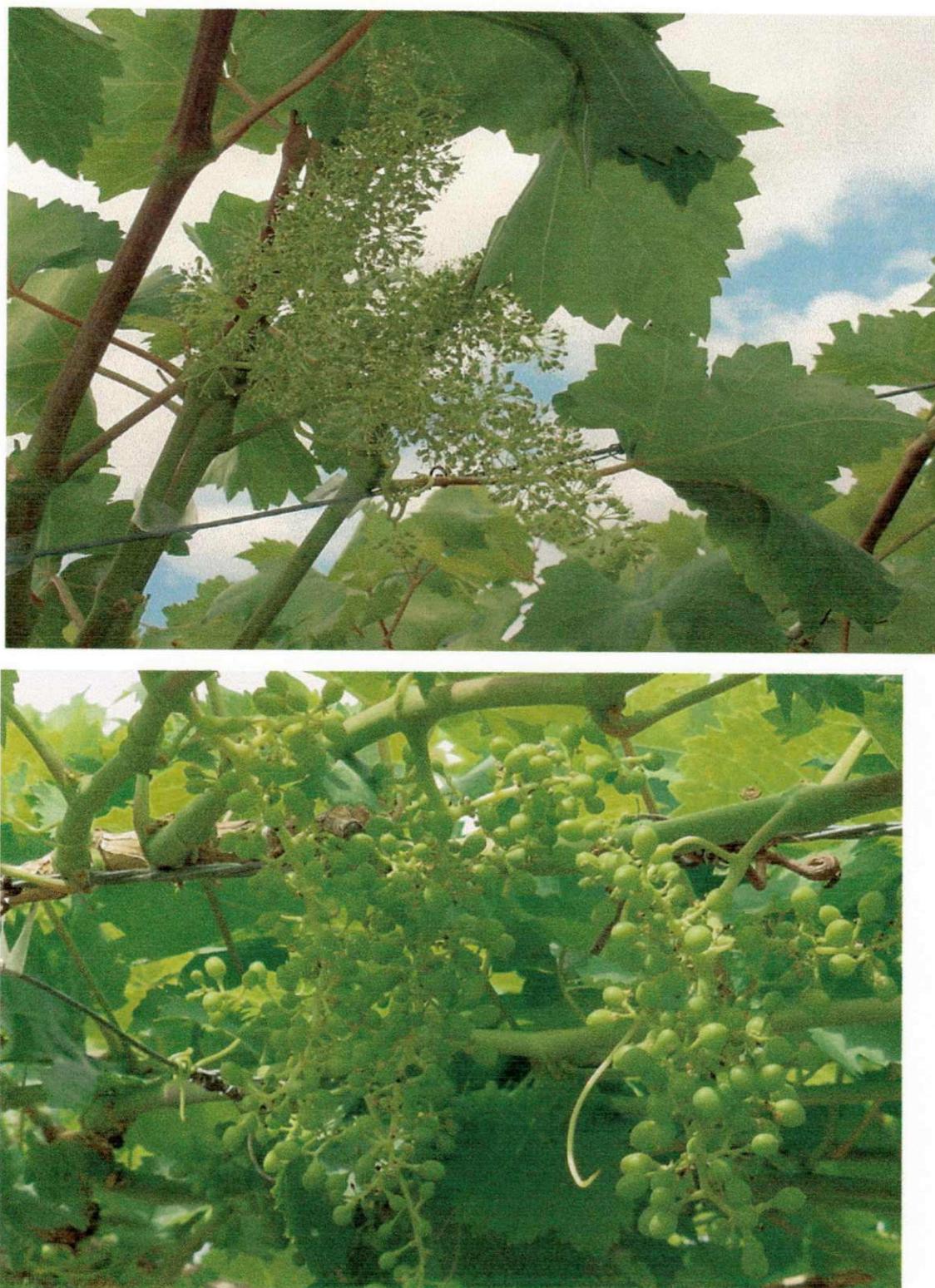


Fig. 4.2. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: pré-floração e plena floração - PFF (foto superior) e primeira fase de crescimento do fruto - 1ºFCF (foto inferior), Petrolina – PE.

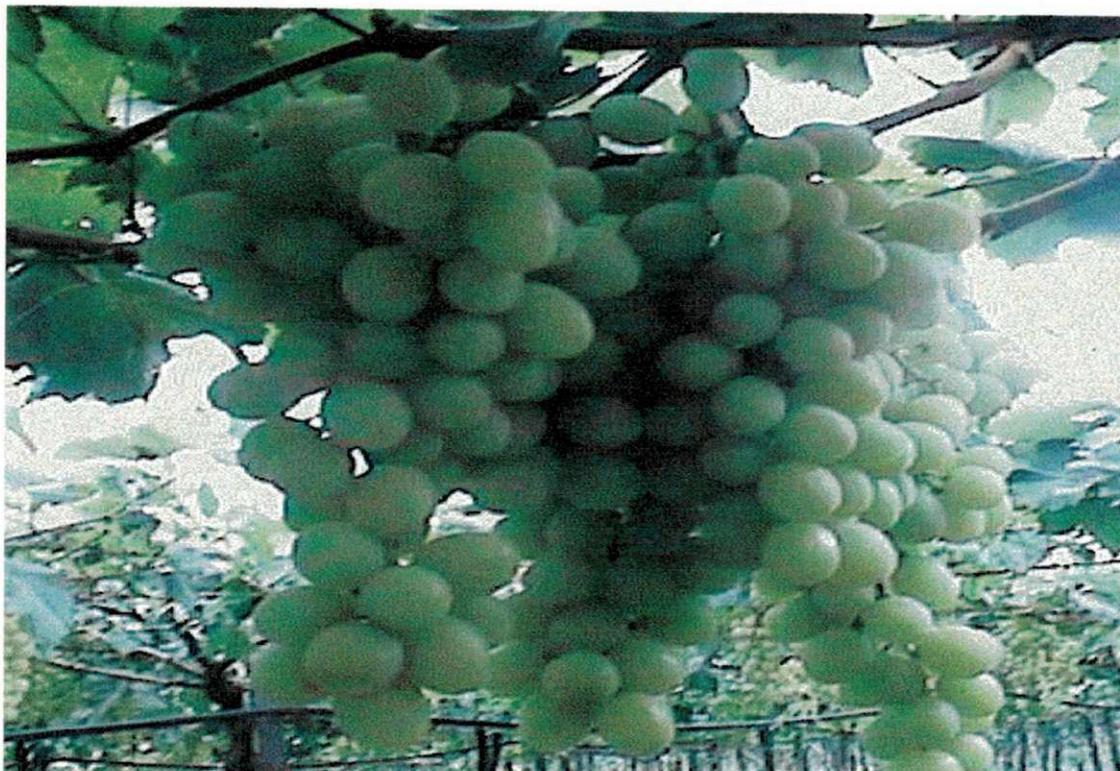


Fig. 4.3. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: para de crescimento do fruto - PCF (foto superior) e segunda fase de crescimento do fruto - 2ªFCF (foto inferior), Petrolina – PE.

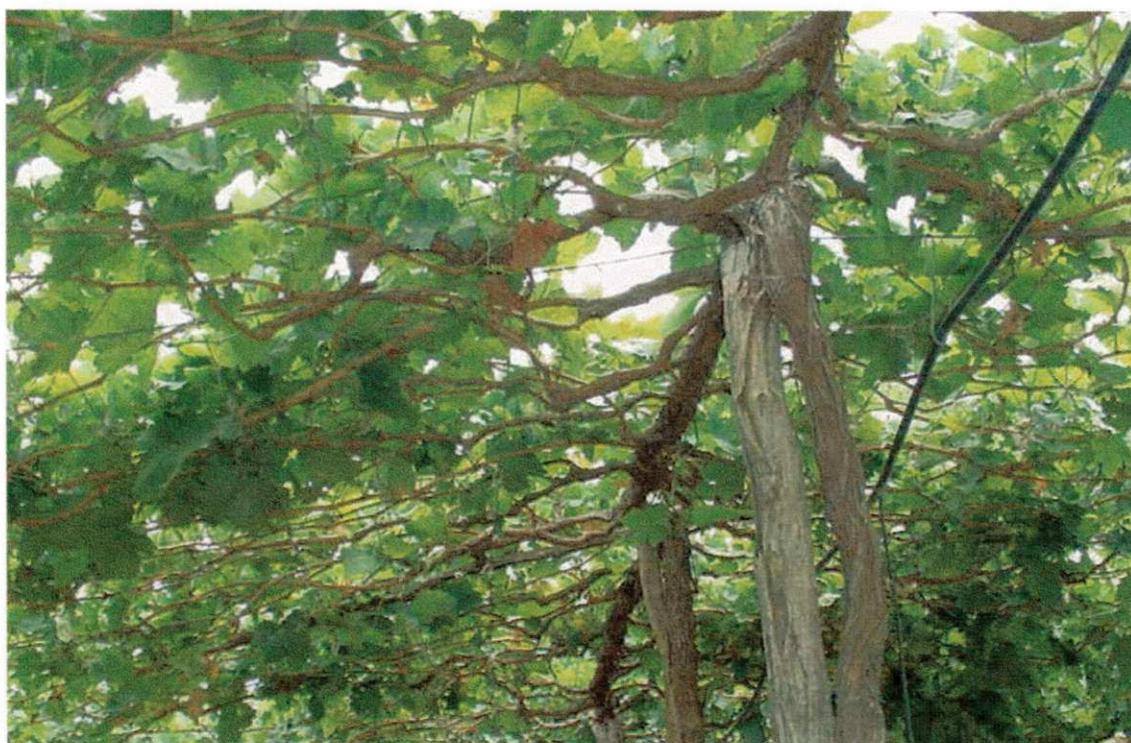
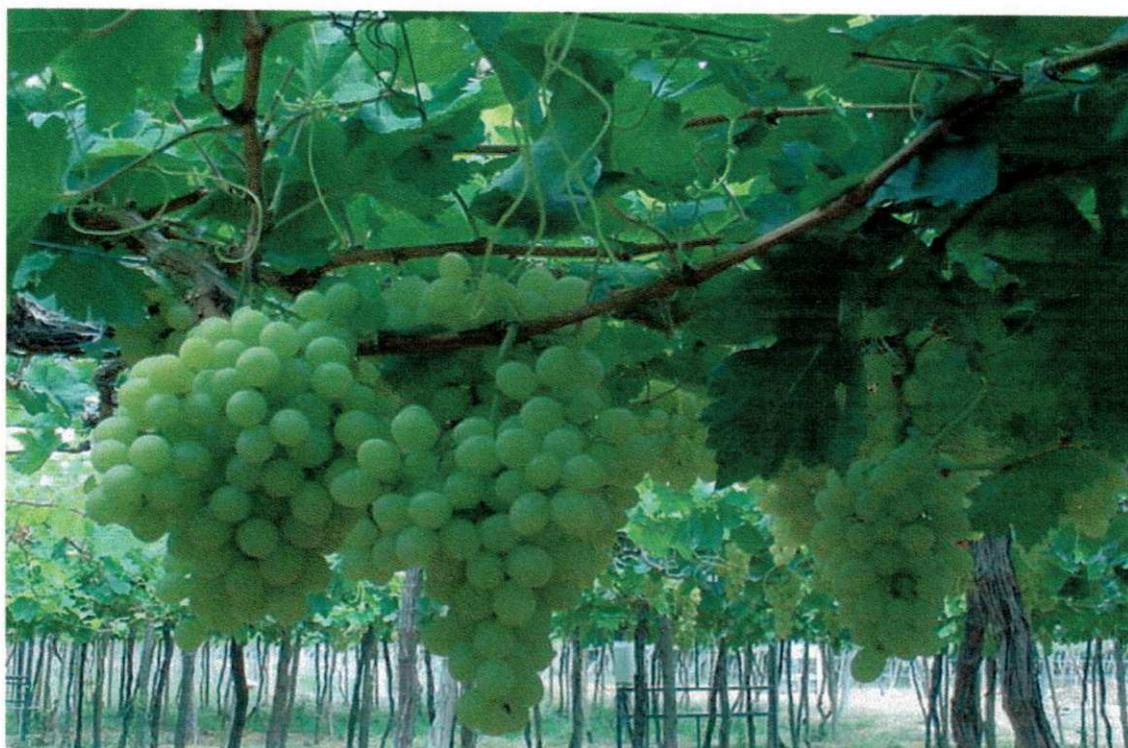


Fig. 4.4. Ilustrações características dos estádios fenológicos da videira *Festival* correspondentes a: maturação final do fruto - MFF (foto superior) e repouso fenológico - RF (foto inferior), Petrolina - PE.

58 DAP, enquanto que para o 2º, esta fase estendeu-se entre 35 e 51 DAP (Figura 4.2b). O estágio seguinte é caracterizado por uma paralisação de crescimento do fruto (Figura 4.3a) e por uma redução da intensidade de crescimento dos ramos, que ocorreu entre 59 e 76 DAP e entre 52 e 65 DAP para ambos os ciclos de cultivo, respectivamente; a 2ªFCF dos frutos é caracterizada por seu amolecimento, quando se dá o aumento do tamanho das células e, conseqüentemente, do volume do fruto, processo este que se estendeu entre 77 e 93 DAP no 1º ciclo e entre 66 e 87 dias após a poda no 2º (Figura 4.3b). A maturação final do fruto ocorreu entre 93 e 102 DAP e entre 88 e 94 DAP, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, respectivamente (Figura 4.4a), tendo sido colhidos quando o teor de sólidos solúveis alcançou 16ºBrix. O estágio de repouso fenológico, que é caracterizado pelo acúmulo de reservas nas raízes, caule e ramos (Figura 4.4b), prolongou-se por um período em torno de 40 dias ou mais, intervalo este que depende da demanda do mercado externo da uva sem sementes.

Como foram realizados dois ciclos produtivos, a poda seca foi realizada nos dias 04 e 05/07/2001 do 1º ciclo, enquanto no 2º ela foi feita nos dias 27 e 28/11/01, tendo-se obtido as seguintes informações com respeito aos estádios fenológicos, datas e dias após a poda (Quadro 4.1). Portanto, o primeiro ciclo de cultivo da videira, na estação seca, compreendido entre 04/07 e 15/10/01, estendeu-se por um período de 104 dias entre a poda seca e a colheita dos frutos, enquanto o segundo, na estação chuvosa, compreendida entre 28/11/01 e 04/03/02, abrangeu uma duração de apenas 96 dias. Isto, provavelmente, é decorrente da variação do comprimento dos dias ao longo do ano, que é função do movimento de translação da terra em relação ao sol. Ou seja, durante o 1º ciclo houve um predomínio de dias mais curtos, com os estádios de desenvolvimento da videira compreendidos entre o equinócio de inverno e o solstício de primavera. Por outro lado, o 2º esteve praticamente enquadrado na estação de verão, quando os dias tornam-se ligeiramente mais longos. Além disso, o ciclo produtivo da videira está associado ao “Número de Graus Dias” (Cesaraccio *et al.*, 2000). De acordo com Souza Leão (2000), a duração do ciclo de produção da videira *Festival* no Submédio São Francisco varia de 100 a 110 dias, dependendo da época do ano em que a poda seca seja realizada.

Nas Figuras 4.5a e 4.5b, estão representados os comportamentos do índice de área foliar (IAF) em função do número de dias após a poda (DAP), os quais ajustaram-se linearmente de 1º grau como segue: a) 1º ciclo: $IAF = 0,0277 \times DAP + 0,0763$, com $R^2 = 0,97$ e b) 2º ciclo: $IAF = 0,0296 \times DAP + 0,2053$, com $R^2 = 0,95$.

Quadro 4.1. Estádios fenológicos da videira variedade *Festival* para dois ciclos de produção (estação seca e estação chuvosa), Petrolina – PE.

Primeiro ciclo de produção – estação seca – julho a novembro/2001			
Abreviação	Estádio fenológico	Período	Período (*DAP)
PB	Poda a brotação	04 a 15/07/01	0 – 11
DV	Desenvolvimento vegetativo	16/07 a 05/08/01	12 – 32
PFF	Pré-floração e floração	06 a 14/08/01	33 – 41
1ª FCF	Primeira fase de crescimento do fruto	15 a 31/08/01	42 – 58
PCF	Parada de crescimento do fruto	01 a 18/09/01	59 – 76
2ª FCF	Segunda fase de crescimento do fruto	19/09 a 05/10/01	77 – 92
MFF	Maturação final do fruto	06 a 15/10/01	93 – 102
RF	Repouso fenológico	16/10 a 26/11/01	103 – 141
Segundo ciclo de produção – estação chuvosa – dezembro/2001 a março/2002			
PB	Poda a brotação	28/11 a 08/12/01	0 – 11
DV	Desenvolvimento vegetativo	09 a 21/12/01	12 – 24
PFF	Pré-floração e floração	22 a 31/12/01	25 – 34
1ª FCF	Primeira fase de crescimento do fruto	01 a 17/01/02	35 – 51
PCF	Parada de crescimento do fruto	18/01 a 03/02/02	52 – 65
2ª FCF	Segunda fase de crescimento do fruto	04 a 25/02/02	66 – 87
MFF	Maturação final do fruto	25/02 a 04/03/02	88 – 94
RF	Repouso fenológico	05 a 31/03/02	95 – 116

* DAP – Dias após a poda

O fator de cobertura do solo (F_{cs}), ou percentagem de área sombreada (P_{as}), ao longo da fenologia da videira, foi determinado com base no IAF, conforme equação $F_{cs} = 0,3473 \times IAF - 0,1260$, com $R^2 = 0,96$. Para efeito de cálculo da lâmina de água aplicada, considerou-se que quando 75% da área de domínio da planta estivesse coberta pela mesma, implicaria em um valor de $F_{cs} = 1,0$. Observou-se, para ambos os ciclos, que somente aos 47 DAP é que a copa da videira cobriu 75% da área de domínio da planta, portanto, alcançando o valor 1,0 para o fator de cobertura do solo, que se manteve até a poda do 2º ciclo de produção. Porém, em função do pequeno número de cachos emitidos pela planta em ambos os ciclos, o IAF aumentou continuamente, até a poda do ciclo seguinte, mesmo

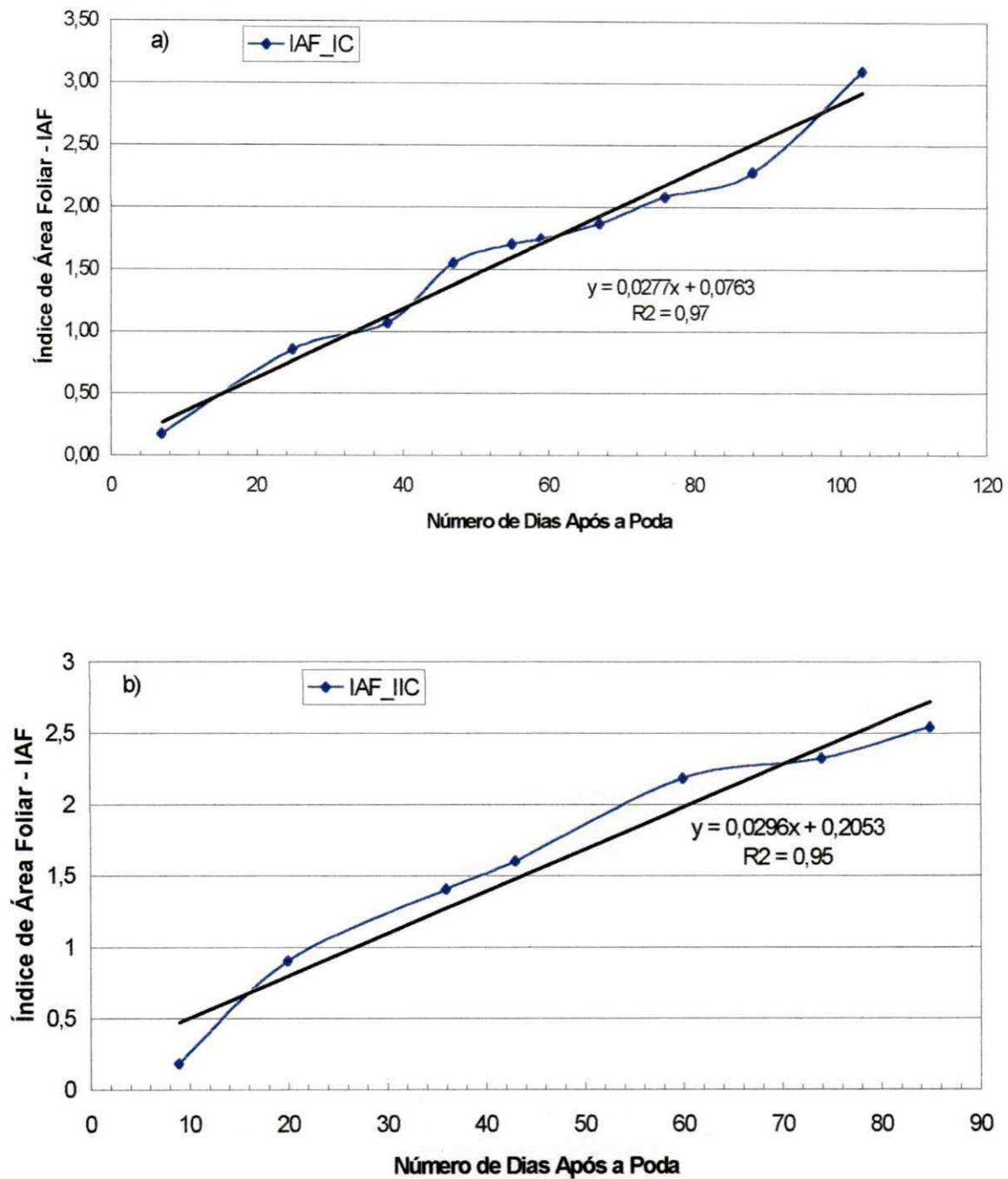


Fig. 4.5. Comportamento do índice de área foliar da videira em função do número de dias após a poda, correspondentes ao: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

com a suspensão da irrigação, em virtude da presença de lençol freático situado a 2,00 m de profundidade, no que se refere à área externa ao lisímetro. No entanto, dentro dos lisímetros, foi necessário realizar, pelo menos, uma irrigação por semana para evitar que as plantas alcançassem o ponto de murcha permanente.

4.2. Balanço de Energia

O balanço de energia, baseado na razão de Bowen (BERB), foi calculado considerando-se dois sistemas distintos: um compreendendo a copa e a superfície do solo, formando um volume de controle único, denominado sistema “copa-solo”, e outro compreendendo a subdivisão do volume anterior em dois subvolumes, um formado apenas pela copa da videira, denominado de sistema “copa” e o outro pelo volume imediatamente abaixo da copa da videira até a superfície do solo, denominado de sistema “superfície do solo”. Deste modo, o BERB foi efetuado separadamente, para cada um dos referidos sistemas (Figura 3.7).

4.2.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen para o Sistema “Copa-solo”

Dentre os oito estádios fenológicos estudados foram analisadas as variações médias diárias dos componentes dos balanços de energia para um volume de controle único, apenas para os estádios de PB e da 2ªFCF, tanto para o 1º quanto para o 2º ciclo produtivo da videira, levando-se em consideração o período em que o saldo de radiação foi positivo, conforme procedimento recomendado por Heilman *et al.* (1989).

Nas Figuras 4.6a a 4.7b estão ilustrados os comportamentos dos componentes do balanço de energia para esses dois estádios fenológicos específicos da videira, plicado ao sistema “copa-solo”. No Anexo 7.1, Figuras 7.1.1a a 7.1.4c, estão representados os balanços correspondentes aos demais estádios fenológicos. Os resultados demonstraram que as densidades de fluxos de calor latente (LE) acompanham quase que rigorosamente aquelas correspondentes do saldo de radiação corrigido (R_{nc}), cujas diferenças tornam-se mais acentuadas entre 11h00 e 13h00, exceto para a 2ªFCF, em que as diferenças foram bem menores (Figura 4.7a e 4.7b). Pode-se constatar, também, tanto no início da manhã quanto no final da tarde, que as diferenças entre ambas as curvas são praticamente desprezíveis, ou seja, toda energia disponível é convertida em calor latente de vaporização.

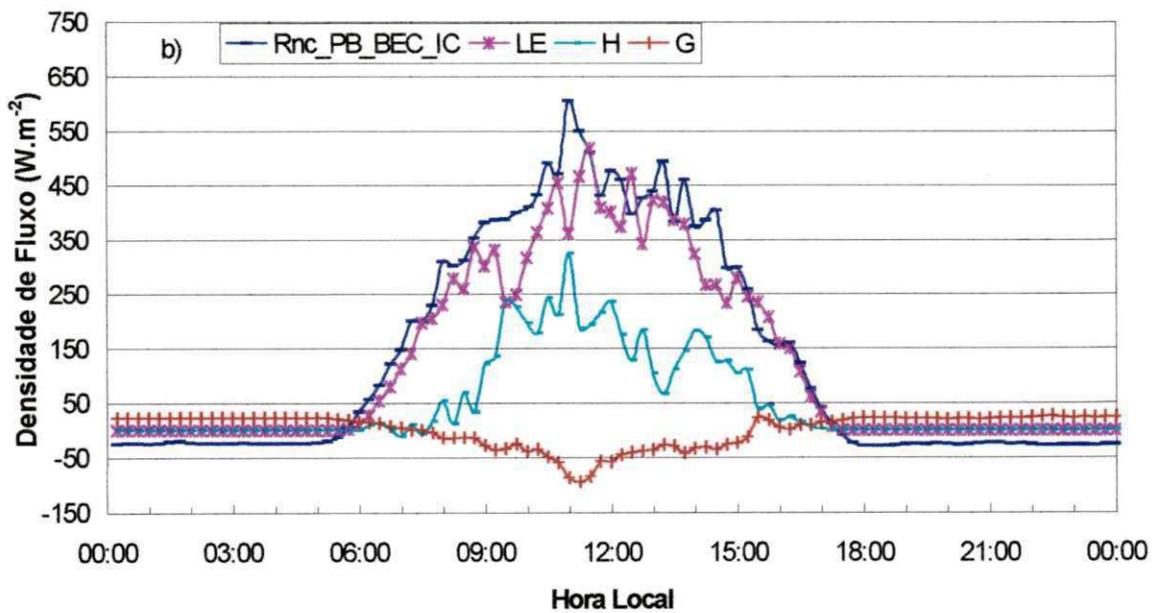
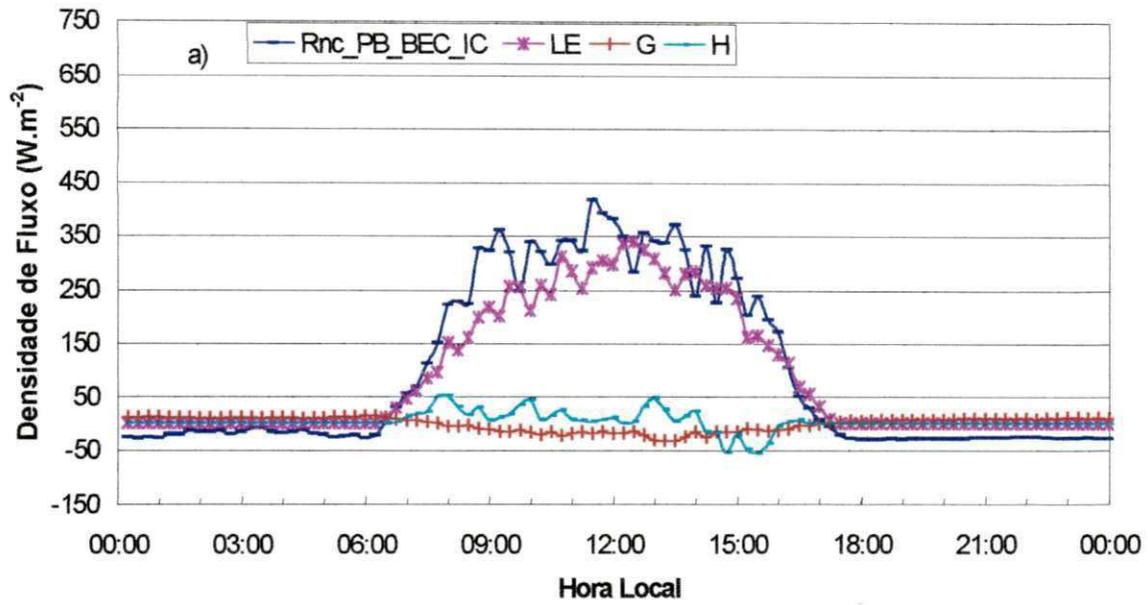


Fig. 4.6. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema "copa-solo": saldo de radiação – $R_{nc_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – LE , fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H , correspondente ao estágio de PB para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

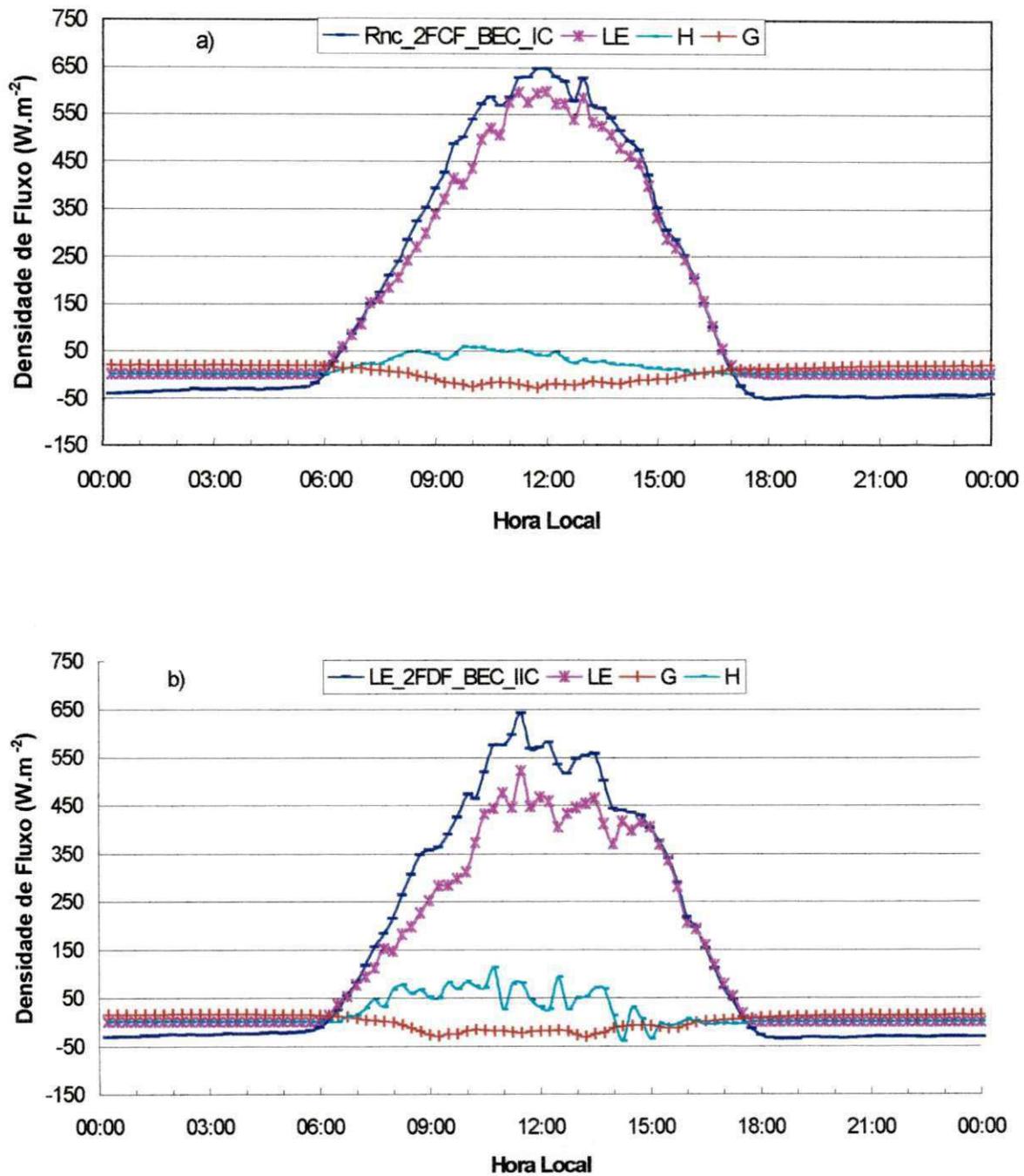


Fig. 4.7. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo”: saldo de radiação – Rnc_BEC_IC, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, correspondente ao estádio da 2ª FCF, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Analisando-se detalhadamente o balanço de energia correspondente ao estádio do PB do 1º ciclo (Figura 4.6a), observa-se que os valores máximos obtidos para Rnc e LE oscilaram em torno de $417,43 \pm 63,89$ e de $339,28 \pm 226,01 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente, tendo-se constatado uma flutuação razoável destes componentes ao longo do dia, em decorrência das condições de elevada nebulosidade em alguns dias. As diferenças entre Rnc e LE são desprezíveis apenas em alguns períodos do dia, no início da manhã e no final da tarde. Os valores de H mostraram oscilações bastante razoáveis ao longo do dia, com um valor médio da ordem de $7,22 \pm 23,55 \text{ W.m}^{-2}$, ou seja, o sistema apresentou-se como uma fonte de LE e H. O fluxo de calor no solo tornou-se ligeiramente maior que zero no início da manhã, oscilou bastante ao longo do período diurno, alcançando valores próximos a $-32,43 \pm 33,39 \text{ W.m}^{-2}$, porém seu valor médio situou-se em torno de $-12,52 \pm 9,39$, funcionando, portanto, como um sumidouro de calor sensível. Para o 2º ciclo (Figura 4.6b), constatou-se que os valores de Rnc e LE apresentaram-se ligeiramente superiores aos obtidos no 1º ciclo, com valores máximos em torno de $603,95 \pm 66,23$ e de $517,19 \pm 43,01 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente, apresentando, também, pequenas flutuações destes componentes ao longo do dia, em decorrência das condições de alta nebulosidade. As diferenças entre Rnc e LE, que podem ser consideradas desprezíveis, ocorreram em períodos de tempo bem mais prolongados que aqueles encontrados no 1º ciclo, tanto no início da manhã quanto no final da tarde. Os valores de H mostraram-se bastante elevados, bem como uma oscilação razoável ao longo do dia, com um valor médio da ordem de $98,90 \pm 76,72 \text{ W.m}^{-2}$. A componente G tornou-se ligeiramente maior que zero no início da manhã, apresentou uma tendência decrescente até às 11h15, alcançando valores próximos a $-95,58 \pm 31,86 \text{ W.m}^{-2}$, quando, então, passou a aumentar de maneira gradual, tornando-se maior que zero no final da tarde.

Para o estádio da 2ªFCF do 1º ciclo (Figura 4.7a), os resultados relativos ao comportamento dos componentes do balanço de energia foram bastante similares ao do estádio da 1ªFCF, exceto para LE, cujo valor máximo atingiu $647 \pm 142,86 \text{ W.m}^{-2}$. A densidade de fluxo de calor sensível permaneceu bastante estável ao longo do dia, tendo apresentado um valor médio em torno de $25,45 \pm 35,03 \text{ W.m}^{-2}$. A densidade de fluxo de calor no solo também apresentou uma flutuação muito próxima daquela observada no estádio da 1ªFCF, cujo valor médio foi da ordem de $-8,55 \pm 7,22 \text{ W.m}^{-2}$. Constatou-se, para o 2º ciclo, que o comportamento dos componentes do balanço de energia neste estádio

também foi semelhante ao obtido para o 1º ciclo deste estágio, porém, no intervalo entre 11h00 e 13h00, a presença de maior quantidade de nuvens pode ter sido responsável pela redução acentuada nas densidades de fluxo de R_{nc} e LE . No entanto, a densidade de fluxo de calor sensível apresentou-se bastante variável ao longo do dia, principalmente no período da manhã, em que seus valores oscilaram entre 0 e 100 W.m^{-2} . A densidade de fluxo de calor no solo também se aproximou bastante dos valores observados no 1º ciclo, uma vez que seu valor médio foi de $-17,46 \pm 10,70 \text{ W.m}^{-2}$ (Figura 4.7b).

Os comportamentos observados dos componentes do balanço de energia analisado concordam com os resultados de outros estudos realizados na região. Moura (2001), estudando o comportamento dos componentes do BERB em um pomar de goiabeira irrigada na região do Submédio São Francisco, observou um valor máximo de R_n da ordem de 663 W.m^{-2} , por volta das 13h00, ao longo do estágio de maturação/colheita dos frutos, enquanto LE , H e G alcançaram valores da ordem de 534,96, 70,66 e $-28,67 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente. Este autor constatou, ainda, que o valor mais elevado de G ao longo do ciclo de produção da goiabeira foi da ordem de $-69,37 \text{ W.m}^{-2}$ e que estava associado à deficiência de água no solo, decorrente de problemas técnicos com o sistema de irrigação. Fato semelhante também foi verificado por Lopes (1999), constatando que o comportamento de G estava condicionado ao momento da aplicação da água pelo sistema de irrigação, na cultura da mangueira irrigada por gotejamento. Lopes (1999) e Moura (2001) observaram, ainda, que a elevada presença de nebulosidade, principalmente no período da manhã, foi o fator responsável pela forte flutuação de R_n e de LE ao longo do dia.

4.2.2. Balanço de Energia com base na Razão de Bowen para o Sistema Copa

Dentre os oito estádios fenológicos estudados, foram analisadas as variações diárias médias dos componentes dos balanços de energia para o subvolume de controle, correspondente exclusivamente à copa da videira, levando-se em consideração o período em que o saldo de radiação foi positivo e apenas para os estádios de PB e de 2ªFCF, no 1º e no 2º ciclo produtivo da videira.

Nas Figuras 4.8a a 4.9b estão representados os comportamentos típicos dos componentes do balanço de energia para esses dois estádios fenológicos específicos da videira, utilizando a metodologia do BERB, modificada para aplicação exclusiva ao

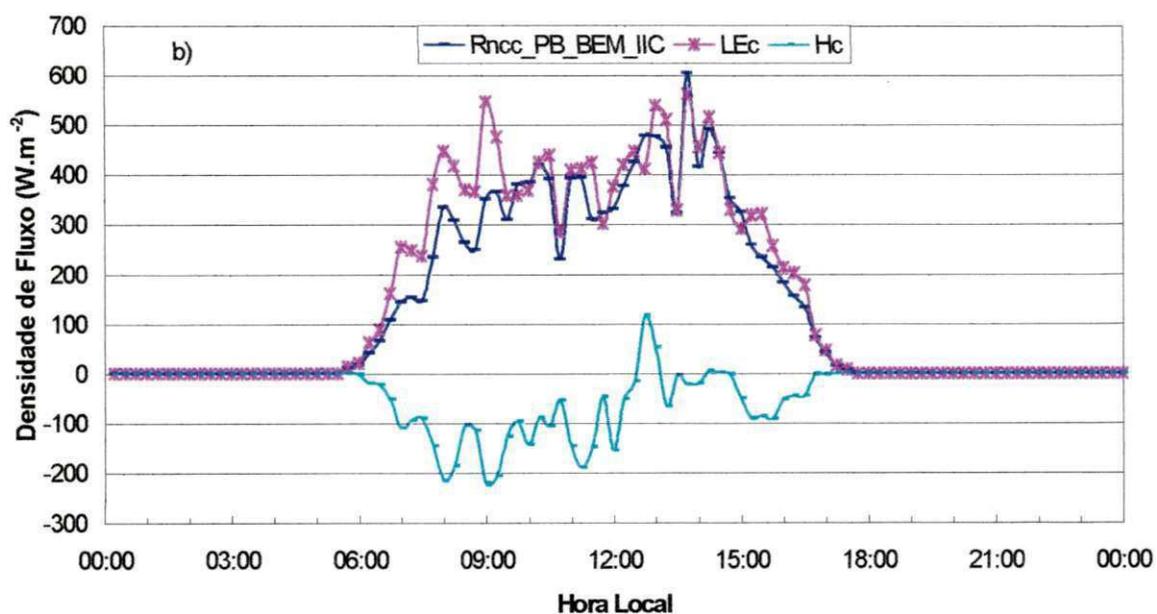
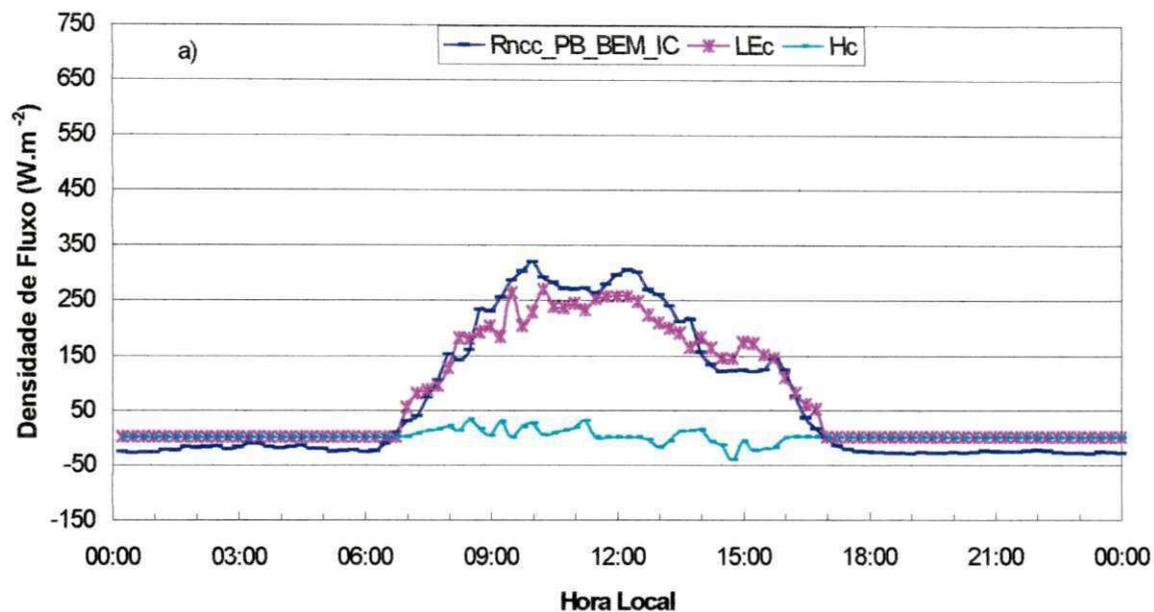


Fig. 4.8. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira”: saldo de radiação – Rncc_BEM_IC, fluxo de calor latente – LEc e fluxo de calor sensível – Hc, correspondente ao estádio do PB, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

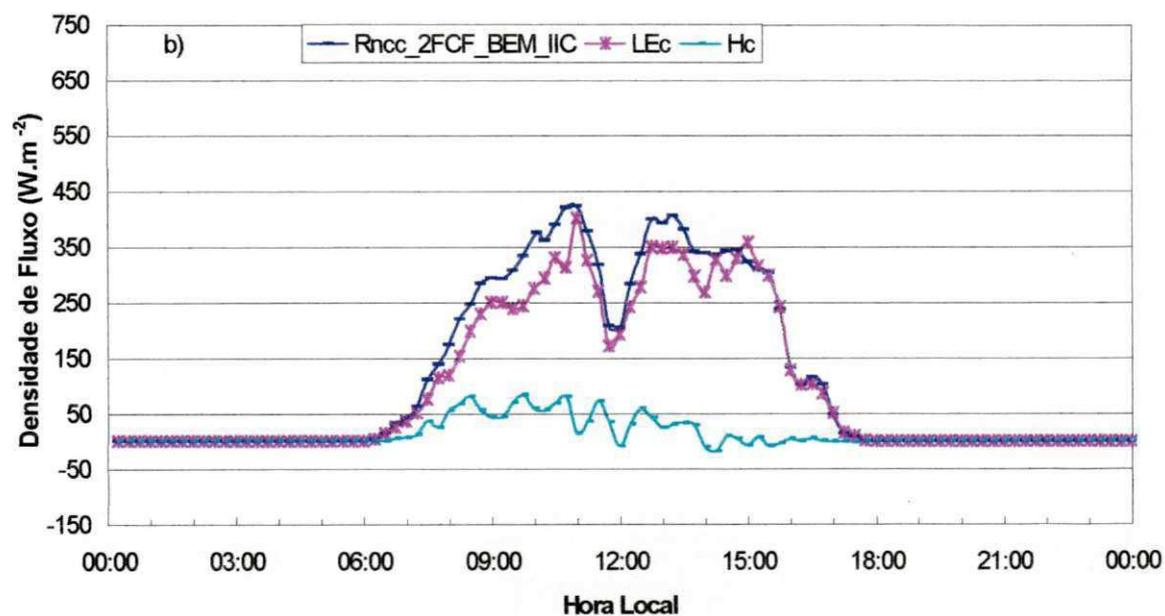
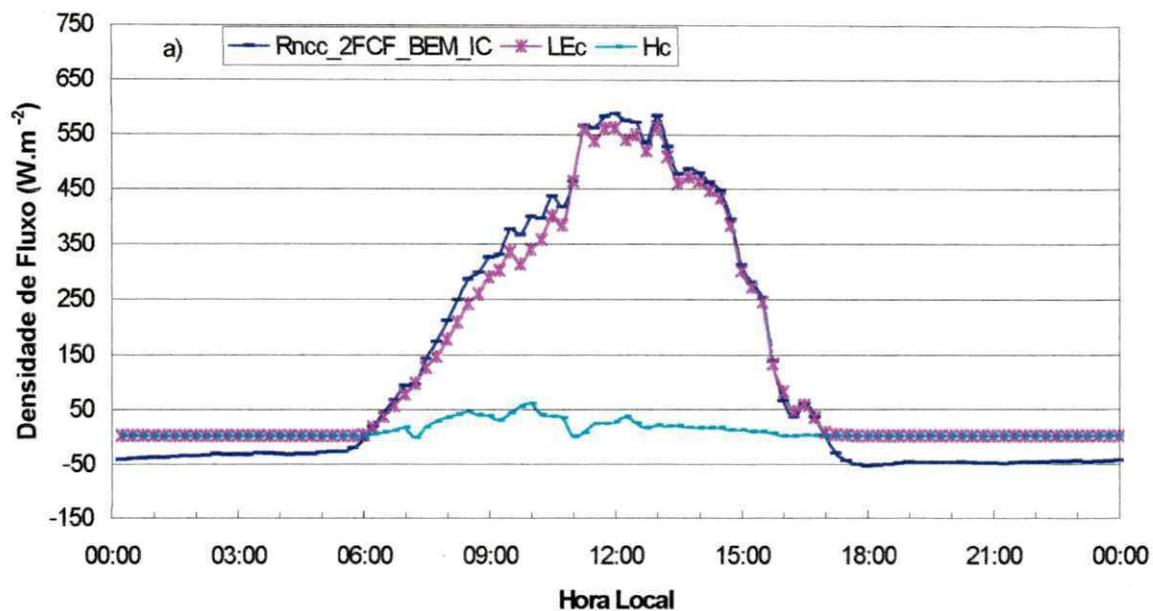


Fig. 4.9. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado referente ao sistema “copa da videira”: saldo de radiação – $Rncc_{BEM_IC}$, fluxo de calor latente – LEC e fluxo de calor sensível – Hc , correspondente à 2ªFCF, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

sistema “copa”. Analisando-se os resultados do balanço de energia correspondente ao estágio de PB de ambos os ciclos produtivos (Figura 4.8a e b), observa-se que as curvas de L_{Ec} apresentaram valores ligeiramente mais elevados do que os de R_{ncc} em vários instantes do dia, indicando que o sistema estava recebendo calor sensível do ambiente, funcionando como uma fonte adicional de energia. Durante o 1º ciclo de produção (Figura 4.8a), os valores máximos destes parâmetros mostraram-se inferiores a 310 W.m⁻², enquanto no 2º alcançaram o dobro. Os valores de H_c obtidos para o 1º ciclo mostraram uma pequena variação ao longo do dia, sendo que no período da manhã oscilou em torno de 10 W.m⁻², mas passou para um patamar de aproximadamente -20 W.m⁻² durante a tarde, implicando na transferência de energia do ambiente para o sistema copa. No 2º ciclo (Figura 4.8b), a oscilação tornou-se ainda mais acentuada, chegando a alcançar valores da ordem de -200 W.m⁻².

Para o estágio da 2ªFCF do 1º ciclo produtivo (Figura 4.9a), os resultados demonstram que os componentes R_{ncc} e L_{Ec} aumentaram acentuadamente no período da manhã, alcançando valores máximos em torno de 587,13±140,46 e de 563,72±114,40 W.m⁻², quando então tenderam a decrescer também de maneira brusca durante a tarde, devido às condições de céu claro. As diferenças entre R_{ncc} e L_{Ec} tornaram-se praticamente desprezíveis ao longo do período diurno. O componente H também mostrou pequena flutuação ao longo do dia, com valor médio em torno de 20,16±46,45 W.m⁻², indicando transferência de calor sensível para o ambiente. Durante o 2º ciclo (Figura 4.9b), os valores de R_{ncc} e L_{Ec} apresentaram-se bastante menores do que aqueles obtidos para o 1º ciclo, em decorrência da estação do ano, uma vez que neste ciclo o estágio da 2ªFCF ocorreu entre 19/09 e 05/10, enquanto no 2º ciclo, ele situou-se no período de 04 a 25/02, o qual foi caracterizado por elevada disponibilidade energética, porém a presença de uma grande quantidade de nuvens condicionou uma redução significativa de R_{ncc}. Por outro lado, H mostrou-se muito mais elevado, flutuando bastante, tendo alcançado um valor máximo de 83,07±128,28 W.m⁻².

4.2.3. Balanço de Energia com base na Razão de Bowen para o Sistema Superfície do Solo

Dentre os oito estádios fenológicos estudados, foram analisadas as variações médias diárias dos componentes dos balanços de energia para o subvolume de controle

correspondente exclusivamente à superfície do solo, levando-se em consideração o período em que o saldo de radiação era positivo e apenas para os estádios de PB e da 2ªFCF do 1º e 2º ciclos de cultivo da videira.

Nas Figuras 4.10a a 4.11b estão ilustrados os comportamentos dos componentes do balanço de energia correspondente ao sistema “superfície do solo”. Para o estádio de PB do 1º ciclo (Figura 4.10a), observou-se que o valor máximo médio de R_{nss} apresentou-se ligeiramente inferior aos obtidos no 2º ciclo (Figura 4.10b), situando-se em torno de 110 W.m^{-2} , enquanto os valores máximos de LE_{ss} determinados para o 1º ciclo foram três vezes menores do que os obtidos para o 2º ciclo. A acentuada variação observada no período de 11h00 a 14h00 pode ter sido decorrente de erros ocorridos nos psicrômetros situados abaixo da latada. As diferenças entre R_{nss} e LE_{ss} foram desprezíveis apenas em alguns períodos no início da manhã e no final da tarde, principalmente no 1º ciclo. Os valores de H_{ss} mostram um alto grau de variação ao longo do dia durante o 2º ciclo, cujo valor médio foi da ordem de $87,36 \pm 45,79 \text{ W.m}^{-2}$, nove vezes maior que aquele obtido no 1º ciclo. O componente G do balanço de energia foi ligeiramente maior que zero no início da manhã e oscilou pouco ao longo do período diurno, alcançando valores médios próximos a $-33,01 \pm 18,77$ e $-36,08 \pm 17,02 \text{ W.m}^{-2}$, no 1º e 2º ciclos, respectivamente.

No que se refere ao estádio da 2ªFCF do 1º ciclo (Figura 4.11a), pode-se observar que tanto os valores de R_{nss} quanto os de LE_{ss} flutuaram bastante durante o período diurno, tendo as diferenças entre R_{nss} e LE_{ss} sido bastante pequenas. No horário compreendido entre 11h15 e 13h45, os valores destes componentes mostraram-se cinco a seis vezes mais elevados, quando comparados com aqueles obtidos no 1º ciclo. Isto pode ser decorrente da incidência de radiação direta sobre o saldo radiômetro localizado abaixo da latada, ocasionada por espaços vazios na folha da videira e/ou pela incidência mais perpendicular dos raios solares sobre a videira nesta estação do ano. A densidade de fluxo de calor sensível também acompanhou as variações alcançadas por R_{nss} ao longo do dia, tendo apresentando um valor médio em torno de $17,63 \pm 28,11 \text{ W.m}^{-2}$ (Figura 4.11a). Durante o 2º ciclo (Figura 4.11b), também foram observadas oscilações acentuadas para os componentes do balanço de energia, similares àquelas alcançadas para o 1º ciclo, com valores de R_{nss} e LE_{ss} inferiores a 140 W.m^{-2} , enquanto H_{ss} situou-se quase que exclusivamente na faixa negativa, durante o período diurno, e G mostrou pouca variação ao longo do dia, indicando que a copa recebeu energia adicional do ambiente.

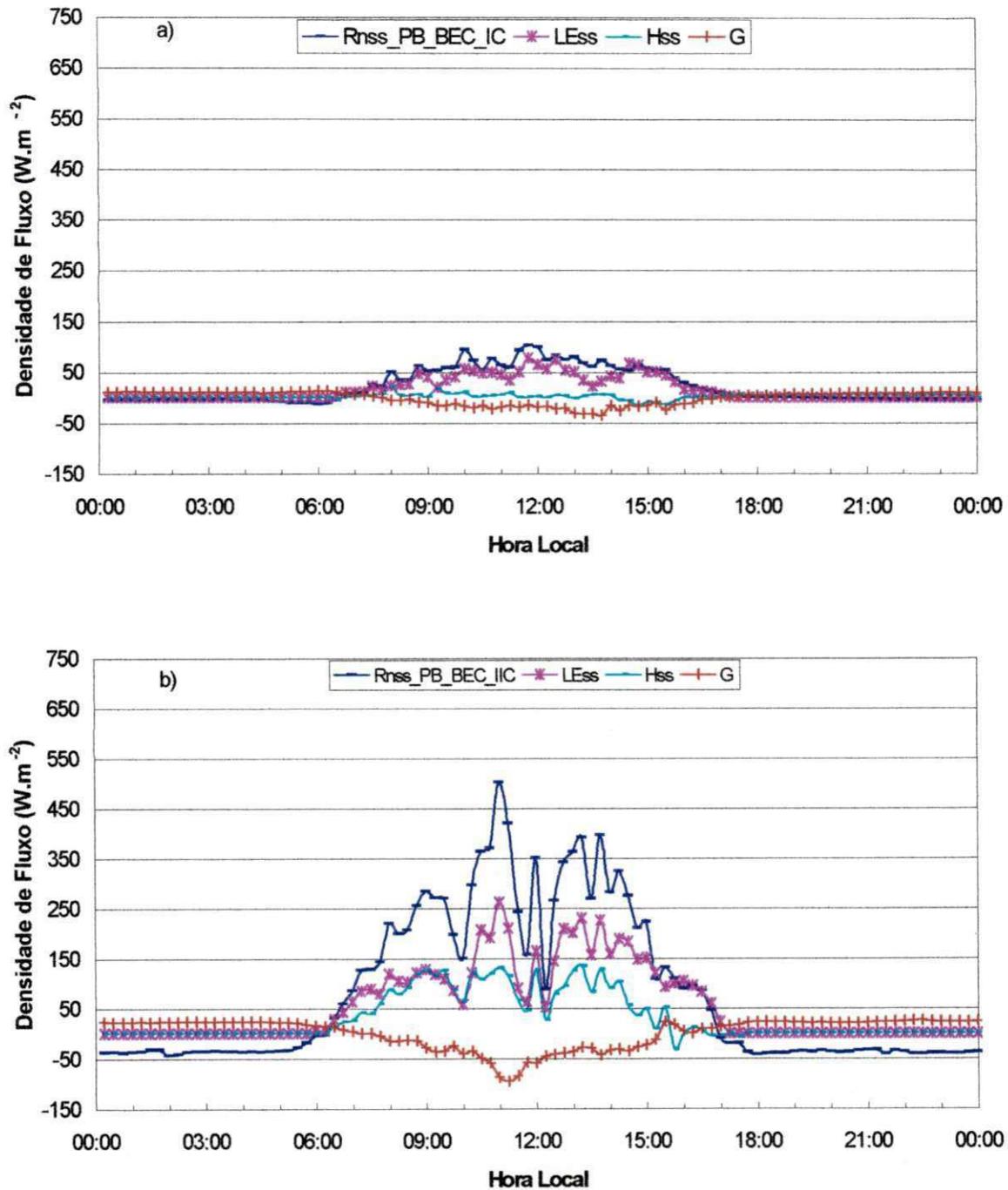


Fig. 4.10. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo”: saldo de radiação – $Rnss_BEC_IC$, fluxo de calor latente – $LEss$, fluxo de calor sensível – Hss e fluxo de calor no solo – G , correspondente ao PB para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

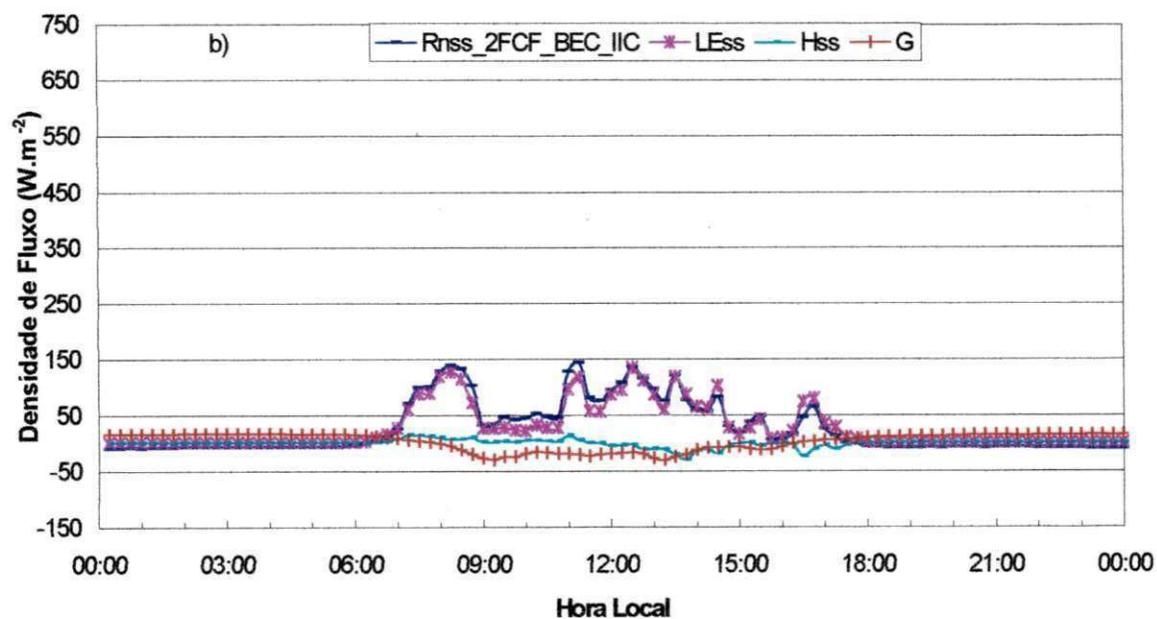
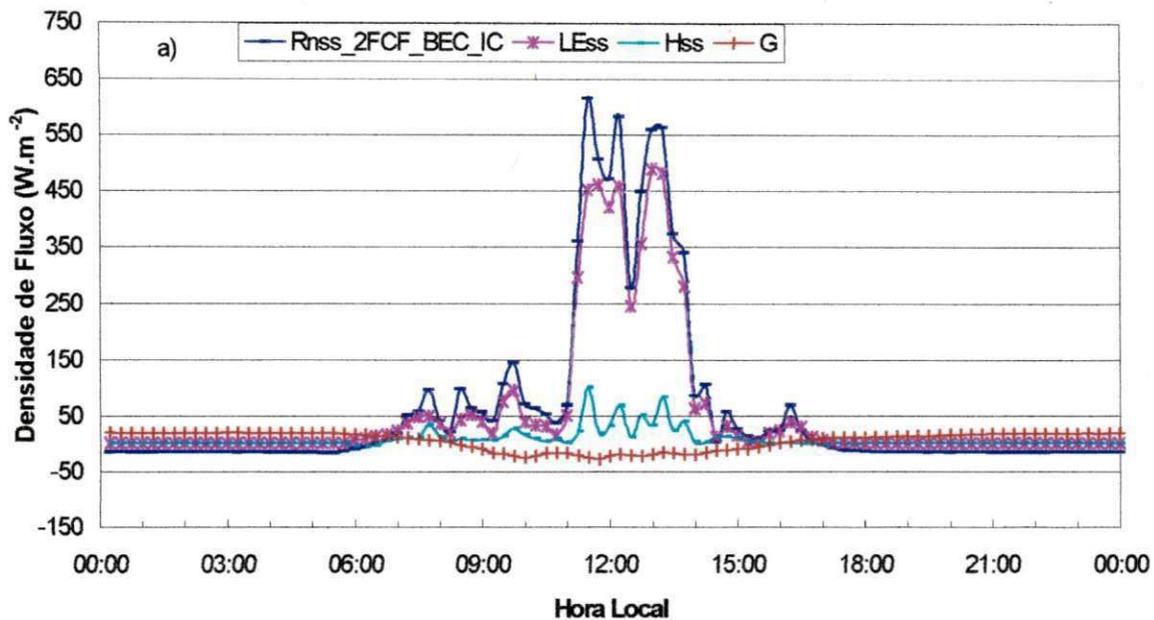


Fig. 4.11. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico referente ao sistema “superfície do solo”: saldo de radiação – $Rnss_BEC_IC$, fluxo de calor latente – $LEss$, fluxo de calor sensível – Hss e fluxo de calor no solo – G , correspondente à 2ªFCF para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.

Nessa análise, é importante destacar que os valores de LE e de H, obtidos sob condições em que $\beta \cong -1$, tornam-se irrealis e deveriam ser excluídos do balanço de energia para não afetarem o cálculo da evapotranspiração (Ohmura, 1982). Porém, Malek *et al.* (1990) recomendam que quando os valores de β aproximarem-se de -1 , deve-se calcular a média com base nos valores antecedente e procedente de LE, enquanto H deve ser calculado pelo processo normal do balanço de energia.

Norman & Campbell (1983), citados por Ashktorab *et al.* (1989), afirmaram que quando o solo permanece úmido, a evaporação abaixo de uma copa moderadamente densa (IAF $\cong 3$) pode-se constituir numa fração substancial (30%) do fluxo total de calor latente para um período de 24 horas. Denmead (1984), conduzindo estudos em florestas de pinus, usando a técnica Eddy Correlation, obteve frações de evaporação da ordem de 40%. Por outro lado, Al-Khafaf *et al.*, (1978) menciona que quando o valor do saldo de radiação abaixo da copa da cultura é baixo, a fração de evaporação de uma superfície úmida iguala-se à de uma superfície seca.

Zhang & Lemeur (1995) observaram que LE tende a comportar-se de maneira similar à radiação solar e que o déficit de pressão de vapor pode ser desprezado sob condições atmosféricas estáveis com baixa nebulosidade.

Ashktorab *et al.* (1989), analisando os fluxos de energia a partir da superfície do solo pelo método da razão de Bowen, concluíram que este método mostrou-se adequado para medição dos componentes do balanço de energia abaixo da copa da planta. Daamen *et al.* (1999) constataram gradientes insignificantes de umidade entre as alturas de 0,30 m e 0,60 m, onde não se esperaria aplicar-se a teoria K, por causa dos efeitos da proximidade da área limite superior do volume de controle. Assim, para se estimar os fluxos no volume de controle abaixo da copa, os sensores deveriam ser instalados a 0,10 m da superfície do solo. Oke (1987), citado por Daamen (1999), recomenda adotar-se permutas freqüentes da posição dos sensores para minimizar os erros de leitura de pressão de vapor.

McBean (1972), citado por Crago & Brutsaert (1996), mostrou que a aceitação de similaridade $K_h = K_v$ no BERB pode ser violada quando a flutuação de temperatura ou de umidade domina a produção flutuante de monções verticais. Este autor define um escalar ativo como aquele cuja variação afeta a densidade de fluxo e contribui para a geração flutuante de monções verticais. Assim, a temperatura é classificada como um escalar ativo e umidade como um escalar passivo para valores elevados de β . Este autor afirma,

também, que quando $\frac{K_h}{K_v} > 1,0$, o BERB superestima LE para $\beta > 0$ e subestima LE para $\beta < 0$.

Verma *et al.* (1978), estudando os comportamentos dos coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_h) e vapor d'água (K_w), sob condições advectivas em uma cultura de soja irrigada, verificaram que os valores de K_h geralmente são maiores que os de K_w e que a relação $\Delta T/\Delta e$ é negativa sob condições de advecção, desde que a transferência de H e de LE ocorra em direções opostas. Estes autores verificaram, também, que altos valores de LE estão associados a baixos valores da relação $|\Delta T/\Delta e|$, o que pode estar correlacionado com fortes condições advectivas.

Daamen *et al.* (1999) obtiveram uma boa concordância para as estimativas dos fluxos LE e H, cujos desvios padrões foram de 0,06 e de 0,98, respectivamente. Estes autores verificaram, também, que algumas vezes, estas concordâncias não são boas, principalmente quando as densidades de fluxos são pequenas, o que pode ser resultante da pobre estimativa da energia disponível para pequenos ângulos solares.

Heilman *et al.* (1994), comparando os balanços de energia pela razão de Bowen em um parreiral conduzido no sistema de espaldeira aplicado ao parreiral como um todo, copa e a superfície do solo, verificaram que a superfície do solo tinha um impacto muito importante nos balanços de energia da copa e do parreiral. Os valores máximos obtidos para R_n , LE e H, correspondentes ao parreiral como um todo, foram da ordem de 620, -321 e -263 W.m^{-2} , respectivamente, enquanto os valores máximos de R_{ns} , LEs e Hs determinados para a superfície do solo, foram de 588, -205 e -254 W.m^{-2} , respectivamente, tendo LEs representado 55% de LE. Heilman *et al.* (1994) constataram, ainda, que embora R_{ns} tenha seguido o curso de R_n acima da copa, o fluxo de R_{nc} não o fez. Ou seja, os piques de R_{nc} ocorreram no início da manhã e no final da tarde, cujos valores foram de 139 e de 209 W.m^{-2} , respectivamente, correspondendo aos períodos de tempo, quando então os fluxos de radiação direta que incidiam nas laterais da fileira de plantas eram máximos. H_c era negativo no período da manhã e positivo durante e após o meio dia. Constataram, também, que entre 11h00 e 15h48, a copa absorveu calor sensível gerado pela superfície do solo, cuja quantidade correspondeu a um intervalo que variou entre 33 e 78% de LE_c . Diante disto, estes autores concluíram que os balanços de energia da copa e da superfície do solo não podem ser tratados como sistemas independentes, uma vez que o

calor sensível gerado pela superfície do solo pode ser o maior contribuinte para o balanço de energia e, conseqüentemente, para a transpiração da copa.

Oliver & Sene (1992), realizando estudos de balanços de energia pela razão de Bowen em pomares de videira em desenvolvimento, em regiões semi-áridas da Espanha, cultivada em condições de sequeiro, constataram que as indicações preliminares são de que a cultura da videira pode comportar-se como dois sistemas independentes, sendo um constituído pela planta e outro pela superfície do solo nu. Ou seja, verificaram que mesmo com a camada superficial do solo extremamente seca, a planta não apresentava sinais de estresse hídrico, indicando que a água evapotranspirada era proveniente das camadas mais profundas do solo.

Daamen *et al.* (1999), estudando o fluxo de energia em um pomar de limão, cujo fator de cobertura do solo era de 39%, mencionaram que o BERB não é usualmente utilizado dentro ou abaixo de copa de plantas, porque tem sido mostrado que a K-Teoria tem sido incorreta nesta situação.

4.2.4. Variação dos Componentes do Balanço de Energia Segundo a Fenologia da Videira

A variação dos componentes do balanço de energia ao longo da fenologia da videira mostra o resumo das interações dos elementos climáticos com as características específicas de oito estádios fenológicos distintos da planta, referentes ao sistema “copa-solo” e ao seu desmembramento em dois subsistemas - “copa” e “superfície do solo”.

4.2.4.1. Variação dos Componentes do Balanço de Energia para o Sistema “Copa-solo”

Nas Figuras 4.12a e 4.12b estão apresentadas as variações dos componentes do balanço de energia, obtidos com base em valores médios diários correspondentes aos diferentes estádios fenológicos da videira para o 1º e 2º ciclos de cultivo, respectivamente, utilizando a metodologia do balanço de energia clássico, aplicada ao sistema copa-solo.

Para o 1º ciclo de cultivo da videira (Figura 4.12a), o comportamento da curva referente a LE tendeu a acompanhar as flutuações da curva relativa ao saldo de radiação, ao longo do ciclo fenológico da cultura. Ou seja, estes parâmetros apresentaram aumentos

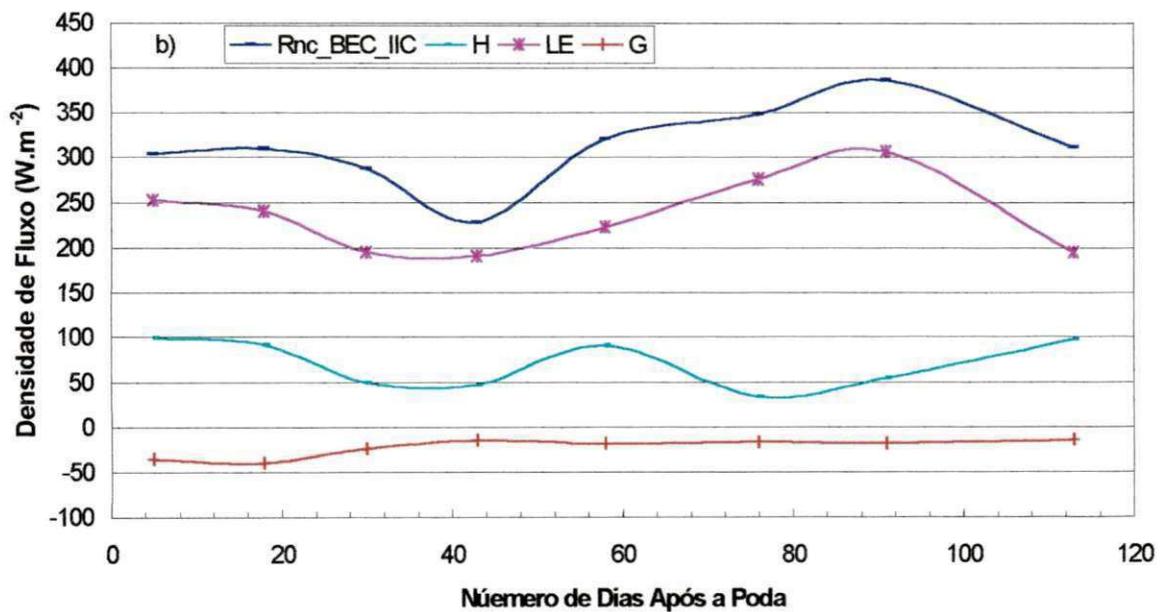
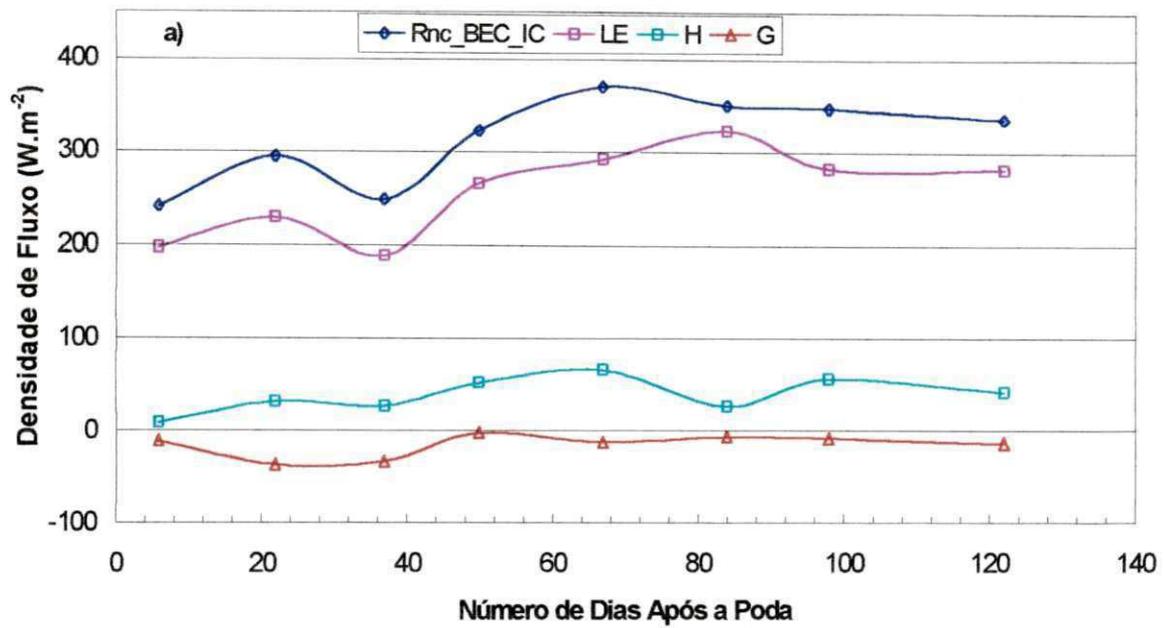


Fig. 4.12. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia clássico (R_{nc_BEC}), calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G), obtidas pelo balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo” correspondente ao: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE

graduais entre os estádios de PB e de DV, sendo seguidos por reduções bastantes significativas durante as fases de pré e de plena floração. A partir daí, passaram a aumentar de maneira acentuada até o final da fase de PCF, tendo Rnc alcançado o valor máximo de $369 \pm 82,78 \text{ W.m}^{-2}$, quando, então, houve um pequeno decréscimo, mas os valores de LE continuaram aumentando com incrementos praticamente iguais aos obtidos entre os estádios de PFF e da 1ªFCF, atingindo um máximo da ordem de $322,01 \pm 95,65 \text{ W.m}^{-2}$, decorrente da redução de H. A densidade de fluxo do saldo de radiação alcançada no final da 2ªFCF apresentou um pequeno decréscimo, até o estádio de RF, quando alcançou $335,44 \pm 108,79 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto as densidades de fluxo de LE estabilizaram-se em cerca de 281 W.m^{-2} , apenas entre as fases de maturação final do fruto e de repouso fenológico da videira. Para o 2º ciclo (Figura 4.12b), os comportamentos destes parâmetros foram praticamente semelhantes, as reduções observadas no início do ciclo estenderam-se até 1ªFCF e foram bem mais significativas quando comparadas com aquelas encontradas durante o 1º ciclo. Ou seja, Rnc decresceu de $302,86 \pm 92,81 \text{ W.m}^{-2}$ para $227,52 \pm 129,15 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto que a redução em LE foi da ordem de 45,66%. No entanto, a partir daí estes parâmetros passaram a aumentar progressivamente alcançando, os pontos de máxima em torno de $385,52 \pm 87,90$ e de $305,92 \pm 101,79 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente, no estádio de MFF, quando, então, decresceram bastante durante o repouso fenológico.

Os valores diários médios de H para o 1º ciclo (Figura 4.12a) cresceram progressivamente, a partir do estádio de PB até o final da fase de parada de crescimento do fruto, tendo alcançado um valor máximo da ordem de $64,55 \pm 30,46 \text{ W.m}^{-2}$, quando, então, decresceram de modo significativo para $25,45 \pm 35,03 \text{ W.m}^{-2}$ no estádio da 2ªFCF, mas voltou a aumentar, adquirindo o formato de uma senóide. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.12b), pode-se observar que os valores de H reduziram-se bastante, apenas entre os estádios de PB e de DV, mas tenderam a estabilizar-se em torno de $47,83 \pm 62,91 \text{ W.m}^{-2}$ durante a PFF e a 1ªFCF, quando, então também alcançaram o formato de uma senóide, porém com valores duas vezes mais elevados quando comparados ao 1º ciclo. Portanto, o sistema copa-solo liberou calor sensível para o ambiente, ao longo de ambos os ciclos de cultivo da videira.

Por outro lado, os valores diários médios de G, relativo ao 1º ciclo (Figura 4.12a), mostraram uma tendência contrária ao da densidade de fluxo de calor sensível, entre os dois primeiros estádios de desenvolvimento da videira, atingindo um ponto da ordem de

$-38,17 \pm 18,66 \text{ W.m}^{-2}$, mas passaram a crescer a partir daí até o final da 1ªFCF, cujos valores aproximaram-se bastante de zero. Durante os três estádios fenológicos seguintes, esta densidade de fluxo manteve-se praticamente estável, oscilando em torno de $-10,37 \pm 7,94 \text{ W.m}^{-2}$, mas apresentou um pequeno decréscimo durante o estágio de RF. No que diz respeito ao 2º ciclo (Figura 4.12), verificou-se que G situou-se num patamar em torno de $-38,35 \pm 19,52 \text{ W.m}^{-2}$ ao longo dos dois primeiros estádios, quando se elevou para um segundo nível da ordem de $-17,30 \pm 13,09 \text{ W.m}^{-2}$, onde se manteve durante o restante do ciclo fenológico da videira. Isto significa que a superfície do solo funcionou como sumidouro de energia ao longo de ambos os ciclos produtivos da videira.

4.2.4.2. Variação dos Componentes do Balanço de Energia para o Sistema “Copa”

Nas Figuras 4.13a e 4.13b estão mostradas as variações dos componentes do balanço de energia obtidos com base em valores médios diários correspondentes aos estádios fenológicos da videira para o 1º e 2º ciclos de cultivo, respectivamente, levando-se em consideração a metodologia modificada do balanço de energia, aplicada ao sistema “copa”. Pode-se constatar, nas Figuras 4.13a e 4.13b, que os comportamentos das curvas referentes a L_{Ec} tenderam a acompanhar as flutuações das curvas relativas a R_{ncc} obtidas para a copa da videira ao longo do seu ciclo fenológico, porém com valores ligeiramente menores, exceção para o estágio de PB do 2º ciclo, em que L_{Ec} foi maior. Ou seja, constatou-se no 1º ciclo (Figura 4.13a) que tanto R_{ncc} quanto L_{Ec} apresentaram uma tendência decrescente entre os estádios de DV e de PFF, quando atingiram valores da ordem de $153,75 \pm 71,02$ e de $133,75 \pm 60,78$, respectivamente, mas que a partir daí, passaram a aumentar de maneira acentuada até o final da 2ªFCF, alcançando os máximos de $329,27 \pm 93,61 \text{ W.m}^{-2}$ para R_{ncc} e de $309,72 \pm 102,92 \text{ W.m}^{-2}$ para L_{Ec}, quando, então, se constatou um pequeno decréscimo para R_{ncc}, porém bem mais acentuado para L_{Ec} nos dois estádios fenológicos seguintes. Durante o 2º ciclo (Figura 4.13b), as tendências decrescentes destes componentes prolongaram-se até a 1ªFCF e foram muito mais drásticas quando comparadas com o 1º ciclo, uma vez que, em termos médios, seus valores decresceram de 300 para 100 W.m^{-2} , enquanto nos estádios fenológicos seguintes, os resultados obtidos foram ligeiramente menores do que aqueles obtidos no 1º ciclo.

Os valores diários médios de H obtidos para o 1º ciclo (Figura 4.13a) mostraram um pequeno crescimento entre os estádios de PB e de DV, atingindo um patamar de

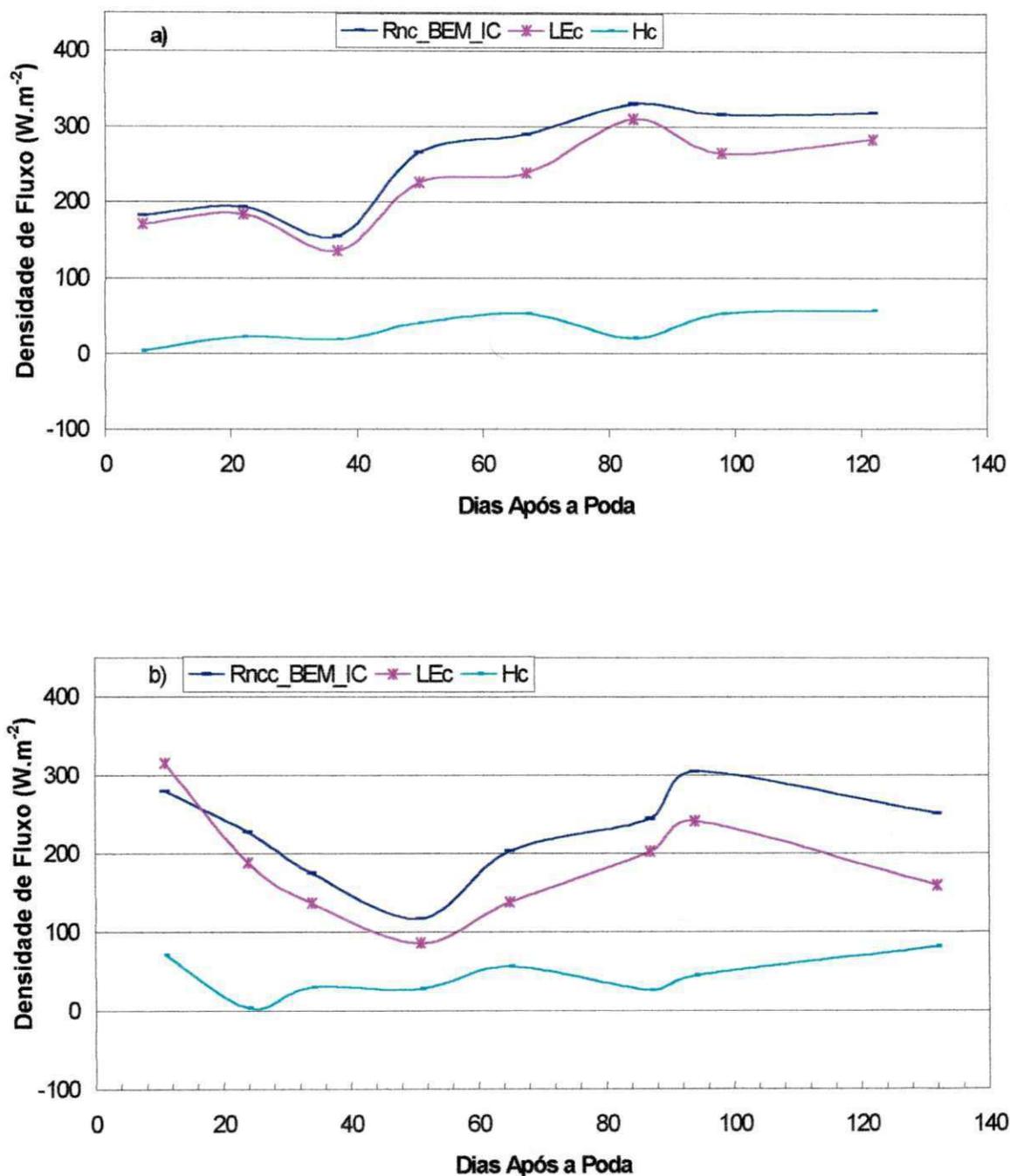


Fig. 4.13. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia modificado (Rncc_BEM), calor latente (LEc) e calor sensível (Hc), obtidas pelo balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira” ao longo do seu ciclo fenológico, para o: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE.

$20,23 \pm 14,13 \text{ W.m}^{-2}$, sendo que a partir daí até o RF, apresentaram um comportamento bimodal, com valores variando entre $20,16 \pm 46,45$ e $52,67 \pm 26,64 \text{ W.m}^{-2}$. Os resultados obtidos durante os distintos estádios do 2º ciclo (Figura 4.13b) também foram bastante similares, exceto para o estágio de PB e de RF, com valores superiores a 56 W.m^{-2} . Verifica-se, portanto, que o sistema liberou calor sensível para o ambiente, ao longo de ambos os ciclos produtivos da videira.

4.2.4.3. Variação dos Componentes do Balanço de Energia para o Sistema “Superfície do Solo”

Nas Figuras 4.14a e 4.14b estão mostrados os desempenhos dos componentes do balanço de energia obtidos com base em valores médios diários correspondentes aos distintos estádios fenológicos da videira para o 1º e 2º ciclos de cultivo, respectivamente, aplicando a metodologia do balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo”. Para o 1º ciclo de cultivo da videira (Figura 4.14a), os comportamentos de R_{nss} e de LE_{ss} adquiriram formatos bimodais, com máximos nos estádios de PB e da 2ªFCF e com mínimos durante a 1ªFCF e RF, sendo que o valor mais elevado de R_{nss} foi obtido por ocasião do estágio de PB da videira. Por outro lado, os valores mínimos de R_{nss} e LE_{ss} situaram-se em torno de 50 W.m^{-2} para ambos os estádios, exceto para LE_{ss} no RF, que foi de $24,53 \pm 26,4 \text{ W.m}^{-2}$. Para o 2º ciclo (Figura 4.14b), os comportamentos destes parâmetros apresentaram tendências decrescentes a partir do estágio de PB até o MFF. Ou seja, R_{nss} decresceu de $263,10 \pm 93,57 \text{ W.m}^{-2}$ para $42,92 \pm 24,71 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto que a redução em LE foi da ordem de 75,32 %.

Os valores diários médios de H para o 1º ciclo (Figura 4.14a) mostraram uma oscilação bastante pequena ao longo do ciclo fenológico da videira, cujo valor médio foi da ordem de $13,23 \pm 23,71 \text{ W.m}^{-2}$, exceto os estádios de PB e de RF, que se situaram em torno de $5,98 \pm 13,08 \text{ W.m}^{-2}$. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.14b), pode-se observar que os valores de H reduziram-se bruscamente entre os quatro primeiros estádios fenológicos da videira, tendo passado de $87,36 \pm 45,79 \text{ W.m}^{-2}$ para $-38,94 \pm 56,36 \text{ W.m}^{-2}$, mas tenderam a aumentar, tendo-se estabilizado em torno de $-3,05 \pm 14,94 \text{ W.m}^{-2}$, durante os três últimos estádios. Ou seja, durante o 1º ciclo de cultivo, o sistema superfície do solo liberou calor sensível para o ambiente, enquanto durante o 2º, a partir da 1ªFCF, passou a funcionar

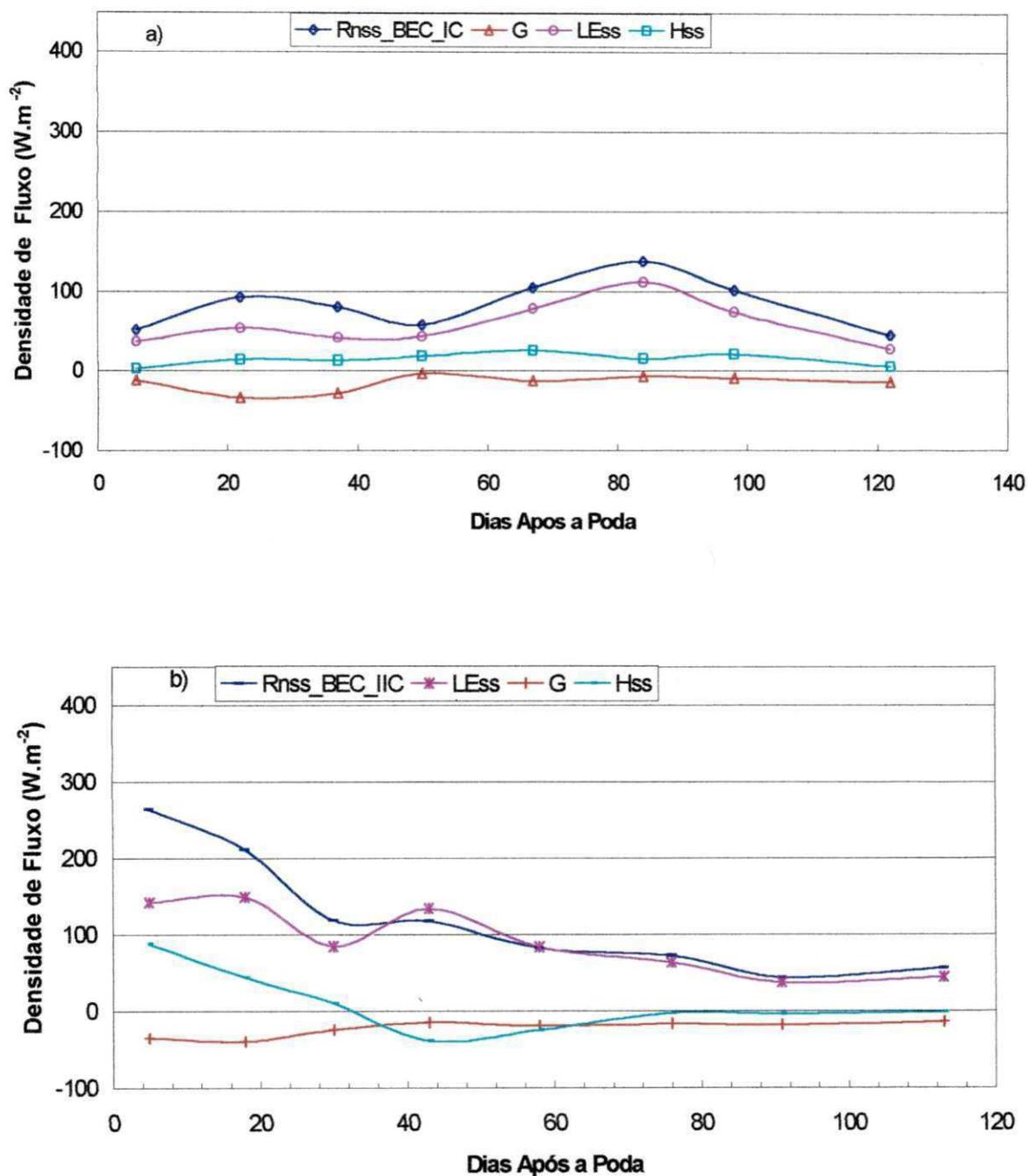


Fig. 4.14. Comportamento das médias diárias do saldo radiação para o balanço de energia clássico (Rnss_BEC), calor latente (LEss), calor sensível (Hss) e calor no solo (G), obtidas pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo” ao longo do seu ciclo fenológico da videira, para o: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo produtivo, Petrolina - PE.

como sumidouro de calor sensível.

Por outro lado, os valores diários médios de G para o 1º ciclo (Figura 4.14a) apresentaram um valor médio de $-25,92 \pm 13,84 \text{ W.m}^{-2}$, nos três primeiros estádios de desenvolvimento da videira, elevando-se para $-4,10 \pm 9,76 \text{ W.m}^{-2}$ durante a 1ªFCF, estabilizando-se no patamar de $-11,55 \pm 8,13 \text{ W.m}^{-2}$ ao longo dos estádios de PCF, 2ªFCF e MFF e decrescendo então para $-15,09 \pm 8,72 \text{ W.m}^{-2}$. No que diz respeito ao 2º ciclo (Figura 4.14b), verificou-se que G situou-se em torno de $-38,35 \pm 19,52 \text{ W.m}^{-2}$ ao longo dos dois primeiros estádios, mas se elevou para um patamar em torno de $-17,30 \pm 13,09 \text{ W.m}^{-2}$ durante o restante do ciclo fenológico da videira.

Quando se faz uma análise comparativa entre os componentes dos BERB aplicados aos distintos sistemas, pode-se observar que as densidades de fluxo correspondentes a R_{nc} , R_{ncc} , LE e LEC apresentaram reduções significativas para o estádio de PFF em ambos os ciclos produtivos, tanto para o sistema “copa-solo” quanto para o sistema “copa”. Isto é decorrente da poda verde da videira, que normalmente é realizada antes da abertura das flores, o que proporciona uma pequena redução no fator de cobertura do solo, como pode ser observado nas Figuras 4.5a e 4.5b. Os aumentos de LE e LEC em ambos os tipos de sistemas, constatados entre os estádios de PB e de DV e entre PPF e a 2ªFCF, durante o 1º ciclo de cultivo (Figuras 4.12a e 4.13a) e entre a 1ªFCF e a MFF durante o 2º ciclo (Figuras 4.12b e 4.13b), estão relacionados com os respectivos crescimentos do IAF da planta, bem como com as densidades de fluxo de R_{nc} e de R_{ncc} . As estabilizações dos valores de R_{nc} , R_{ncc} , LE e LEC verificadas ao longo dos estádios de MFF e de RF, durante o 1º ciclo, e suas respectivas reduções entre os estádios de MFF e de RF relativo ao 2º ciclo, estão associadas à suspensão da irrigação, bem como à senescência da folhagem da videira, que é caracterizada por mudanças na sua coloração.

Quanto ao fluxo de calor no solo, verifica-se que o aumento observado entre os dois primeiros estádios fenológicos da videira para o 1º ciclo produtivo correspondentes aos sistemas “copa-solo” (Figura 4.12a) e “superfície do solo” (Figura 4.14a), pode ser resultante do baixo conteúdo de água no solo, uma vez que o bulbo molhado ainda estava sendo recomposto. No entanto, a sua tendência decrescente alcançada entre os estádios de PFF e da 1ªFCF, é decorrente do crescimento da parte aérea tanto da videira quanto das culturas utilizadas como cobertura orgânica, cujo corte foi realizado aos 54 DAP, coincidindo com o final da 1ªFCF. A partir daí, as densidades de fluxo deste parâmetro tenderam a se estabilizar em um patamar de $11,55 \pm 8,13 \text{ W.m}^{-2}$, durante os demais estádios

fenológicos, mas sinalizaram um pequeno aumento entre a MFF e o RF, em razão da redução do conteúdo de umidade no solo, proporcionado pela suspensão da irrigação, bem como pela degradação da cobertura morta. Quando se considera o 2º ciclo (Figuras 4.12b e 4.14b), pode-se observar que G permaneceu estável durante os dois primeiros estádios, mas decresceu rapidamente para um patamar de $-17,30 \pm 13,09 \text{ W.m}^{-2}$.

Por outro lado, os comportamentos obtidos para as curvas de densidades do fluxo de calor sensível observados ao longo da fenologia da videira, para os distintos sistemas, estão extrinsecamente associados aos respectivos comportamentos dos demais componentes do balanço de energia (Figuras 4.12 a 4.14).

A correção média de R_{nc} em função da velocidade do vento foi da ordem de $5,13 \pm 0,75\%$ para o 1º ciclo e de $4,20 \pm 1,16\%$ para o 2º.

Massman (1992) constatou, por meio de estudos de evapotranspiração em culturas que cobrem parcialmente a superfície do solo, que o BERB torna-se particularmente difícil, por causa da relativa contribuição dos componentes do solo e da planta para a obtenção da evapotranspiração total, que pode variar tanto ao longo de um dia como ao longo do seu ciclo produtivo, independentemente das variações naturais das estações climáticas. O autor menciona, também, que quando $H < 0$, significa que não há efeito de oásis ou pequeno efeito advectivo.

4.2.5. Relação entre os Fluxos de Energia Disponível e Consumida no Balanço de Energia no Parreiral

Foram analisadas as relações entre os fluxos de energia disponível e os fluxos de energia consumida no processo de evapotranspiração, para cada um dos oito estádios fenológicos da videira, por meio do BERB aplicado ao sistema “copa-solo” e à sua subdivisão em dois subsistemas - “copa” e “superfície do solo”.

4.2.5.1 – Balanço de Energia para o Sistema “Copa-solo”

Nas Figuras 4.15a a 4.15b estão ilustradas as relações entre o fluxo de energia disponível $(R_{nc} - G)_{cor}$ e consumido $(LE)_{cor}$ no processo de evapotranspiração da videira e no aquecimento ambiental, de conformidade com os balanços de energia diários médios, obtidos para o volume de controle único, correspondentes aos estádios fenológicos de PB e

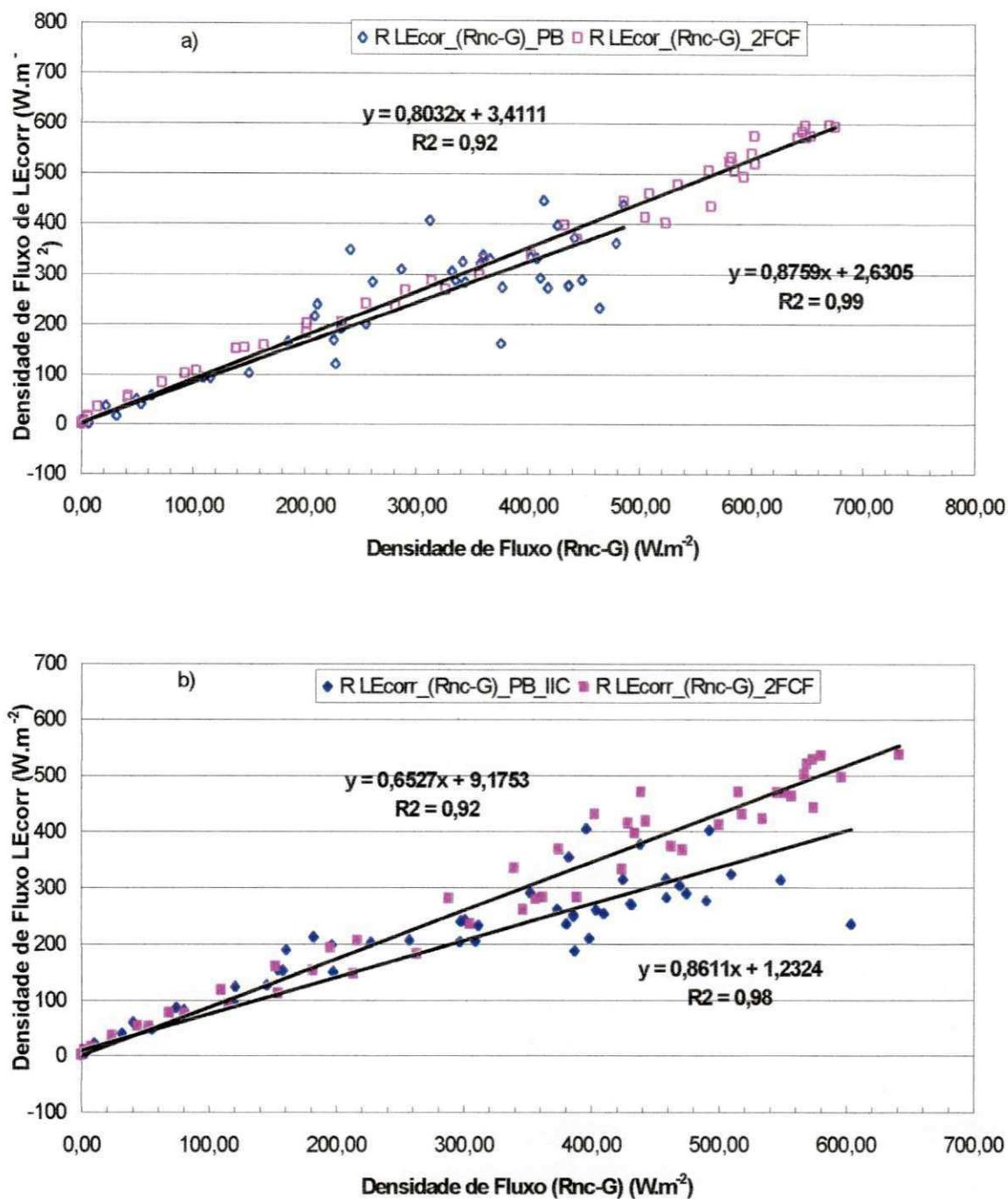


Fig. 4.15. Relação entre o fluxo de calor latente - LE e a diferença entre o saldo radiação e o fluxo de calor no solo corrigidos (Rnc - G), obtidos pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema "copa-solo" para os estádios de PB e da 2^aFCF, sendo: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo de produção da videira, Petrolina - PE.

da 2^aFCF para o 1^o e o 2^o ciclos de produção. Pode-se observar para o 1^o ciclo (Figura 4.15a), que estas relações são explicadas por uma regressão linear de primeiro grau, cujos coeficientes de determinação (R^2) foram de 0,92 para o PB e de 0,99 para a 2^aFCF. Estes resultados, também, foram confirmados para o 2^o ciclo (Figura 4.15b), uma vez que seus coeficientes R^2 oscilaram em torno de 0,92 e 0,98, correspondentes aos estádios de PB e 2^aFCF, respectivamente. Resultados similares, também, foram determinados para os demais estádios fenológicos da videira.

4.2.5.2. Balanço de Energia para o Sistema “Copa”

Nas Figuras 4.16a e 4.16b estão mostradas as relações entre o fluxo de energia disponível (R_{ncc})_{cor} e consumida (LE_c)_{cor} no processo de evapotranspiração da videira e no aquecimento ambiental, de conformidade com nos balanços de energia diários médios, obtidos para o subvolume copa da videira, referentes aos estádios fenológicos de PB e da 2^aFCF para o 1^o e o 2^o ciclos de produção. Pode-se constatar, também, que no 1^o ciclo (Figura 4.16a), estas relações são explicadas por uma regressão linear de primeiro grau, tendo mostrado coeficientes de determinação (R^2) da ordem de 0,66 e 0,99 para os estádios de PB e da 2^aFCF, respectivamente. Para o 2^o ciclo (Figura 4.16b), os valores de R^2 foram de 0,95 para o PB e de 0,98 para a 2^aFCF. Para os demais estádios fenológicos da videira, estes coeficientes mostraram-se sempre superiores a 0,98.

4.2.5.3. Balanço de Energia para o Sistema “Superfície do Solo”

Nas Figuras 4.17a e 4.17b estão representadas as relações entre o fluxo de energia disponível ($R_{nss} - G$)_{cor} e o consumido (LE_{ss})_{cor} no processo de evapotranspiração das culturas utilizadas como cobertura orgânica verde e de outras ervas daninhas, assim como nos processos de evaporação e no aquecimento ambiental, com base no balanço de energia diário médio para o subvolume de controle relativo à superfície do solo, correspondentes aos estádios fenológicos do PB e da 2^aFCF do 1^o e 2^o ciclos produtivos da videira. Pode-se verificar que os valores de R^2 obtidos com base na regressão linear de primeiro grau no 1^o ciclo (Figura 4.17a), também se mostraram muito elevados, tendo sido de 0,93 e 0,99 para os estádios de PB e 2^aFCF, respectivamente. Para o 2^o ciclo (Figura 4.17b), estes resultados oscilaram em torno de 0,91 para o PB e de 0,92 para a 2^aFCF.

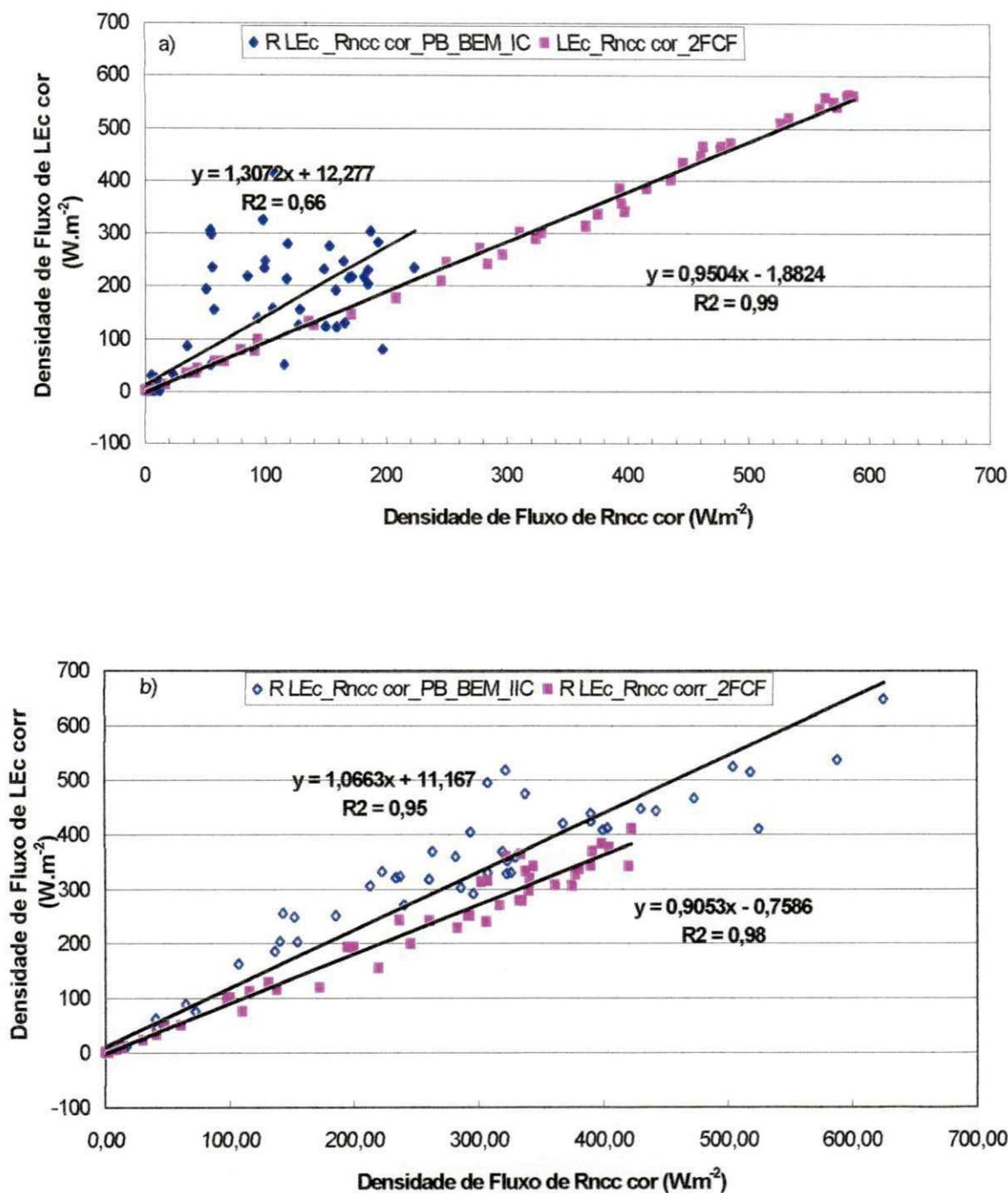


Fig. 4.16. Relação entre o fluxo de calor latente - LEc e o fluxo do saldo radiação - Rncc corrigidos, obtidos pelo balanço de energia modificado correspondente ao sistema “copa da videira”, para os estádios de PB e da 2^aFCF, sendo: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo de produção, Petrolina - PE.

O baixo valor de R^2 obtido por ocasião do estágio de PB do 1º ciclo de produção é decorrente de problemas operacionais ocorridos nos psicrômetros, detectados no início deste estudo. Parte da energia disponível foi transformada em fluxo de calor sensível, principalmente durante o 2º ciclo de cultivo, em que os valores de R^2 oscilaram entre 0,80 e 0,92.

Os elevados valores de R^2 obtidos para as relações entre a energia disponível e aquela usada nos processos de evapotranspiração e no aquecimento ambiental, para os sistemas “copa-solo”, “copa da videira” e “superfície do solo”, proporcionaram resultados excelentes para os diversos estádios fenológicos da videira. Isto mostra a adequabilidade de subdivisão do volume de controle único em dois subvolumes de controle distintos: i) copa da videira; ii) superfície do solo.

Sene (1994) constatou que o efeito combinado de mudanças em R_n e G causou um aumento de 30 a 40%, em alguns dias com chuva, efeito provocado aparentemente pela chuva, uma vez que a redução do albedo relativo à radiação de onda curta caía de 0,27 para 0,22, mas retornava ao valor de 0,27 entre 1 e 2 dias após o evento da chuva.

Spano *et al.* (2000), usando a técnica de propagação de calor da superfície para estimativas das densidades de fluxos de calor sensível e de calor latente, a partir da copa da videira, e relacionando a somatória destes componentes com a energia disponível determinada pelo BERB, obtiveram um coeficiente de correlação da ordem de 0,93.

Os valores do desvio absoluto percentual médio (DAPM) obtidos para a relação entre a energia disponível $(R_n - G)_{corr}$ e $(LE)_{cor}$, com base na metodologia recomendada por Daamen *et al.* (1999), aplicada aos sistemas “copa-solo” e “superfície do solo” e da relação entre $(R_{ncc})_{cor}$ e $(LEc)_{cor}$ aplicada ao sistema “copa”, levando-se em consideração os oito estádios fenológicos, durante dois ciclos produtivos da videira, levaram aos seguintes resultados: i) quando se consideram os sistemas “copa-solo” e “copa”, constatou-se que os valores médios globais de DAPM foram de $24,23 \pm 16,06$ e $22,02 \pm 15,75\%$, respectivamente; ii) quando se considera o sistema “superfície do solo”, obteve-se os valores mais elevados de DAPM, que foram da ordem de $45,01 \pm 18,81\%$ no 1º ciclo e de $45,68 \pm 28,56\%$ no 2º ciclo. Os altos valores de DAPM obtidos para o sistema “superfície do solo” podem significar que o BERB apresenta restrições quando aplicado a esta condição (Tabela 7.1.1). Estes resultados contrariam aqueles determinados com base na metodologia de Spano *et al.* (2000).

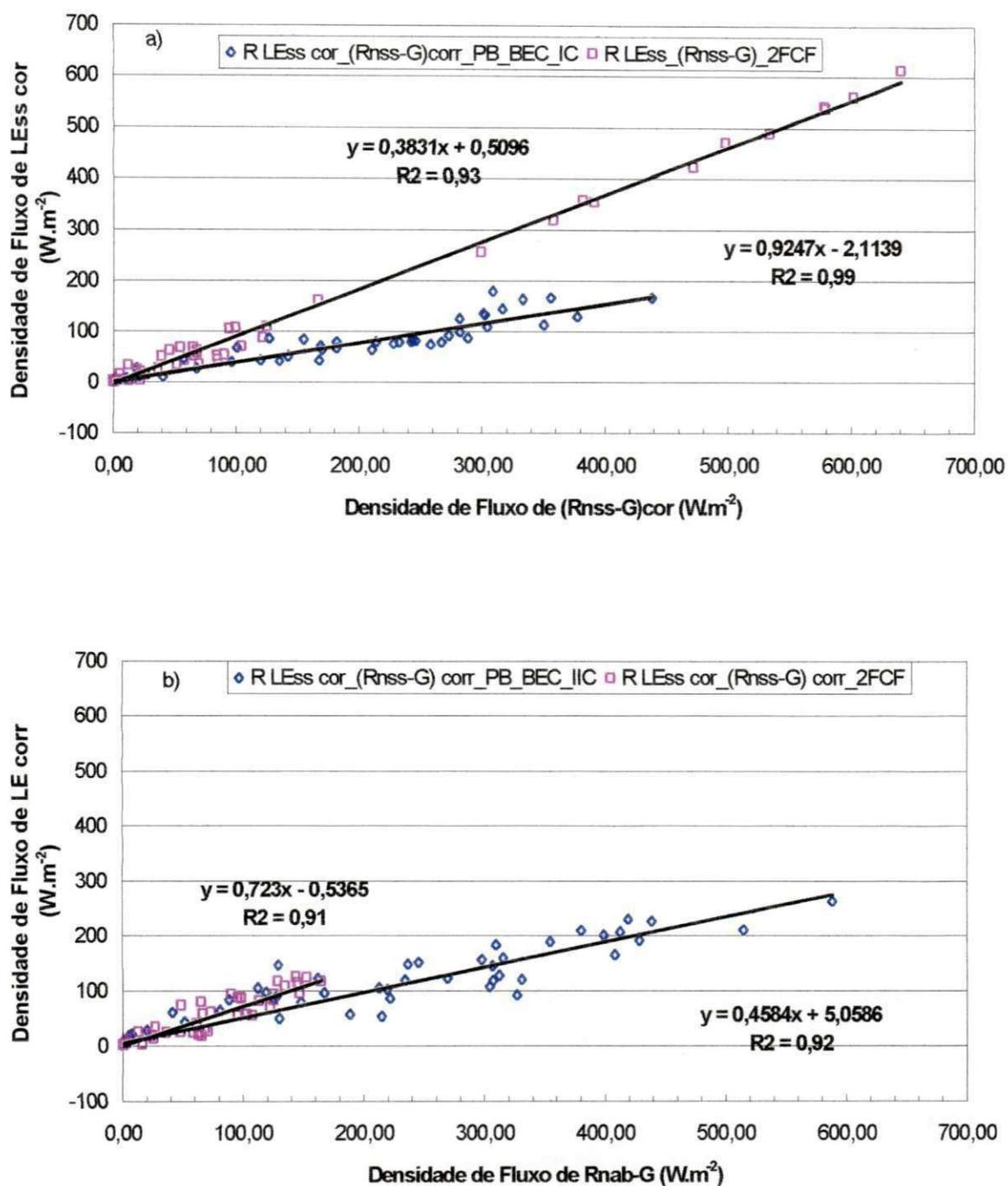


Fig. 4.17. Relação entre o fluxo de calor latente – LEss e a diferença entre o fluxo do saldo radiação e o fluxo de calor no solo corrigido – (Rnss – G), obtidos pelo balanço de energia clássico correspondente ao sistema “superfície do solo”, para os estádios de PB e da 2^aFCF, sendo: a) 1^o ciclo e b) 2^o ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Tabela 4.3. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LEc/Rncc) e entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (Hc/Rncc), para os oito estádios fenológicos da videira, 1º ciclo de produção, jul a nov/2001, com base na metodologia modificada, Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Dias após a poda	LEc/Rncc (%)	Hc/Rncc (%)	Total (%)
PB	11	93,75±6,01	6,48±3,86	100,23
DV	32	91,38±8,76	11,81±5,68	103,20
PFF	41	87,02±8,32	10,78±6,30	97,90
1ªFCF	58	85,47±10,29	12,94±9,09	98,42
PCF	78	82,14±8,54	17,44±7,90	99,59
2ªFCF	92	90,12±9,53	9,94±7,25	100,06
MFF	103	82,94±6,72	14,82±6,57	97,76
RF	140	84,89±8,34	10,22±6,17	95,12
Media		87,21±8,31	11,80±6,60	99,01

solo”, com os determinados pela metodologia em que se subdivide o sistema copa-solo em dois sistemas distintos, sistema “copa”, utilizando a metodologia modificada - BEM e noutro sistema superfície do solo), em que, também, se utiliza a metodologia clássica, pode-se constatar que: i) a relação média entre LE/Rnc foi da ordem de 81,1% quando se considera o sistema “copa-solo”, mas aumentou para 85,8% para o sistema “copa” e caiu para 68,0% para o sistema “superfície do solo”; ii) a relação H/Rnc permaneceu praticamente igual, em torno de 14,5%; iii) a relação G/Rnc passou de 5,9% no sistema “copa-solo” para 22,0% quando comparada com o sistema “superfície do solo”. Portanto, a partição dos componentes do BERB foi influenciada pela subdivisão do sistema “copa-solo” e pelas metodologias utilizadas, exceção para a componente H.

Heilman *et al.* (1994), analisando o BERB de um parreiral, constataram que LE/Rn oscilou entre 46 e 61% e H/Rn entre 17 e 28%, enquanto G/Rn ficou em torno de 29%. Esses autores constataram, também, que para o balanço de energia relativo à superfície do solo, o componente Rns do balanço de energia foi utilizado quase que igualmente entre LE, H e G, tendo LEss oscilado entre 29 e 47%. Por outro lado, Riou *et al.* (1994), citados por Trambouze *et al.* (1998), observaram que LE/Rn variou entre 50 e 80%.

Tabela 4.4. Relações percentuais entre os fluxos de calor latente e o saldo de radiação (LEc/Rncc) e entre os fluxos de calor sensível e o saldo de radiação (Hc/Rncc) para os oito estádios fenológicos da videira, 2º ciclo de produção, dez/2001 a mar/2002, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Dias após a poda	LEc/Rncc (%)	Hc/Rncc (%)	Total (%)
PB	11	-	34,73±50,50	170,23
DV	24	97,93±44,80	7,14±46,91	105,06
PFF	34	81,87±16,26	19,62±15,09	101,49
1ªFCF	51	94,03±47,84	9,36±47,30	103,39
PCF	65	75,11±13,05	27,39±11,67	102,49
2ªFCF	87	89,69±39,03	11,94±39,28	101,64
MFF	94	82,30±30,57	18,84±32,09	101,14
RF	132	69,25±24,82	28,18±25,50	97,44
Média		84,31±30,91	17,50±31,12	101,81

Teixeira *et al.* (1997), realizando estudos envolvendo o BERB em videira irrigada por microaspersão na região do submédio São Francisco, considerando o sistema “copa-solo”, constataram um fracionamento do saldo de radiação em 82, 13 e 5% correspondentes às relações LE/Rn, H/Rn e G/Rn, respectivamente. Constataram, também, que houve um aumento da relação LE/Rn, principalmente no início da manhã e no início e no final do ciclo produtivo da videira, indicando uma maior contribuição da evaporação direta do solo no processo de evapotranspiração. Verificaram, ainda, que a irrigação interferiu nas trocas radiativas, condicionando o aumento da relação LE/Rn e a redução de H/Rn.

Unland *et al.* (1996), determinando os fluxos de LE e de H numa vegetação nativa localizada na região semi-árida do deserto de Sonora, México, obtiveram gradientes de umidade do ar bastante pequenos entre dois níveis separados por 3,00 m, tornando-se inadequados para o emprego do BERB, mesmo quando esta separação foi aumentada para 7,00 m. Estes autores afirmaram que o BERB apresenta maior credibilidade para períodos em que os fluxos de LE são razoavelmente grandes.

Tabela 4.5. Relações percentuais entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação (LEss/Rnss), entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (Hss/Rnss) e entre o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação (G/Rnss), para os oito estádios fenológicos da videira, 1º ciclo de produção, jul a nov/2001, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.

Estádios fenológicos	Dias após a poda	LEss/Rnss (%)	Hss/Rnss (%)	G/Rnss (%)	Total
PB	11	70,42±14,21	4,84±3,70	22,50±8,19	97,76
DV	32	62,38±25,76	6,81±5,17	32,99±15,03	102,17
PFF	41	52,90±15,88	7,60±4,45	32,57±10,77	93,07
1FCF	58	73,92±13,76	11,59±7,26	12,79±9,02	98,30
PCF	78	67,88±15,97	16,09±7,54	16,21±9,31	100,18
2FCF	92	76,32±16,12	8,65±5,83	16,95±11,76	101,92
MFf	103	64,88±16,90	13,06±5,70	17,67±8,27	95,61
RF	140	54,14±18,60	8,47±5,54	38,27±18,90	91,88
Media		65,36±17,15	9,03±5,65	23,74±11,41	98,13

Trambouze *et al.* (1998), determinando a evapotranspiração da videira cultivada em condições de sequeiro, usando os métodos do BERB, do BHS e de fluxo de seiva, constataram que LE correspondeu a 56% de Rn, enquanto G oscilou entre 7 e 11% de Rn. Resultados similares também foram obtidos por Heilman *et al.* (1994). Por outro lado, Riou *et al.* (1994), citados por Trambouze *et al.* (1998), constataram elevados valores de LE/Rn, variando entre 50 e 80. Trambouze *et al.* (1998), também, observaram, durante dias nublados (inverno), efeitos significantes sobre o fluxo de calor no solo. Lopes (1999), determinando a evapotranspiração da mangueira cultivada em condições irrigadas, no Submédio São Francisco, usando o método do BERB, verificaram, em termos médios, que a partição de Rn entre os demais componentes do balanço de energia foi de 77,7, 18,0 e de 4,4%, correspondentes às relações LE/Rn, H/Rn e G/Rn, respectivamente.

Tabela 4.6. Relações percentuais entre o fluxo de calor latente e o saldo de radiação (LEss/Rnss), entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (Hss/Rnss) e entre o fluxo de calor no solo e o saldo de radiação (G/Rnss), para os oito estádios fenológicos da videira, 2º ciclo de produção, dez/2001 a mar/2002, com base na metodologia clássica, Petrolina – PE.

Estádios fenológicos	Dias após a poda	LEss/Rnss (%)	Hss/Rnss (%)	G/Rnss (%)	Total
PB	11	55,52±12,32	30,34±13,90	12,74±4,87	98,60
DV	24	81,34±31,16	18,18±7,11	15,14±11,04	114,66
PPF	34	70,63±28,36	18,27±11,75	15,73±8,44	104,64
1FCF	51	87,57±35,14	22,93±16,78	15,87±14,74	126,37
PCF	65	76,69±34,67	22,94±18,77	21,76±16,40	121,39
2FCF	87	73,07±24,72	13,55±16,23	24,74±13,55	111,36
MFf	94	59,65±18,73	15,78±12,32	32,90±13,63	108,32
RF	132	61,25±30,62	11,12±10,66	22,91±22,91	105,37
Media		70,72±26,97	19,14±13,44	20,22±13,20	110,08

Tabela 4.7. Resumo das relações percentuais entre os componentes do balanço de energia pela razão de Bowen, determinadas pela metodologia clássica (BEC) para o sistema “copa-solo”, pela metodologia modificada (BEM) para o sistema copa e pela metodologia clássica para o sistema superfície do solo, para os dois ciclos de produção da videira, Petrolina – PE.

Componentes do BERB	Copa-solo			Copa			Superfície do solo		
	1º ciclo	2º ciclo	Média	1º ciclo	2º ciclo	Média	1º ciclo	2º ciclo	Média
LE/Rn	81,18	80,97	81,08	87,21	84,31	85,76	65,36	70,72	68,04
H/Rn	12,87	16,66	14,77	11,80	17,50	14,65	9,03	19,14	14,09
G/Rn	7,39	4,43	5,91	-	-	-	23,74	20,22	21,98

4.2.7. Análise da Razão de Bowen

Nas Figuras 4.18a a 4.21b estão apresentados os comportamentos dos valores diários médios da razão de Bowen (β) tanto para a copa (β_c) quanto para a superfície do solo (β_{ss}), para cada um dos oito estádios fenológicos da videira, compreendendo dois ciclos de cultivo.

Analisando-se os comportamentos médios diários da Razão de Bowen (Figuras 4.18a e 4.18b), com base no agrupamento dos estádios fenológicos (PB e DV), associado ao fator de cobertura do solo, constatou-se que, para a condição em que F_{cs} é mínima, obtida durante o PB, não se encontrou um comportamento padrão para β_c . Ou seja, durante o 1º ciclo produtivo (Figura 4.18a), observou-se que β_c apresentou-se maior que zero nas primeiras horas da manhã, alcançando valores da ordem de $0,44 \pm 0,63$, mas a partir daí tendeu a decrescer, mesmo oscilando bastante durante o restante do período diurno, atingindo valores em torno de $-0,34 \pm 0,48$. Porém, durante o 2º ciclo (Figura 4.18b), seus valores situaram-se quase que exclusivamente na faixa negativa, tendo-se tornado ligeiramente estáveis, notadamente no período da manhã, em torno de $-0,25 \pm 0,20$, quando, então, passaram a flutuar bastante, entre $-0,44 \pm 0,60$ e $0,25 \pm 1,17$, até o final da tarde. Ou seja, no período da manhã do 1º ciclo, a planta cedia calor para o ambiente, ocorrendo o contrário no período da tarde. Porém, durante o 2º ciclo, a videira recebeu calor sensível do ambiente, durante todo o dia.

No que se refere à superfície do solo (Figura 4.18a), constatou-se que os valores de β_{ss} relativos ao 1º ciclo produtivo mostraram-se sempre maiores que zero, estabilizado-se em um patamar médio de $0,88 \pm 0,05$. Durante o 2º ciclo (Figura 4.18b), os valores de β_{ss} oscilaram bastante ao longo do período diurno, com valores variando entre $0,00 \pm 0,30$ e $1,09 \pm 0,83$. Os valores de β_{ss} e de β_c comportaram-se de maneira bastante diferente, em ambos os ciclos de produção. Quanto se analisa a condição em que o $F_{cs} \geq 0,70$, verificou-se que β_c apresentou-se quase sempre maior que zero, ao longo do período diurno, tendo seus valores, na maioria dos estádios, sido mais elevados nas primeiras horas da manhã, mas seguidos de tendências decrescentes, em relação ao final da tarde, mesmo quando oscilaram bastante ao longo do dia. No estádio de PFF do 2º ciclo (Figura 4.19b), β_c alcançou o valor máximo de $0,69 \pm 1,20$, às 11h00, diminuindo gradualmente até o final da tarde e alcançando o valor mínimo de $-0,02 \pm 0,17$. Observou-se, também, que os

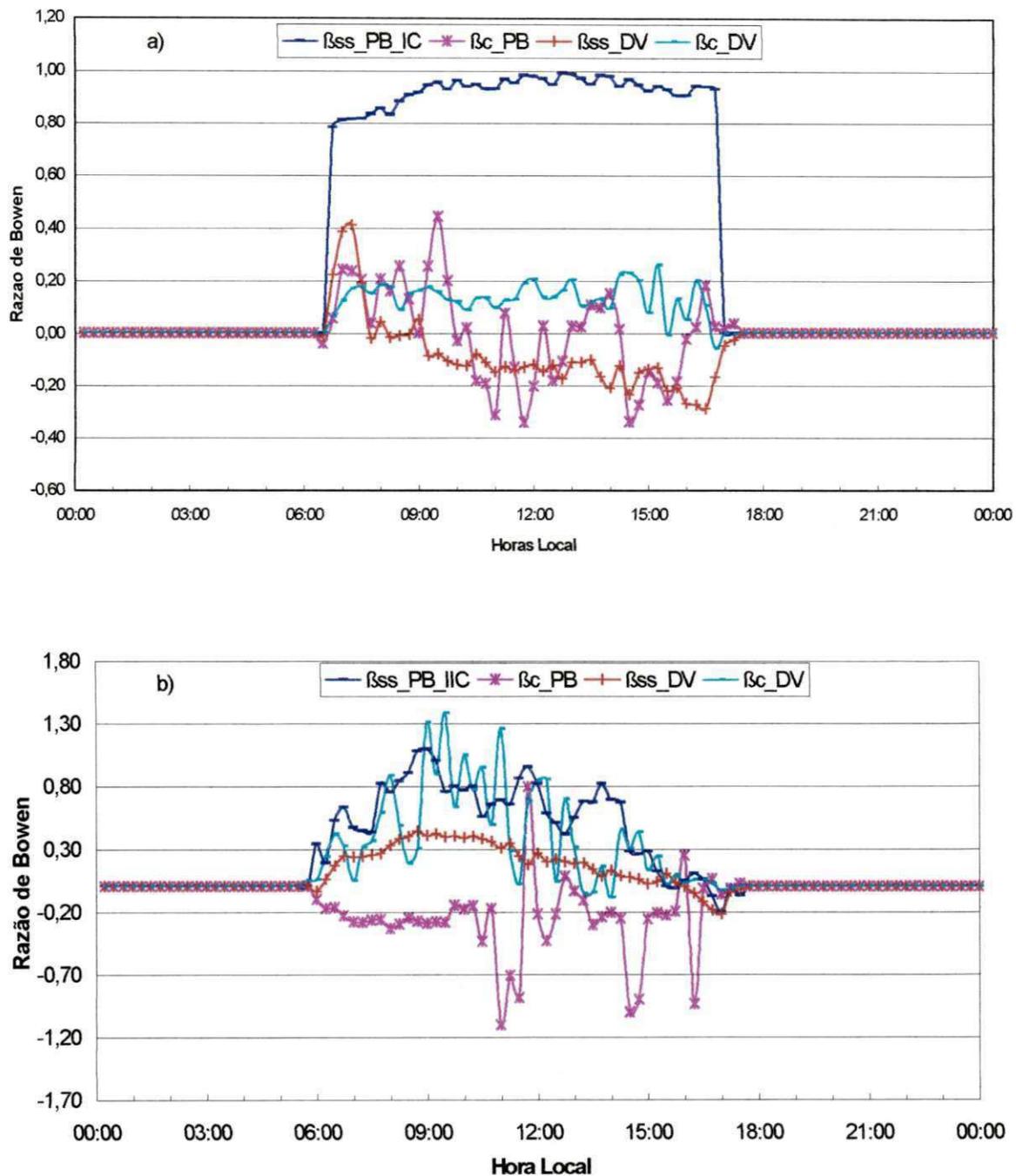


Fig. 4.18. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estágio de brotação, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_PB_IC}$ e β_{c_PB} , respectivamente; idem para o estágio de desenvolvimento vegetativo – β_{ss_DV} e β_{c_DV} , para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.

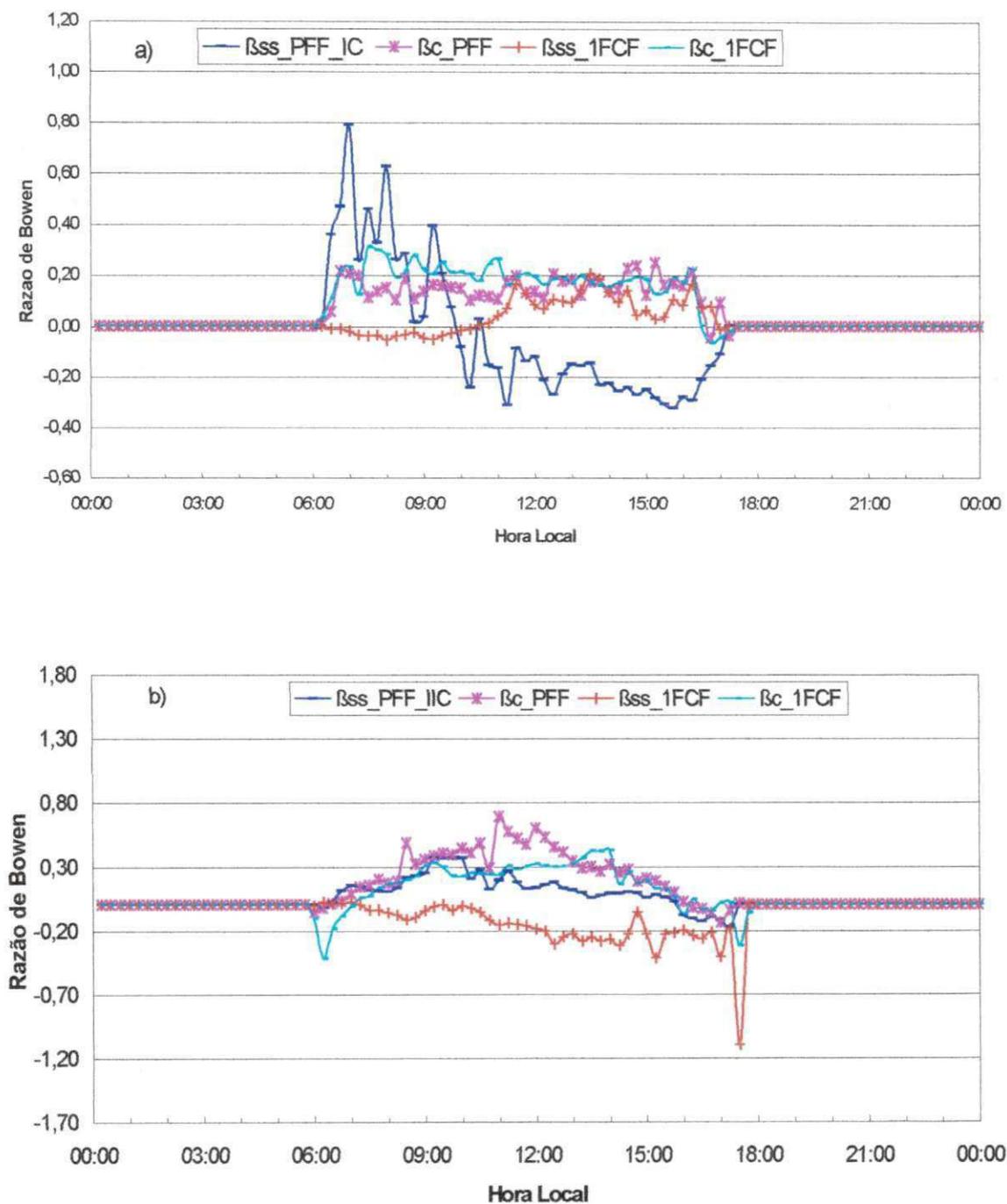


Fig. 4.19. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondentes à superfície do solo e à copa da videira para o estágio de pré-floração, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_PFF_IC}$ e β_{sc_PFF} , respectivamente; idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto – $\beta_{ss_1^aFCF}$ e $\beta_{sc_1^aFCF}$, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.

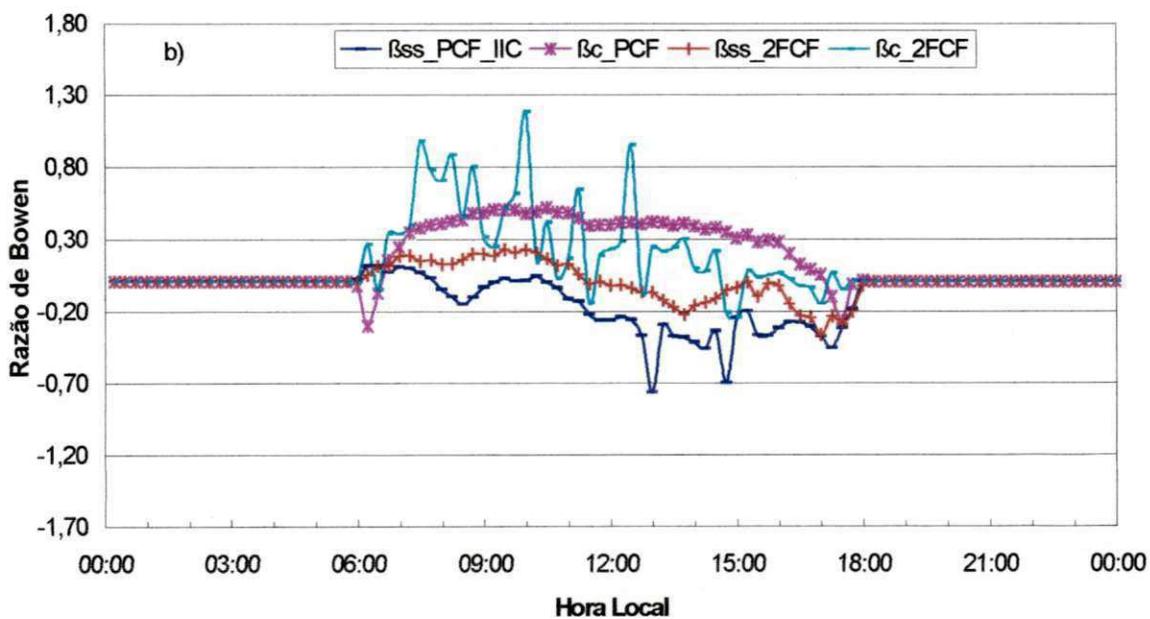
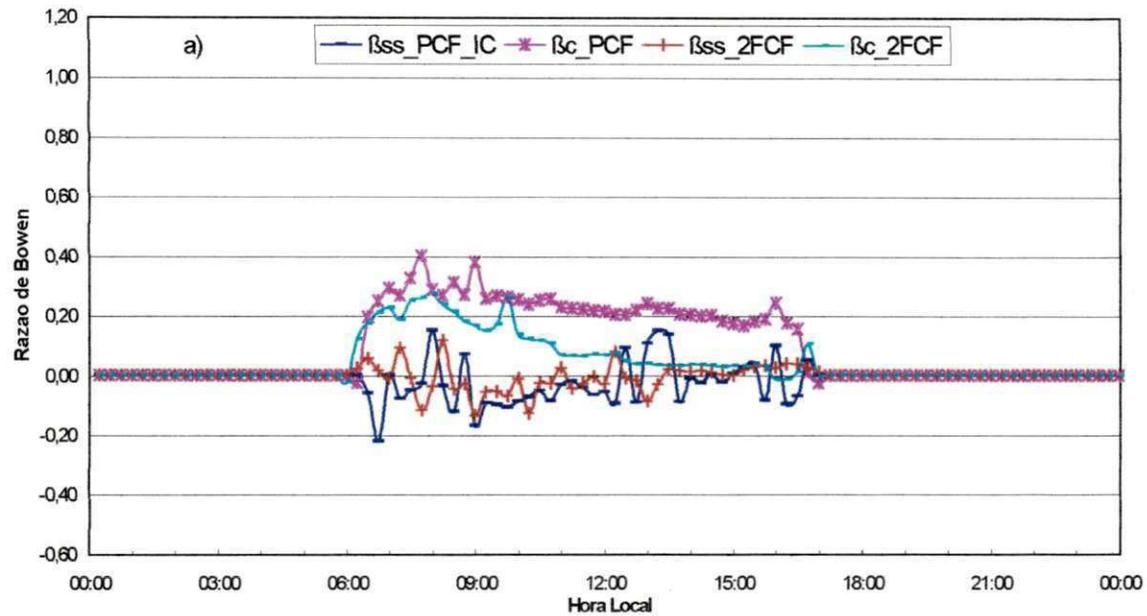


Fig. 4.20. Comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estágio da parada de crescimento do fruto, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_PCF_IC}$ e β_{c_PCF} , respectivamente; idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto – $\beta_{ss_2^aFCF}$ e $\beta_{c_2^aFCF}$, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.

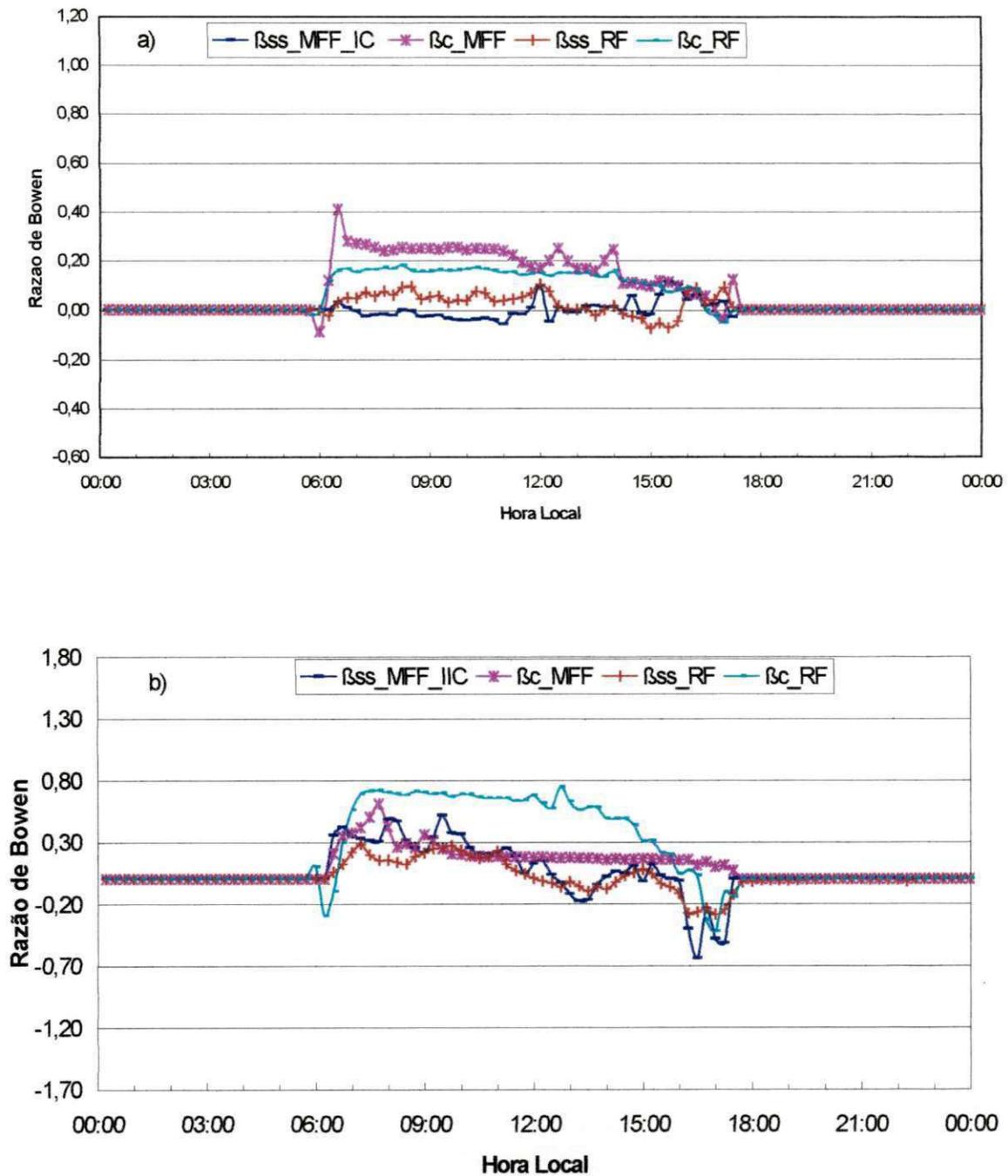


Fig. 4.21. Comportamento diurno médio da razão de Bowen correspondente à superfície do solo e à copa da videira para o estágio de maturação final do fruto, durante o 1º ciclo produtivo – $\beta_{ss_MFF_IC}$ e β_{sc_MFF} , respectivamente; idem para o estágio de repouso fenológico – β_{ss_RF} e β_{sc_RF} , para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo de produção, Petrolina – PE.

valores de β_c obtidos entre os estádios de PFF e de RF, referentes ao 1º ciclo de produção (Figuras 4.19a a 4.21a), eram sempre inferiores a 0,40, enquanto que no 2º ciclo (Figuras 4.19b a 4.21b), os valores de β_c , em termos médios, tornaram-se duas a três vezes mais elevados, do que aqueles encontrados no 1º ciclo. Porém, no estádio de DV do 2º ciclo produtivo (Figura 4.18b), β_c alcançou $1,38 \pm 1,84$. Nestes estádios, a planta liberou calor sensível para o ambiente durante todo o período diurno.

No que concerne à superfície do solo, pode-se constatar que para $F_{cs} \geq 0,70$ em ambos os ciclos produtivos (Figuras 4.19a a 4.21b), β_{ss} elevou-se nas primeiras horas da manhã, tornando-se maior que zero, tendo alcançado valores máximos médios da ordem de 0,38, mas apresentou uma tendência decrescente em relação ao final do dia, passando para a faixa negativa quase sempre, após as 9h00, tendo atingido valores mínimos em torno de -0,32, porém algumas vezes chegando a -1,10. Isto implica que no período da manhã, o solo cedia calor para o ambiente, mas a partir das 9h00, o ambiente e as culturas orgânicas (crotalaria e sorgo) passaram a liberar calor sensível para o solo. No entanto, nos estádios de DV e de PFF do 2º ciclo (Figuras 4,18b e 4.19b), os valores de β_{ss} mantiveram-se exclusivamente na faixa positiva, quase o dia inteiro, condicionando também a liberação de H do solo para o ambiente.

De um modo geral, pode-se observar que os comportamentos diários de β_c mostraram-se praticamente dependentes dos estádios fenológicos da videira, bem como do período chuvoso, cujos valores mais elevados ocorreram em torno das 11h30, quando o F_{cs} tornou-se igual ou maior que 0,70. No que se refere ao comportamento de β_{ss} , observou-se que eles também se apresentaram dependentes tanto durante o desenvolvimento vegetativo das culturas utilizadas como cobertura orgânica verde quanto após o seu corte.

Muito embora o método do balanço de energia, utilizando a razão de Bowen, resulte em estimativas válidas da evapotranspiração, o método perde em precisão, se β é menor que 0,5, e o cálculo da ET_c torna-se indeterminado quando $\beta = -1$. Fuchs & Tanner (1970) constataram que valores de $\beta \cong -1$ podem ser obtidos com bastante frequência tanto no início da manhã quanto no final da tarde, enquanto Ohmura (1982) observou, também, que valores de $\beta \cong -1$ podem ser obtidos durante a ocorrência de chuvas e de ventos fortes.

Objetivando fortalecer a discussão sobre a razão de Bowen, selecionou-se os resultados obtidos com o 2º ciclo de produção da videira, compreendendo seus oito

estádios fenológicos, para demonstrar a importância do(s) critério(s) de restrições recomendado(s) para o cálculo desse parâmetro.

Mesmo com a aplicação do critério proposto por Unland *et al.* (1996), associado ao critério de Verma *et al.* (1978), constatou-se a obtenção de muitos valores da razão de Bowen fora do intervalo $-1,0 < \beta < 1,0$, mesmo durante períodos do dia com elevada disponibilidade de energia. Quando ocorrem valores fora deste intervalo, a recomendação é corrigi-los utilizando a média aritmética dos valores imediatamente anterior e posterior em relação ao valor considerado. Caso contrário, torna-se necessário adotar ajustes estatísticos que restrinjam o aparecimento de valores de β fora do intervalo mencionado anteriormente, evitando, assim, a obtenção de valores irrealis de LE.

Reconhecendo a importância dos critérios de restrições dos valores de β na precisão do cálculo da ETc, foram as metodologias propostas por Bowen (1926), Verma *et al.* (1978), Unland *et al.*, (1996) e uma metodologia alternativa, em que $-0,7 \leq \beta \leq 0,7$, denominadas M I, M II, M III e M IV, respectivamente, para cada um dos oito estádios fenológicos do 2º ciclo de produção, considerando apenas a copa da videira, (Figuras 7.1.13a a 7.1.16b).

A análise feita para a condição de $F_{cs} < 0,7$, ocorrida durante o PB, revelou que os valores de β_c , obtidos empregando as quatro metodologias acima referidas, situaram-se quase que exclusivamente, na faixa negativa, ao longo do período diurno, exceto em alguns instantes do dia, quando se tornaram positivos. Observou-se, também, que a aplicação das metodologias M III e M IV resultou na determinação de valores de β_c com menor nível de flutuação, do que empregando os métodos M I e M II. Verificou-se, ainda, que o uso do método proposto por Verma *et al.* (1978), para corrigir os efeitos advectivos, não surtiram, integralmente, o resultado desejado, uma vez que os valores de β_c situados em torno de -1 permaneceram inalterados. Os valores de β_c , obtidos com base nas metodologias M III e M IV, mostraram-se bastante próximos entre si, tendo permanecido praticamente invariável no período da manhã, em torno de $-0,25$ e ligeiramente variável no período da tarde, tendo variado de $-0,44$ a $0,25$ e de $-0,45$ a $0,03$, respectivamente (Figuras 7.1.13a e 7.1.13b).

A análise feita para a condição em que $0,7 < F_{cs} \leq 0,97$, ocorrida durante o DV, revelou que os valores de β_c variaram bastante ao longo do período diurno, ora situando-se na faixa positiva, ora na faixa negativa, independente da hora do dia. No entanto, estas flutuações tornaram-se muito mais acentuadas quando se consideraram as metodologias

M I e M II, cujos valores situaram-se nos intervalos entre $-2,17 \pm 10,17$ e $1,21 \pm 5,13$ e entre $-0,74 \pm 3,19$ e $1,59 \pm 3,58$, respectivamente. Os comportamentos de $(\beta_c)_M III$ e $(\beta_c)_M IV$ mostraram-se muito próximos entre si, tendo seus valores variado de $-0,18 \pm 0,62$ a $0,47 \pm 0,70$ e de $-0,10 \pm 0,49$ a $0,23 \pm 0,60$, respectivamente (Figuras 7.1.20a a 7.1.20b).

As análises de β_c feitas para a condição em que $Fcs > 0,97$, obtidas para os estádios compreendidos entre a PFF e o RF, mostraram que os valores de β_c , determinados pelas metodologias M I e M II, apresentaram oscilações bastante elevadas durante o período diurno, exceto para o estádio da PCF em que seus valores tenderam a acompanhar os resultados obtidos com as metodologias III e IV. Quando se analisa cada uma das metodologias separadamente, constata-se que os valores de $(\beta_c)_M I$ apresentaram uma elevada instabilidade durante o período diurno, ora situando-se na faixa positiva, ora na faixa negativa, sendo que no estádio de PFF e da 1^aFCF, tornaram-se mais flutuantes no período na manhã, enquanto na 1^aFCF, isto ocorreu durante a tarde. Comportamento similar foi obtido para os valores de $(\beta_c)_M II$, tendo a frequência de correção dos valores $(\beta_c)_M I$ sido bastante pequena, exceto para o estádio da 1^aFCF, em que se constatou uma inversão do propósito da metodologia de Verma *et al.* (1978). Pode-se observar, ainda, que os valores de $(\beta_c)_M III$ e $(\beta_c)_M IV$ mostraram-se bastante próximos, principalmente nos estádios de PFF, 1^aFCF e PCF, tendo os valores de $(\beta_c)_M III$ sido ligeiramente mais elevados que os de $(\beta_c)_M IV$. Entretanto, nos estádios compreendidos entre a 2^aFCF e o RF, verificou-se que os valores de $(\beta_c)_M III$ apresentaram um maior distanciamento em relação aos de $(\beta_c)_M IV$, exceto nas primeiras horas da manhã e nas últimas horas da tarde, quando se tornaram praticamente iguais (Figuras 7.1.21a a 7.1.22b).

Desta forma, conclui-se que o uso da metodologia proposta por Verma *et al.* (1978) não proporcionou uma atenuação significativa dos efeitos advectivos obtidos com o emprego da metodologia recomendada por Bowen (1926), condição esta que foi severamente atenuada com a adoção da metodologia proposta por Unland *et al.* (1996). Isto significa que os coeficientes da equação recomendada por Verma *et al.* (1978) necessitam ser ajustados para cada condição ambiental circunvizinha, uma vez que seus coeficientes originais foram obtidos para corrigir os efeitos da advecção regional. A metodologia alternativa, que utiliza como critério de aceitação/rejeição, o intervalo $-0,7 \leq \beta \leq 0,7$ aplicado aos valores de β determinados com base na metodologia de Bowen

(1926), também proporcionou a obtenção de valores de β bastante próximos àqueles calculados por meio da metodologia recomendada por Unland *et al.* (1996).

Ohmura (1982) verificou que mudanças na direção e na velocidade do vento e nas temperaturas do ar e do ponto de orvalho eram, geralmente, bastante pequenas durante os períodos em que $\beta \cong -1$, indicando taxas de transferência consistentes de LE e de H. Diante disto, Malek *et al.* (1990) adotaram o critério que LE deve ser calculado com base na média entre seus valores precedente e procedente, relativo ao período de tempo considerado.

Cellier & Brunet (1992), estudando a evolução da razão de Bowen com a altura numa cultura de milho, constataram que o BERB pode ser aplicado no topo da copa de culturas altas sem distorções sistemáticas, devido à não homogeneidade da área em estudo com respeito à temperatura e à umidade. Contudo, mencionaram que uma importante dispersão destes valores, observada nas camadas mais baixas, pode ser resultante de fluxos ocasionalmente não homogêneos, formados imediatamente abaixo do topo da copa da planta e que persistem na parte mais baixa da camada superficial.

Oliver & Sene (1992), realizando estudos de balanços de energia pela razão de Bowen em pomares de videira em desenvolvimento, em regiões semi-áridas da Espanha, observaram que os valores β relativos à superfície do solo eram muito maiores do que aqueles obtidos para a copa, tendo seus valores variado entre 2 e 8, em decorrência da sua baixa taxa de evaporação. Verificaram, ainda, que os valores de β mudavam de maneira significativa nos dias com e imediatamente seguindo uma chuva, quando, então, tornavam-se inferiores a 2.

Unland *et al.* (1996) constataram que a relação $|1 + \beta| < 0,3$ ocorre quando os valores de LE e de H são aproximadamente iguais, porém de sinais contrários, indicando que o método do BERB não pode quantificar os fluxos provenientes da superfície, condição esta que ocorre rotineiramente no início da manhã e no final da tarde, quando a energia disponível é baixa e a taxa de tempo para mudança de R_n é alta.

Prueger *et al.* (1997) também constataram, por meio do método da razão de Bowen, a ocorrência de limitações próximas ao nascer e ao por do sol, causadas pelos pequenos gradientes de temperatura e de déficit de pressão de vapor, que resultam na aproximação de β dos valores -1 e ∞ . Limitações similares também podem ocorrer em culturas com cobertura de solo não uniforme e sob condições advectivas, comumente encontradas em regiões agrícolas semi-áridas.

Konzelmann *et al.* (1997) afirmam, ainda, que os casos mais problemáticos ocorrem sempre no início da manhã e no final da tarde, quando a direção do fluxo de LE é oposta à de H e quando os fluxos turbulentos são pequenos em magnitude.

Todd *et al.* (1998), comparando a estimativa do fluxo de LE pelo do BERB, com aquele determinado por meio de lisímetro de pesagem com alta precisão, utilizando a cultura da alfafa, verificaram que os valores de β tenderam a decrescer ao longo do dia, tendo apresentado uma maior frequência de números negativos, mas que usualmente tornaram-se positivos no período da manhã, durante o ano I, sendo que no ano seguinte, situaram-se exclusivamente na faixa negativa, no período da tarde.

Moura (2001), estudando o consumo hídrico da goiabeira irrigada por meio do BERB, não constatou a necessidade do uso da metodologia proposta por Verma *et al.* (1978) para corrigir os efeitos advectivos, tendo assumido a igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível (K_H) e de vapor d'água (K_W). Este autor verificou também, que os valores médios de β raramente tornaram-se superiores a 1 e inferiores a -1, situando-se no intervalo entre 0 e 0,05 para a maioria dos dias, mas variaram bastante no início da manhã e no final da tarde.

Dentre os fatores que podem afetar de maneira significativa os valores da β , destaca-se o tipo de material utilizado como musselina no termopar de bulbo úmido, o aumento do conteúdo de água na massa de ar dentro do psicrômetro, proveniente da evaporação da água da própria musselina e a diferença de nível entre os psicrômetros. O tipo de material utilizado como musselina pode afetar bastante o fluxo ascendente de água na direção do termopar de bulbo úmido. Neste estudo, constatou-se que a musselina confeccionada em tecido de algodão condicionou uma excelente ascensão capilar da água. No entanto, o acúmulo de poeira na superfície da musselina, associado ao possível desenvolvimento de fungos, mudou bastante as características de flexibilidade e de porosidade do tecido de algodão, tornando-o endurecido, em torno de 60 dias após a sua instalação.

Estas características podem ter afetado a ascensão da água através da musselina, limitando, assim, a sua disponibilidade para o processo de evaporação, em torno do bulbo úmido, nos horários de elevada demanda hídrica da atmosfera. Como consequência disto, a leitura da temperatura úmida pode ter se tornado bastante afetada, principalmente no período compreendido entre 9h00 e 17h00. Mesmo quando se utiliza este tipo de material, faz-se necessária sua substituição, pelo menos a cada 30 dias de uso.

Nos primeiros dias de coletas de dados deste estudo, quando se usava o cadarço de sapato como musselina, mesmo confeccionado em algodão, detectaram-se problemas sérios de ascensão da água, principalmente nos horários de maiores demandas evapotranspirométricas. O material usado na tintura do cadarço pode proporcionar uma propriedade de serosidade, que pode reduzir a absorção da água e, conseqüentemente, a sua ascensão capilar.

Deste modo, a seleção do tipo de material utilizado como musselina, o formato da musselina, assim como a periodicidade de sua troca devem ser bastante rigorosas, visando à obtenção de dados que representem as reais propriedades físicas do ar, ao longo do dia. Como decorrência disto, pode-se alcançar resultados confiáveis para β e, conseqüentemente, para o balanço de energia e para os valores de ETc e de Kc da cultura considerada.

A diferença de nível entre os dois psicrômetros é um fator que também pode afetar bastante os valores da razão de Bowen. É sabido que a obtenção deste parâmetro está fundamentada em uma diferença de nível padrão de 1,00 m entre os dois psicrômetros. No entanto, tem-se constatado em estudos realizados nas áreas irrigadas da região do Submédio São Francisco, que o uso desta distância tem provocado a obtenção de erros bastante elevados para a razão de Bowen. Ou seja, esta distância não tem sido suficiente para proporcionar um gradiente térmico satisfatório, utilizado no cálculo de Δe ou DPV.

Deste modo, sugere-se também que antes da implantação definitiva de um estudo, sejam feitos testes preliminares com a finalidade de se ajustar a distância adequada entre os dois psicrômetros, de modo a minimizar os erros absoluto e relativo da razão de Bowen e, conseqüentemente, dos demais parâmetros do balanço de energia.

O uso de dois termopares, sendo um de bulbo seco e outro de bulbo úmido, num mesmo psicrômetro, pode alterar a leitura da temperatura do ar, especialmente no início da manhã e nos horários em que a velocidade do vento se aproxima de zero. Isto é decorrente do aumento do conteúdo de água na massa de ar existente dentro do abrigo, proveniente da evaporação da água da musselina.

Dentre as alternativas que poderiam ser utilizadas para corrigir este problema, pode-se destacar: a) instalação dos termopares em dois abrigos distintos; b) estimativa da temperatura úmida com base na temperatura do ar, velocidade do vento, radiação global, entre outros parâmetros.

A análise comparativa entre as curvas da razão de Bowen determinadas de maneira clássica e aquelas obtidas com base na estimativa da temperatura úmida para a copa da videira, correspondentes aos oito estádios fenológicos do 2º ciclo de cultivo, mostra que as curvas de β_c obtidas para os estádios de PFF, 1ªFCF e PCF foram as que apresentaram maior grau de similaridade entre si. No estádio da 2ªFCF, também se obteve um elevado grau de similaridade, apenas no período da tarde, mas no horário compreendido entre 9h00 e 12h00, ocorreram discrepâncias bastante acentuadas entre os dois tipos de β_c . Entretanto, para os demais estádios, estas duas modalidades de curvas comportaram-se de maneira bastante diferente, uma vez que os valores de $(\beta_c)_{T_{\text{uést}}}$ mostraram-se muito menores do que os de β_c , obtidos de maneira clássica, ao longo de todo o dia (Figuras 7.1.23a a 7.1.26b).

Para determinação dos parâmetros da equação de regressão multifatorial destinada à estimativa da temperatura úmida, foram utilizados como variáveis independentes a temperatura do ar e a velocidade do vento correspondentes aos níveis 4 e 5 e o saldo de radiação acima da latada, cujos valores foram obtidos com base na média relativa a cada estádio fenológico (Tabela 7.1.2).

4.2.8. Variação da Razão de Bowen ao longo do ciclo de produção da videira

Na Figura 4.22 estão mostrados os comportamentos dos valores de β correspondentes à copa e à superfície do solo ao longo da fenologia da videira, para ambos os ciclos de produção.

Pode-se constatar na Figura 4.22, que os valores de β_c comportaram-se de maneira bastante similar para ambos os ciclos de produção, sendo que no 1º ciclo, eles foram ligeiramente menores, exceção para o estádio de PB, que foram de $0,00 \pm 0,26$ e de $-0,18 \pm 0,37$, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, respectivamente, e de RF, cujos resultados foram bastante discrepantes. De um modo geral, pode-se observar que a maioria dos valores de β_c está situada na faixa compreendida entre $0,00 \pm 0,26$ e $0,22 \pm 0,15$ durante o 1º ciclo enquanto no 2º situaram-se entre $-0,18 \pm 0,37$ e $0,47 \pm 0,81$. Ou seja, em termos médios, a copa da videira recebeu calor sensível do ambiente, apenas durante o PB do 2º ciclo, quando β_c era da ordem de $-0,18$, sendo que nos demais estádios, apresentaram uma liberação de calor sensível para o ambiente com pequena oscilação, exceto durante o RF, quando a liberação de H tendeu a elevar-se. Com relação aos valores de β_{ss} , pode-se

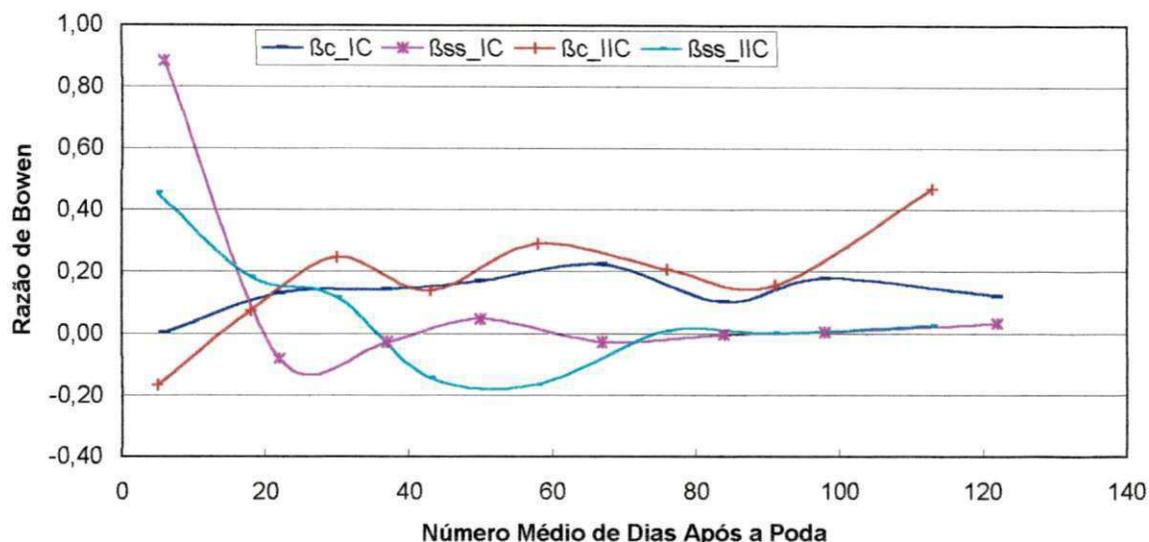


Fig. 4.22. Comportamento diurno médio da razão de Bowen ao longo dos oito estádios fenológicos da videira, tanto para copa quanto para a superfície do solo, relativo ao 1º ciclo de cultivo – β_{c_IC} e β_{ss_IC} , respectivamente; idem para o 2º ciclo – β_{c_IIC} e β_{ss_IIC} , Petrolina – PE.

verificar para o 1º ciclo, que ele apresentou um valor da ordem de $0,88 \pm 0,05$, durante o estágio de PB, mas decresceu bruscamente para $-0,08 \pm 0,20$ no DV, quando, então, passou para um patamar de $0,00 \pm 0,20$. Durante o 2º ciclo, verificou-se, também, que β_{ss} apresentou uma tendência decrescente bastante acentuada, ao longo dos cinco primeiros estádios fenológicos, tendo passado de $0,45 \pm 0,25$ para $-0,17 \pm 0,18$, quando, então, se estabilizou em torno de $0,00 \pm 0,11$ (Figura 4.22).

Quando se analisa o comportamento de β_{ss} obtido entre os estádios de PFF e PCF relativos ao 1º ciclo, é provável que as culturas utilizadas como cobertura orgânica verde tenham-se constituído numa barreira que dificultou o fluxo de ar abaixo da copa da videira e, conseqüentemente, dentro dos psicrômetros, especificamente naquele instalado na altura de 0,30 cm em relação à superfície do solo, proporcionando o aumento da quantidade de vapor d'água presente na massa de ar dentro do psicrômetro, o que implicou na redução do valor deste parâmetro. Logo após o corte das culturas da crotalária e sorgo granífero, que ocorreu aos 58 DAP, coincidindo com o final do estágio da 1ªFCF, observou-se que o fluxo de ar voltou à normalidade, condicionando o aumento de β_{ss} . Este comportamento não se repetiu durante o 2º ciclo, provavelmente em decorrência das chuvas ocorridas entre

31 e 56 DAP, que condicionou a redução dos valores de β_{ss} . Ou seja, no PB quando a superfície do solo ainda se encontrava praticamente nua e com deficiência de água, a liberação de energia deste para o ambiente tornou-se máxima, especialmente, durante o 1º ciclo de cultivo, mas a partir do estágio de PFF, quase toda a energia disponível foi transformada em calor latente. No entanto, durante o 2º ciclo, a liberação de calor sensível do solo para o ambiente permaneceu até o estágio de PFF, em decorrência da maior quantidade de energia disponível, quando comparado com o ciclo anterior. A ocorrência contínua de chuvas entre os estágios de PFF e de PCF resultou na transferência de calor sensível do ambiente para o solo.

Quando se considera a análise da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida estimada $(\beta_c)_{T_{u,est}}$ para o ciclo fenológico como um todo, pode-se constatar que $(\beta_c)_{T_{u,est}}$ apresentou um comportamento muito similar ao de β_c obtido pela metodologia clássica. No entanto, os valores de $(\beta_c)_{T_{u,est}}$ mostraram-se ligeiramente inferiores aos de β_c , exceto no estágio de DV, em que as discrepâncias tornaram-se elevadas (Figura 4.23). Deve-se salientar que por ocasião da definição dos parâmetros da equação de regressão seqüencial, os valores médios da raiz quadrada do quadrado médio do resíduo (RQQMR) entre as temperaturas úmidas medidas e estimadas, obtidas com base na metodologia recomendada por Spano *et al.* (2000), situaram-se entre 0,05 e 0,19. Contudo, quando se aplicou esta metodologia em relação aos valores de β_c e de $(\beta_c)_{T_{u,est}}$, constatou-se que os maiores valores do RQQMR foram alcançados nos estágios de DV, MFF e de RF, cuja média foi de 0,41, enquanto o menor foi de 0,12, alcançados durante o estágio da PCF.

Valores de β situados no intervalo (-1, 1) indicam que os níveis mais próximos tanto da copa da videira quanto das copas das culturas orgânicas (sorgo e crotalária) estavam submetidos a taxas elevadas de umidade. A obtenção de valores pequenos e positivos de β também valida o método do BERB aplicado a uma condição de fetch: altura menor que 20:1, como proposto por Heilman *et al.*, (1989).

4.2.9. Análise dos Erros com base no Balanço de Energia

Para cada um dos oito estágios fenológicos estudados, foram analisados os erros relativos e absolutos diários médios da razão de Bowen (eq. 3.16) e do fluxo de calor

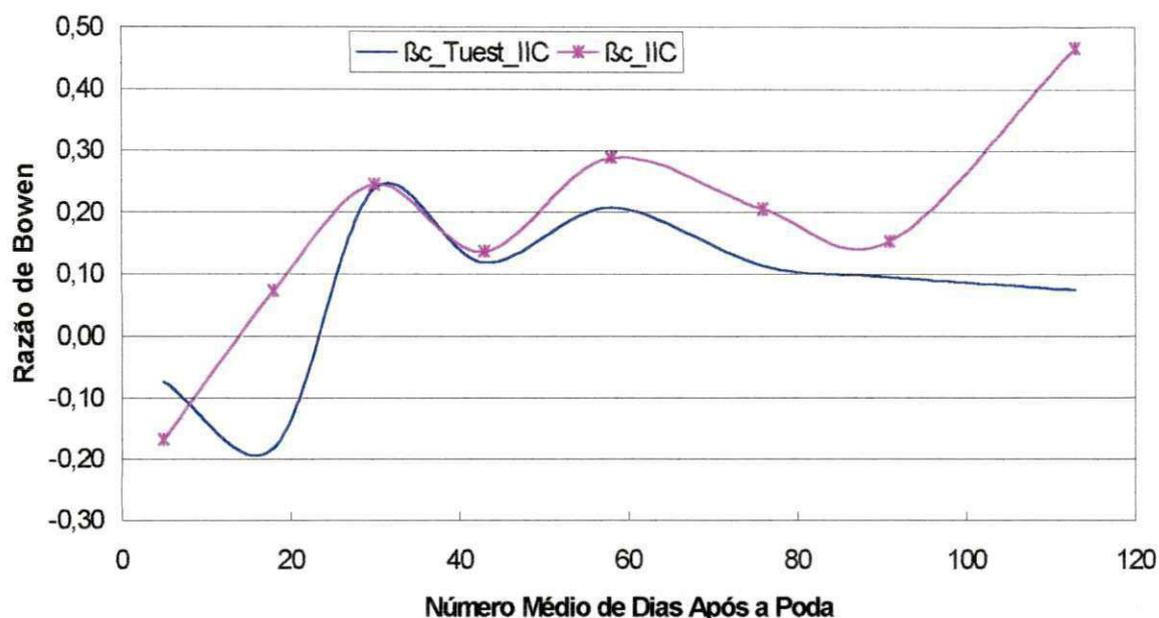


Fig. 4.23. Evolução da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, (β_{c_IIC}) e ($\beta_{c_Tuest_IIC}$), respectivamente, ao longo do seu ciclo fenológico durante o 2º ciclo de cultivo, Petrolina-PE.

latente (eq. 3.15), tanto da copa da videira quanto da superfície do solo, levando-se em consideração apenas o período do balanço de energia em que o saldo de radiação era positivo, compreendendo dois ciclos de cultivo. É importante lembrar que esses erros foram calculados considerando a metodologia proposta por Unland *et al.* (1996) como padrão na correção dos efeitos advectivos na análise da razão de Bowen.

4.2.9.1. Erro Relativo da Razão de Bowen - $\epsilon_r(\beta)$

Nas Figuras 4.24a a 4.27b estão representados os comportamentos dos erros relativos diários médios para cada estágio fenológico da videira, tanto para o sistema “copa” $\epsilon_r(\beta)_c$ quanto para o sistema “superfície do solo” $\epsilon_r(\beta)_{ss}$ e para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira. De um modo geral, pode-se verificar, que o $\epsilon_r(\beta)_c$ mostrou-se bem mais elevado que $\epsilon_r(\beta)_{ss}$ em ambos os ciclos produtivos, sendo que no 2º, ambas as modalidades de erro mostraram-se muito maiores do que aqueles determinados para o 1º

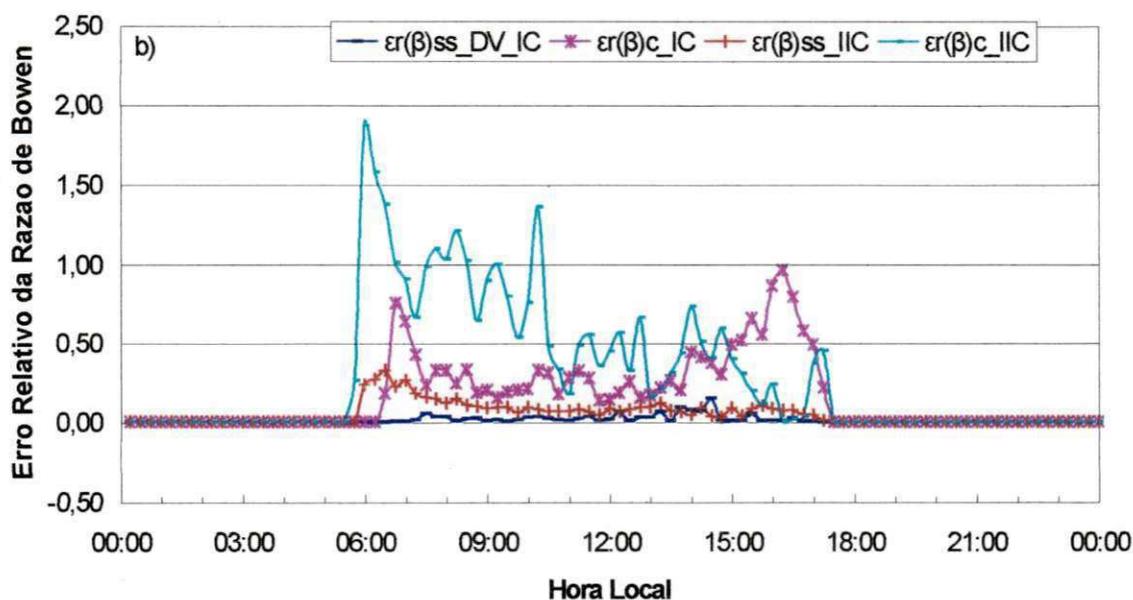
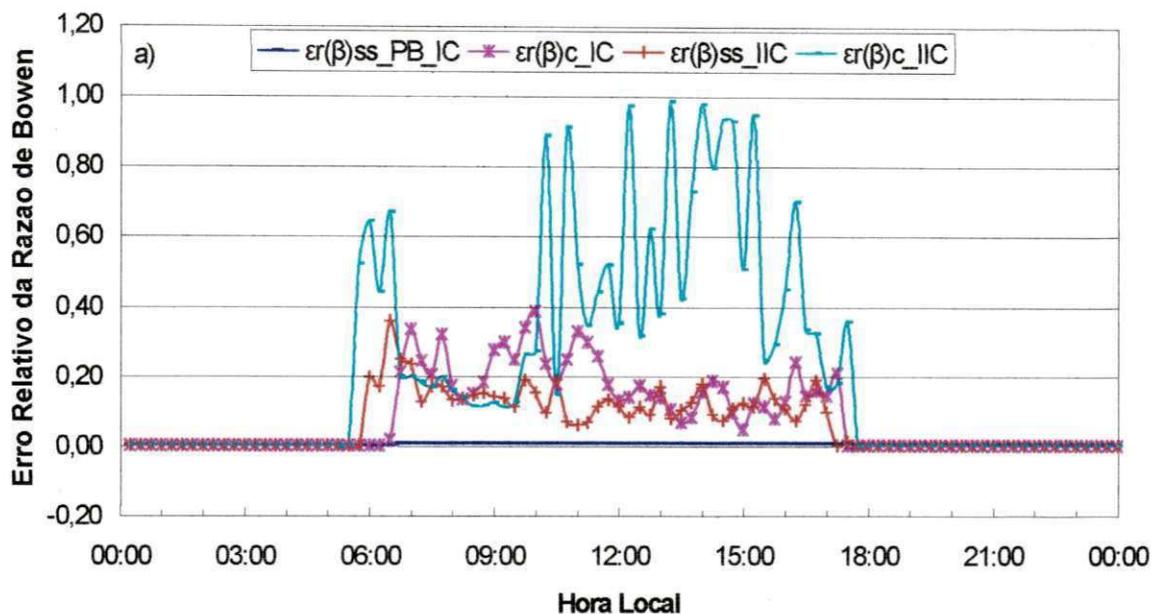


Fig. 4.24. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de brotação para o 1^o e 2^o ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_PB_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, respectivamente; b) idem para o estágio de desenvolvimento vegetativo - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_PB_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, Petrolina - PE.

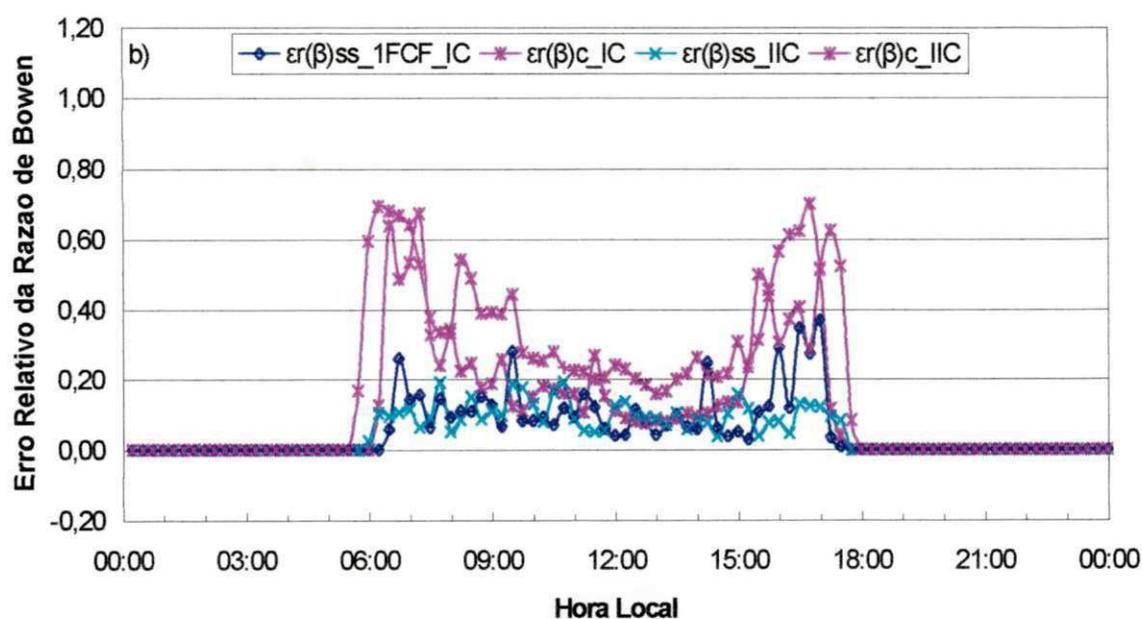
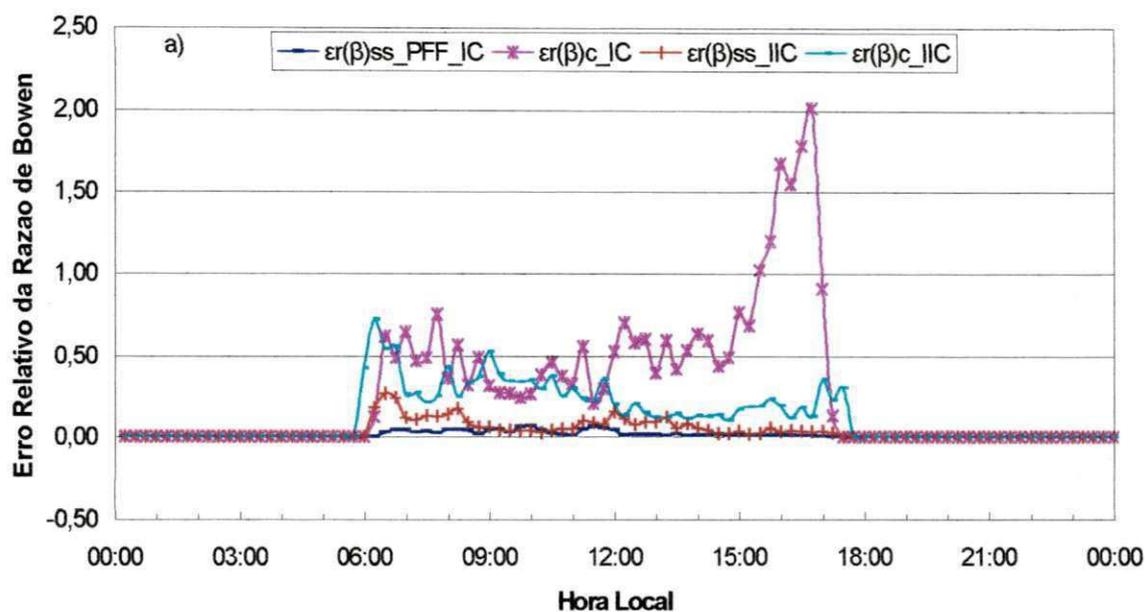


Fig. 4.25. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de pré-floração e plena floração, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_PFF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, respectivamente; b) idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_r(\beta)_{ss_1^aFCF_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{c_IC}$, $\varepsilon_r(\beta)_{ss_IIC}$ e $\varepsilon_r(\beta)_{c_IIC}$, Petrolina – PE.

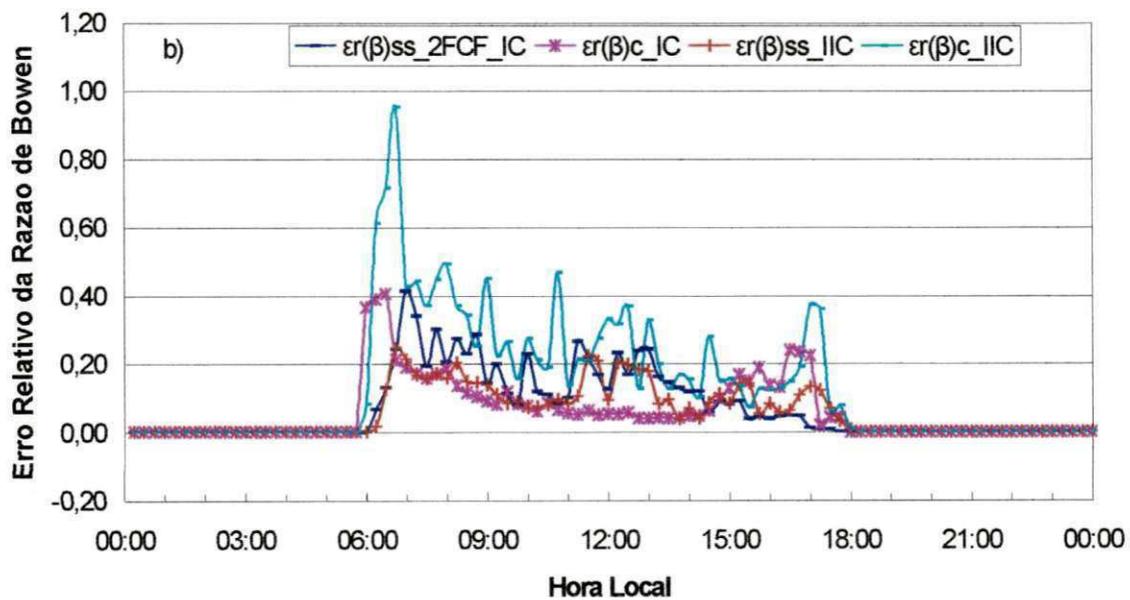
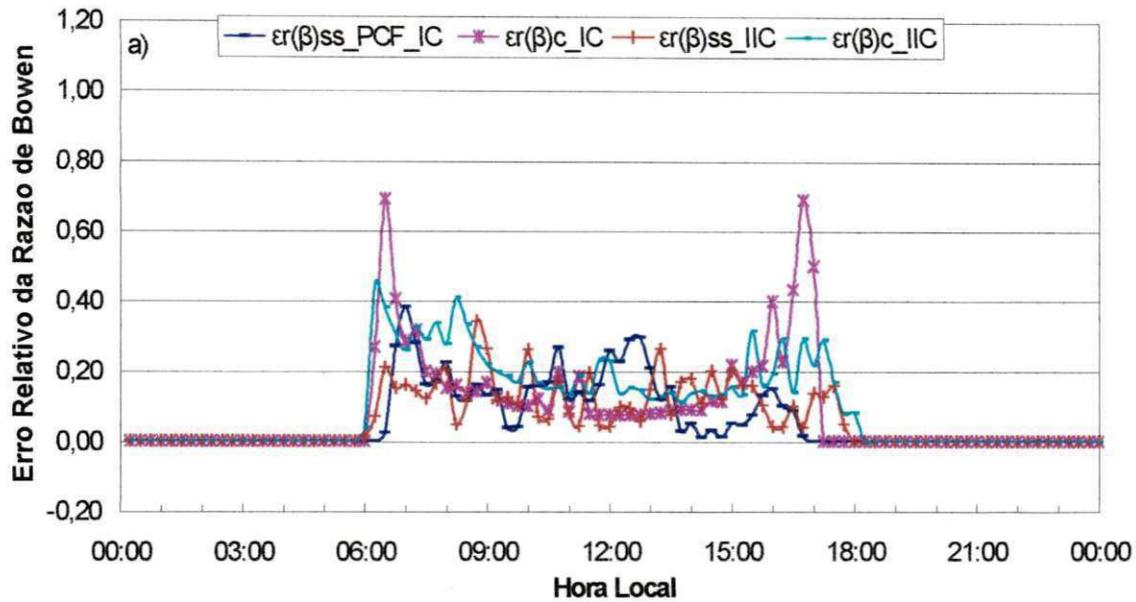


Fig. 4.26. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de parada de crescimento do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\varepsilon_r(\beta)ss_PCF_IC$, $\varepsilon_r(\beta)c_IC$, $\varepsilon_r(\beta)ss_IIC$ e $\varepsilon_r(\beta)c_IIC$, respectivamente; b) idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto - $\varepsilon_r(\beta)ss_2^aFCF_IC$, $\varepsilon_r(\beta)c_IC$, $\varepsilon_r(\beta)ss_IIC$ e $\varepsilon_r(\beta)c_IIC$, Petrolina - PE.

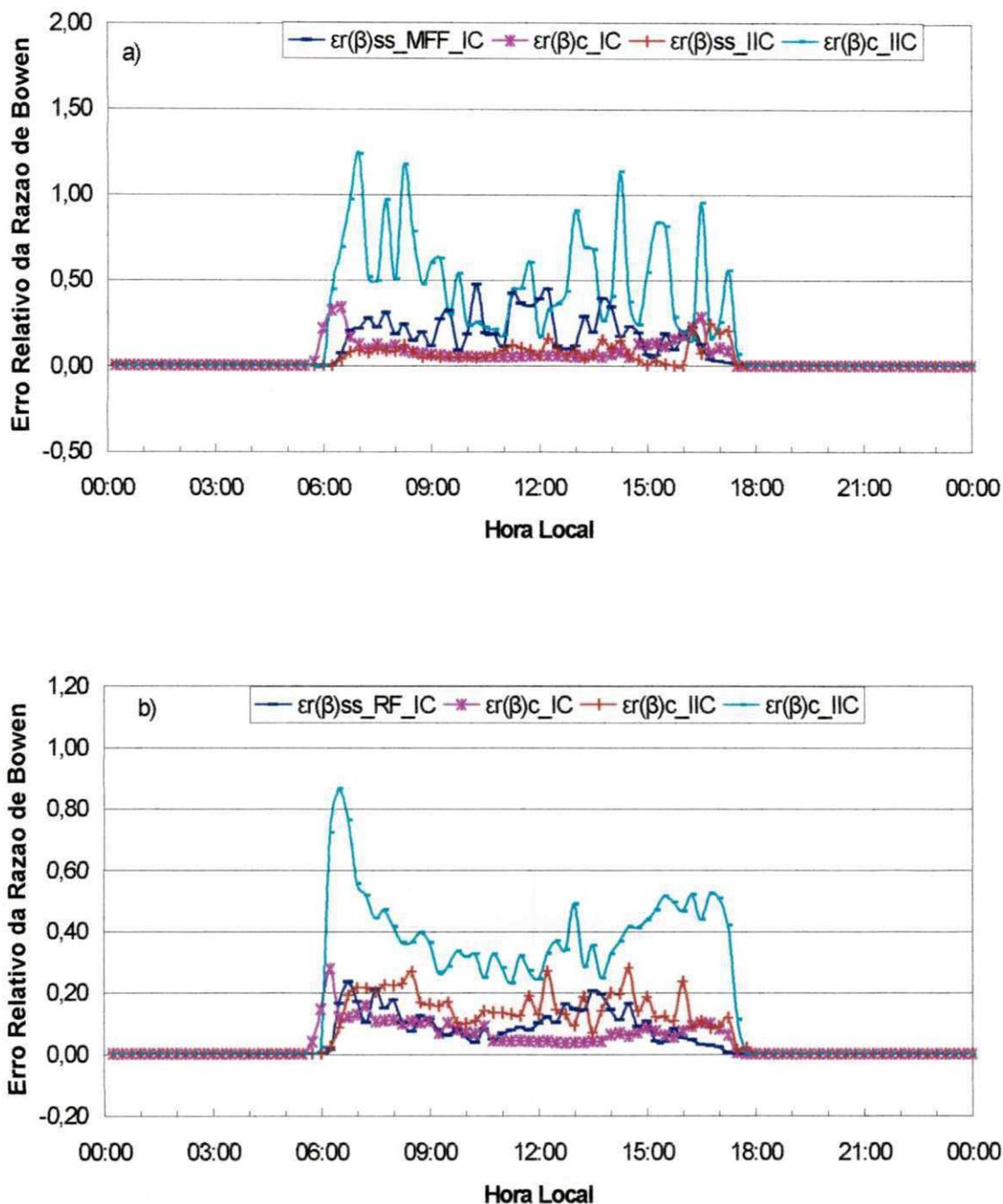


Fig. 4.27. Erros relativos médios diários da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de maturação final do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\epsilon_r(\beta)ss_MFF_IC$, $\epsilon_r(\beta)c_IC$, $\epsilon_r(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_r(\beta)c$, respectivamente; b) idem para o estágio de repouso fenológico - $\epsilon_r(\beta)ss_RF_IC$, $\epsilon_r(\beta)c_IC$, $\epsilon_r(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_r(\beta)c$, Petrolina – PE.

ciclo. No entanto, em alguns intervalos de tempo do período diurno, durante os estádios da 1ªFCF, PCF e da 2ªFCF, bem como para o dia todo dos estádios de MFF e de RF, especificamente do 1º ciclo produtivo, os valores de $\varepsilon_r(\beta)_{ss}$ apresentaram-se ligeiramente maiores que $\varepsilon_r(\beta)_c$.

Quando se analisa o $\varepsilon_r(\beta)_c$ para a condição com $F_{cs} < 0,7$, ocorrida durante o PB, pode-se observar que os valores de $\varepsilon_r(\beta)_c$ mostraram flutuações bastante acentuadas ao longo do dia, com valores variando entre $0,02 \pm 0,02$ e $0,39 \pm 0,32$ para o 1º ciclo de cultivo.

Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.24a), pode-se constatar, também, que os valores do $\varepsilon_r(\beta)_c$ oscilaram muito ao longo do dia, tendo variado entre $0,17 \pm 0,16$ e $0,98 \pm 1,02$, exceto no horário entre 6h45 e 10h00, em que seus valores oscilaram em torno de 0,15. Quando se considera o $\varepsilon_r(\beta)_{ss}$ para o 1º ciclo, verifica-se que ele mantém-se muito próximo de zero, ao longo do dia, enquanto no 2º ciclo (Figura 4.24a), também flutuou bastante, alcançando um valor máximo de $0,36 \pm 0,38$ no início da manhã, mas passou a decrescer acentuadamente, oscilando dentro de um intervalo compreendido entre $0,06 \pm 0,04$ e $0,19 \pm 0,16$.

Para o estádio de DV, condição em que $0,7 \leq F_{cs} \leq 0,97$, constatou-se para o 1º ciclo de produção, que $\varepsilon_r(\beta)_c$ adquire a forma de uma parábola côncava, em que os pontos de máxima ocorreram no início da manhã e no final da tarde, alcançando valores da ordem de $0,75 \pm 0,76$ e de $0,96 \pm 0,36$, respectivamente, enquanto o ponto de mínima ocorreu em torno das 12h00. Entretanto, no 2º ciclo (Figura 4.24a), o $\varepsilon_r(\beta)_c$ apresentou uma tendência decrescente gradativa, a partir das 6h30 até o final da tarde, passando de $1,87 \pm 1,95$ às 6:30 h para $0,01 \pm 0,02$ às 16h15. O $\varepsilon_r(\beta)$ concernente à superfície do solo mostrou uma variação um pouco mais acentuada do que aquela obtida no estádio de PB, com valores oscilando em torno de 0,10. Com respeito ao 2º ciclo (Figura 4.24a), este erro apresentou comportamento similar ao obtido para copa, porém com valores correspondendo a apenas 25% de $\varepsilon_r(\beta)_c$.

Quando se considera a condição em que $F_{cs} > 0,97$, encontrada para os demais estádios fenológicos da videira, observou-se, como regra geral, que as curvas do $\varepsilon_r(\beta)_c$ adquiriram o formato de uma parábola côncava com os pontos de máxima ocorrendo no início da manhã e no final da tarde, enquanto os de mínima foram obtidos em torno das 12horas.

No entanto, no estágio de PFF do 1º ciclo (Figura 4.25a), verificou-se que o valor máximo mais elevado aconteceu no final da tarde e que se destacou dos demais, alcançando $2,01 \pm 2,38$. Os valores médios de $\varepsilon_r(\beta)_c$ foram da ordem de $0,24 \pm 0,21$ e de $0,38 \pm 0,47$ para o 1º e 2º ciclo de cultivo, respectivamente (Figuras 4.25a a 4.27b). Com respeito à superfície do solo, verificou-se, para alguns estádios de ambos os ciclos produtivos, que as curvas de $\varepsilon_r(\beta)_{ss}$ apresentaram tendências decrescentes do início da manhã para o final da tarde, enquanto em outros, oscilaram bastante, ao longo do período diurno, com valores médios de $0,11 \pm 0,13$ para o 1º ciclo e de $0,11 \pm 0,15$ para o 2º (Figuras 4.25a a 4.27b).

Moura (2001) constatou que o erro relativo da razão de Bowen manteve-se entre 0,20 e 0,40, durante a maior parte do dia, tendo obtido valores extremos em torno de 0,60 no início da manhã e de 0,10 no final da tarde para o estágio de brotação/desenvolvimento vegetativo, mas tendeu a aumentar com relação aos demais estádios. Lopes (1999) também verificou que os valores do $\varepsilon_r(\beta)$ variaram entre 0,20 e 0,30, quando considerou períodos de 24 horas.

4.2.9.2. Erro Absoluto da Razão de Bowen – $\varepsilon_a(\beta)$

Nas Figuras 4.28a a 4.31b estão apresentados os comportamentos dos erros absolutos da Razão de Bowen diário médio referentes à copa $\varepsilon_a(\beta)_c$ e à superfície do solo $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$ para cada um dos oito estádios fenológicos da videira, durante dois ciclos de produção. Verificou-se que o $\varepsilon_a(\beta)_c$ mostrou-se mais elevado que o $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$, apenas nos estádios de DV e PFF, durante o 1º ciclo produtivo, sendo que no 2º, esta supremacia ocorreu para todos os estádios, cujos valores tornaram-se três a cinco vezes maiores do que os de $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$, exceto para o PB, em que $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$ mostrou-se mais elevado. No entanto, nos demais estádios do 1º ciclo, constatou-se uma aproximação bastante alta entre ambas as modalidades deste erro.

Quando se considera a condição em que $F_{cs} < 0,7$, ocorrido no estágio de PB, constatou-se que o $\varepsilon_a(\beta)_c$ flutuou bastante ao longo do dia, em ambos os ciclos de cultivo, sendo que os valores mais elevados foram obtidos no 2º ciclo e no final da tarde, alcançando $7,86 \pm 11,54\%$. O $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$ para o 1º ciclo (Figura 4.28a) apresentou uma tendência decrescente a partir do início da manhã, quando alcançou $0,54 \pm 0,03\%$,

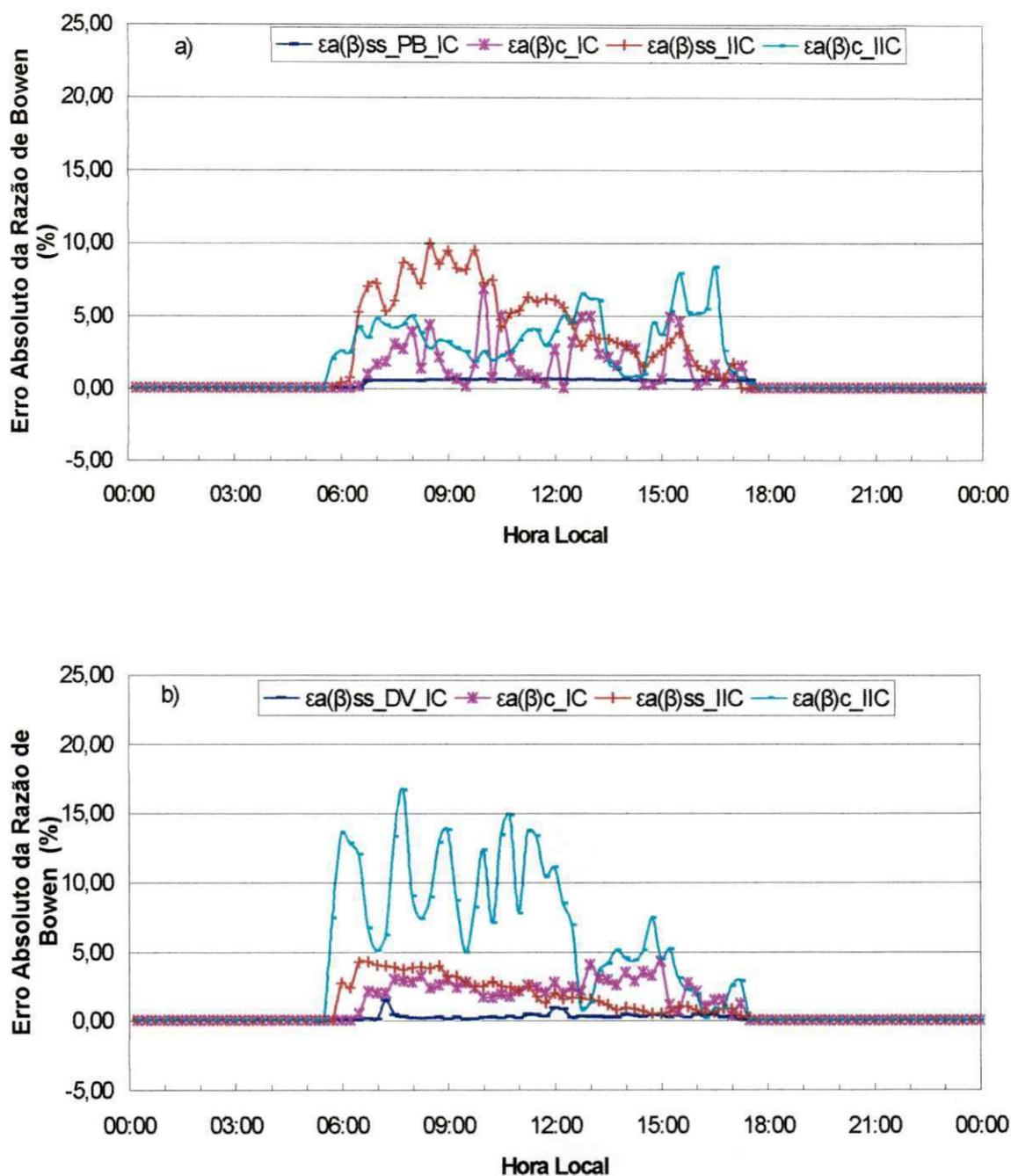


Fig. 4.28. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de brotação, para o 1^o e 2^o ciclos produtivos da videira - $\epsilon_a(\beta)ss_PB_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c_IIC$, respectivamente; b) idem para o estágio de desenvolvimento vegetativo - $\epsilon_a(\beta)ss_DV_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c_IIC$, Petrolina - PE.

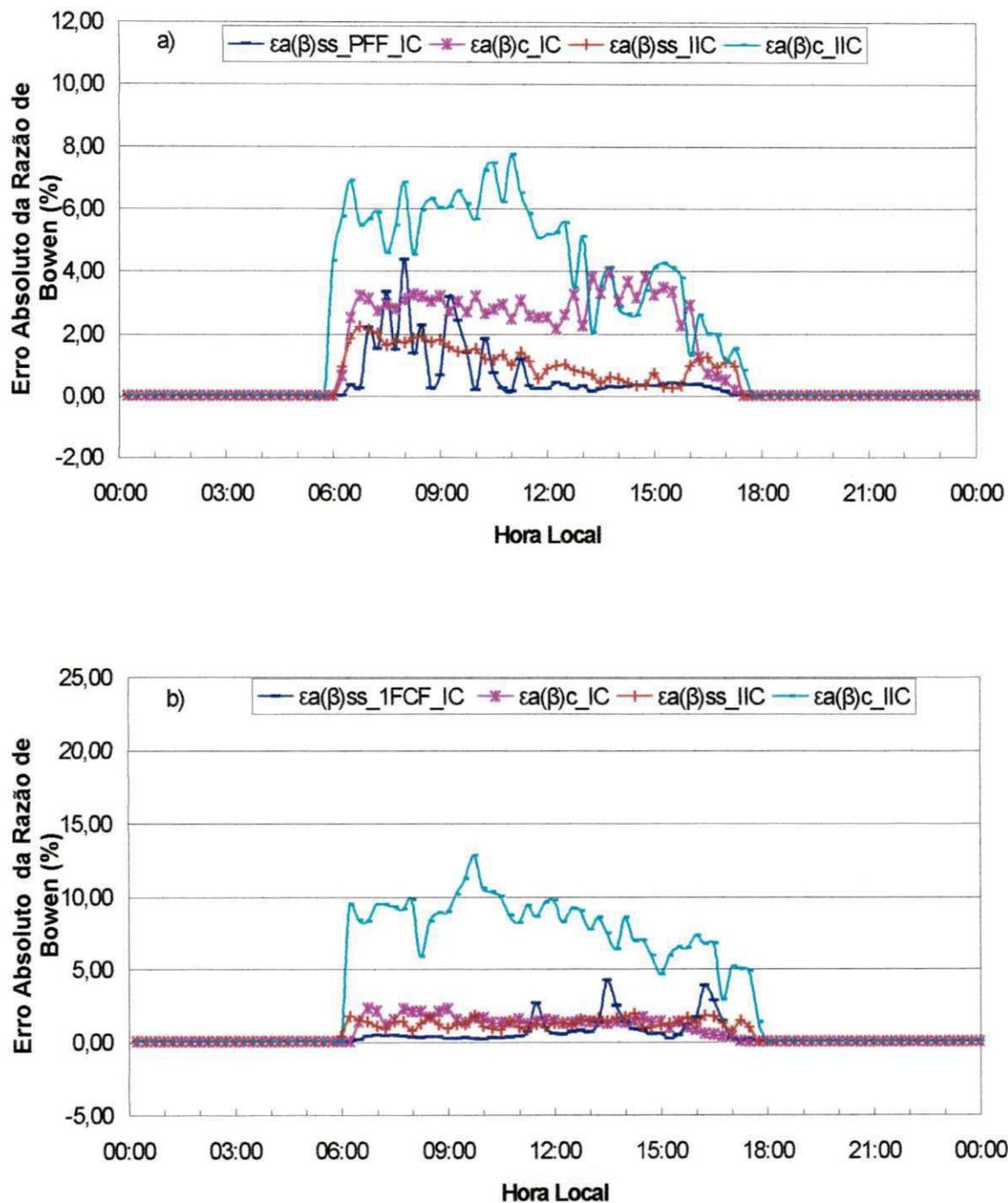


Fig. 4.29. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de pré e plena floração, para o 1^o e 2^o ciclos produtivos da videira - $\epsilon_a(\beta)_{ss_PFF_IC}$, $\epsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\epsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\epsilon_a(\beta)_{c_IIC}$, respectivamente; b) idem para o estágio da primeira fase de crescimento do fruto - $\epsilon_a(\beta)_{ss_1^{a}FCF_IC}$, $\epsilon_a(\beta)_{c_IC}$, $\epsilon_a(\beta)_{ss_IIC}$ e $\epsilon_a(\beta)_{c_IIC}$, Petrolina – PE.

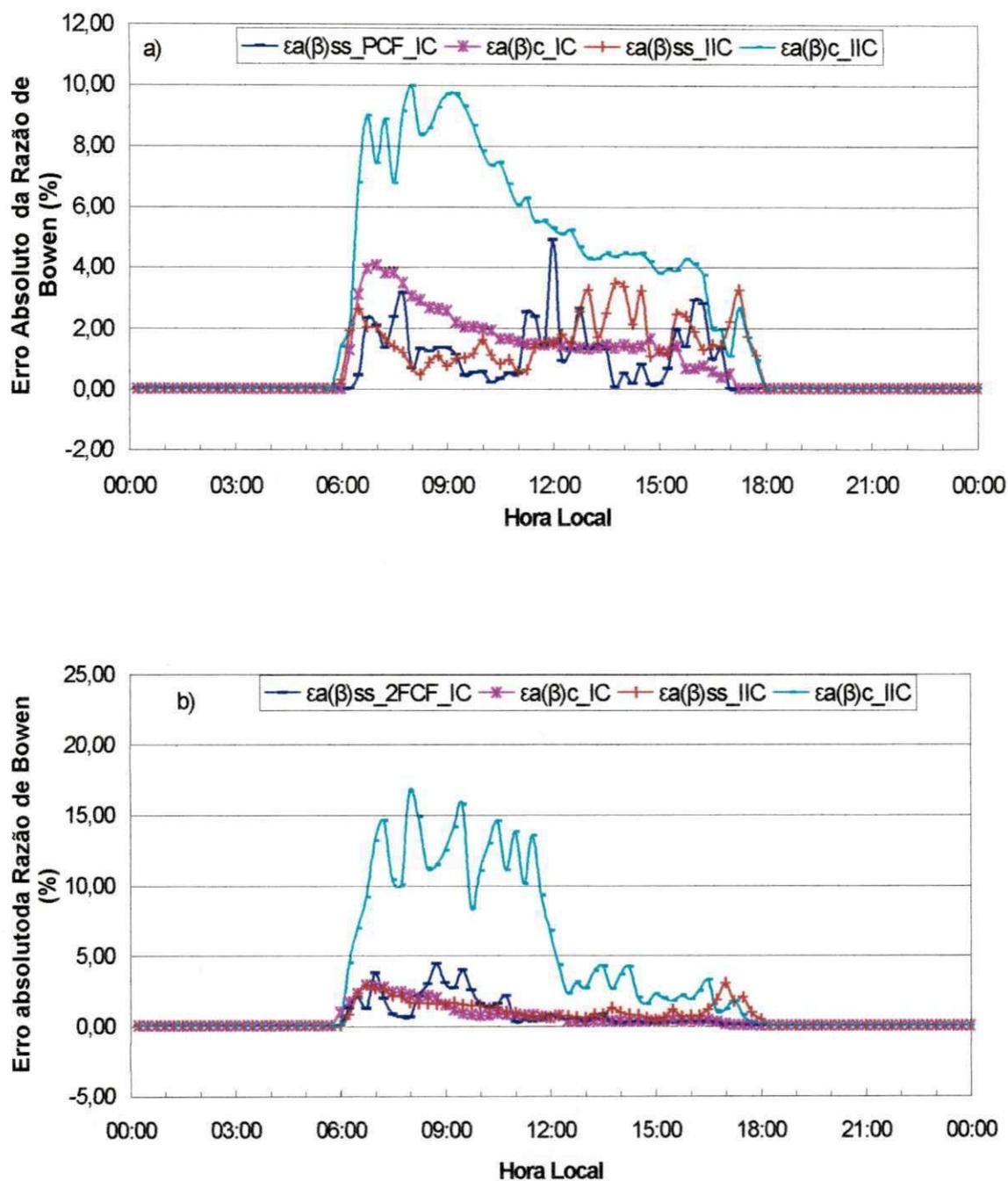


Fig. 4.30. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de parada de crescimento do fruto, para o 1^o e 2^o ciclos produtivos da videira - $\epsilon_a(\beta)ss_PCF_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c$, respectivamente; b) idem para o estágio da segunda fase de crescimento do fruto - $\epsilon_a(\beta)ss_2^{a}FCF_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c$, Petrolina – PE.

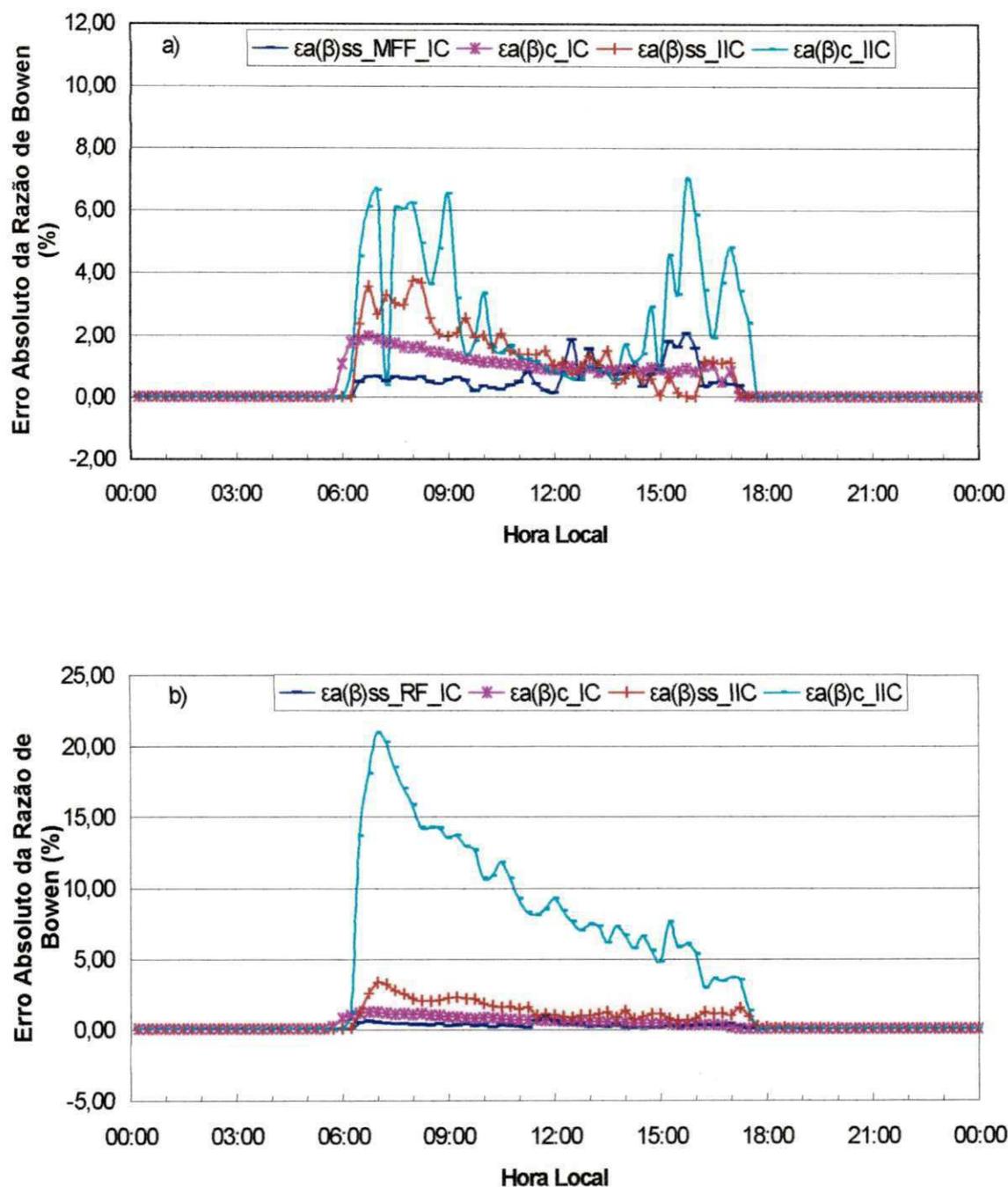


Fig. 4.31. Comportamento diário médio do erro absoluto da razão de Bowen para: a) superfície do solo e copa, referentes ao estágio de maturação final do fruto, para o 1º e 2º ciclos produtivos da videira - $\epsilon_a(\beta)ss_MFF_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c$, respectivamente; b) idem para o estágio de repouso fenológico - $\epsilon_a(\beta)ss_RF_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$ e $\epsilon_a(\beta)c$, Petrolina – PE.

acompanhado por pequenas flutuações ao longo do dia. Porém, durante o 2º ciclo, seus valores aumentaram bastante nas primeiras horas da manhã, até o nível de $9,89 \pm 3,03\%$, em torno das 9h00, quando, então, passaram a decrescer gradualmente, até o final da tarde, chegando a atingir $0,65 \pm 0,84\%$.

Com relação à condição em que $0,7 < F_{cs} \leq 0,97$, ocorrida no estádio de DV, verificou-se que o $\epsilon_a(\beta)_c$ também oscilou muito ao longo do período diurno, tendo os pontos de máxima sido da ordem de $4,72 \pm 7,11\%$ para o 1º ciclo, obtido no final da tarde, e de $16,64 \pm 21,96\%$ para o 2º ciclo, determinado às 7h45, tendo sido seguidos de flutuações bastante acentuadas, principalmente no período da manhã. O $\epsilon_a(\beta)_{ss}$ tendeu a tornar-se mais elevado no início da manhã, atingindo valores em torno de $1,46 \pm 2,33$ e de $4,24 \pm 0,97\%$, correspondentes aos 1º e 2º ciclos, respectivamente, mas passaram a decrescer para patamares inferiores a $0,28 \pm 0,29$ e a $0,65 \pm 0,66\%$, respectivamente (Figura 4.28a).

Quando se considera a condição em que $F_{cs} > 0,97$, obtido para os estádios compreendidos entre a PFF e o RF (Figuras 4.29a a 4.31b), observou-se para a maioria dos estádios de ambos os ciclos de produção, que tanto o $\epsilon_a(\beta)_c$ quanto o $\epsilon_a(\beta)_{ss}$ tenderam a decrescer a partir do início da manhã em relação ao final da tarde, tendo os valores mais elevados sido da ordem de $20,89 \pm 5,77\%$, encontrado para o $\epsilon_a(\beta)_c$ durante o RF do 2º ciclo, mas em termos médios, mostraram-se inferiores a 15%. No estádio da 1ªFCF (Figura 4.29a), ambas as modalidades de erro apresentaram-se praticamente estáveis ao longo do período diurno, exceto para o $\epsilon_a(\beta)_c$ obtido durante o 2º ciclo, quando se mostrou quatro a cinco vezes mais elevado do que os demais. O valor máximo de $\epsilon_a(\beta)_{ss}$ foi apenas de $4,38 \pm 7,08\%$, ocorrido durante a 2ªFCF no 1º ciclo de produção (Figura 4.30b).

Moura (2001), estudando também a evapotranspiração de um pomar de goiabeira irrigada, encontrou variações de erros da razão de Bowen entre 60%, às 7h30 a 10% no final da tarde, tendo, no entanto, na maior parte do dia, situado-se na faixa de 20 a 40%. Perez *et al.* (1999), fazendo uma análise minuciosa dos erros da razão de Bowen, estabeleceram critérios para aceitação/rejeição de valores de LE e de H quando $-1,3 < \beta < -0,7$, constatando que as incertezas associadas às medições de LE eram relativamente elevadas, tendo obtido variações entre 9 e 40%, sendo que os maiores valores estavam relacionados com a razão de Bowen e com o fluxo de calor sensível.

4.2.9.3. Variação dos Erros da Razão de Bowen ao longo do Ciclo de Produção da Videira

Nas Figuras 4.32a e 4.32b estão mostrados os comportamentos dos erros relativo e absoluto da razão de Bowen correspondentes à copa da videira e à superfície do solo ao longo da fenologia da videira para ambos os ciclos de produção.

Constatou-se que o $\varepsilon_r(\beta)_c$ apresentou uma oscilação bastante intensa ao longo de ambos os ciclos de produção, tendo no 1º ciclo (Figura 4.32a), aumentado de $0,19 \pm 0,09$ para $0,61 \pm 0,53$ entre os estádios de PB e de PFF, quando, então, decresceu bruscamente até o RF, alcançando $0,08 \pm 0,09$. No 2º ciclo (Figura 4.32b), este erro comportou-se de modo similar ao 1º, exceto a partir do estádio da 2ªFCF, quando, então, aumentou novamente, alcançando valores da ordem de $0,51 \pm 0,74$, durante a MFF. Constatou-se, também, que o $\varepsilon_r(\beta)_{ss}$ apresentou uma tendência crescente para o 1º ciclo, tendo aumentado de $0,01 \pm 0,00$, a partir do PB até o estádio da MFF, quando alcançou $0,19 \pm 0,27$. Entretanto, ao longo do 2º ciclo, este erro oscilou em torno de $0,11 \pm 0,13$.

Com relação ao $\varepsilon_a(\beta)_c$, pode-se verificar que o mesmo flutuou bastante ao longo do 2º ciclo de produção da videira (Figura 4.32b), adquirindo o comportamento de uma senóide, com valores variando entre $3,51 \pm 4,03$ e $9,37 \pm 5,33\%$ enquanto durante o 1º ciclo, mostrou pequena variação, cujos valores médios foram da ordem de $1,60 \pm 0,93\%$. Quanto à superfície do solo, observou-se que o valor médio mais elevado do $\varepsilon_a(\beta)_{ss}$ foi apenas de $1,33 \pm 2,51\%$, obtido no estádio do PCF do 1º ciclo, enquanto no 2º ciclo, chegou a $4,61 \pm 2,10\%$ (Figura 4.32b).

4.2.9.4. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente – $\varepsilon_a(LE)$

Foi analisado o erro absoluto do fluxo de calor latente $\varepsilon_a(LE)$ obtido por meio do BERB aplicado ao sistema “copa-solo” e a sua subdivisão em dois subsistemas “copa” e “superfície do solo”, levando-se em consideração seus oito estádios fenológicos, durante dois ciclos produtivos da videira.

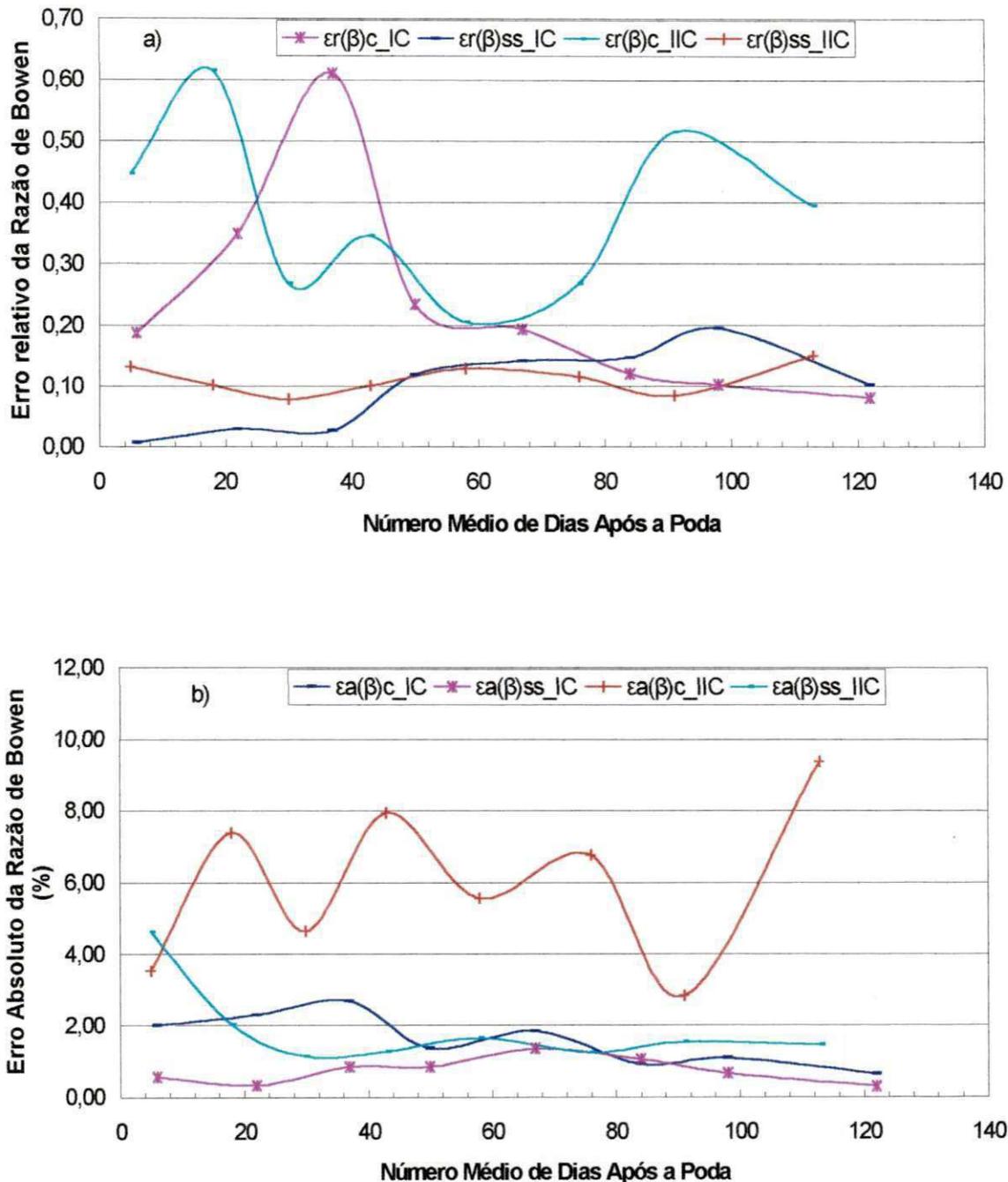


Fig. 4.32. Comportamento dos erros: a) relativo da razão de Bowen correspondentes à copa da videira e à superfície do solo ao longo da fenologia da videira para o 1º e 2º ciclos de produção – $\epsilon_r(\beta)c_IC$, $\epsilon_r(\beta)ss_IC$, $\epsilon_r(\beta)c_IIC$, $\epsilon_r(\beta)ss_IIC$, respectivamente, b) idem absoluto– $\epsilon_a(\beta)c_IC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IC$, $\epsilon_a(\beta)c_IIC$, $\epsilon_a(\beta)ss_IIC$, respectivamente, Petrolina – PE.

4.2.9.4.1. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa-solo” – $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$

Nas Figuras 4.33a e 4.33b estão apresentados os comportamentos do $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ obtidos com base no balanço de energia determinado pela metodologia clássica aplicada ao “sistema copa-solo”, correspondente aos estádios de PB, DV, 1^aFCF, 2^aFCF e RF para os dois ciclos de produção da videira. Pode-se constatar para ambos os ciclos, que os valores do $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ mostraram-se mais elevados para os estádios do PB e DV, mas tenderam a decrescer à medida que o Fcs aumentava, exceto para o PB do 1^o ciclo (Figura 4.33a), em que seus valores flutuaram bastante durante o período diurno e para o RF do 2^o ciclo (Figura 4.33b), cujo comportamento mostrou-se praticamente igual ao do estádio da 1^aFCF. Pode-se constatar, também, que o valor máximo do $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ obtido para o DV do 1^o ciclo foi da ordem de $9,80 \pm 2,62 \text{ W.m}^{-2}$, apresentando-se cinco vezes menor quando comparado àquele determinado para o 2^o ciclo, que foi de $48,29 \pm 18,23 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto para os demais estádios, essa relação oscilou entre 0,2 e 0,5. Em termos médios, os valores máximos do erro absoluto de LE ocorreram no horário compreendido entre 11h00 e 12h00, em decorrência da maior disponibilidade de energia (Figuras 4.33a e 4.33b).

A elevada variação observada para $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ para o estádio do PB ao longo do período diurno pode ter sido resultante dos problemas ocorridos com a ascensão da água nos psicrômetros, enquanto a superposição das curvas de $\epsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ observada entre os estádios da 1^aFCF e do RF relativo ao 2^o ciclo, pode estar associada às chuvas intensas contínuas ocorridas durante a 1^aFCF.

4.2.9.4.2. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema Copa da Videira - $\epsilon_r(\text{LE})_c$

Nas Figuras 4.34a e 4.34b estão ilustrados os comportamentos do $\epsilon_r(\text{LE})_c$, obtidos com base no balanço de energia modificado, aplicado ao sistema “copa” da videira, correspondentes aos estádios de PB, DV, 1^aFCF, 2^aFCF e RF. Pode-se observar, para ambos os ciclos, que as curvas do $\epsilon_r(\text{LE})_c$ mostraram-se mais elevadas para os estádios do PB e DV, mas tenderam a decrescer à medida que o Fcs aumentava, exceto para o PB do 1^o ciclo, em que seus valores oscilaram bastante durante o período diurno. Pode-se constatar,

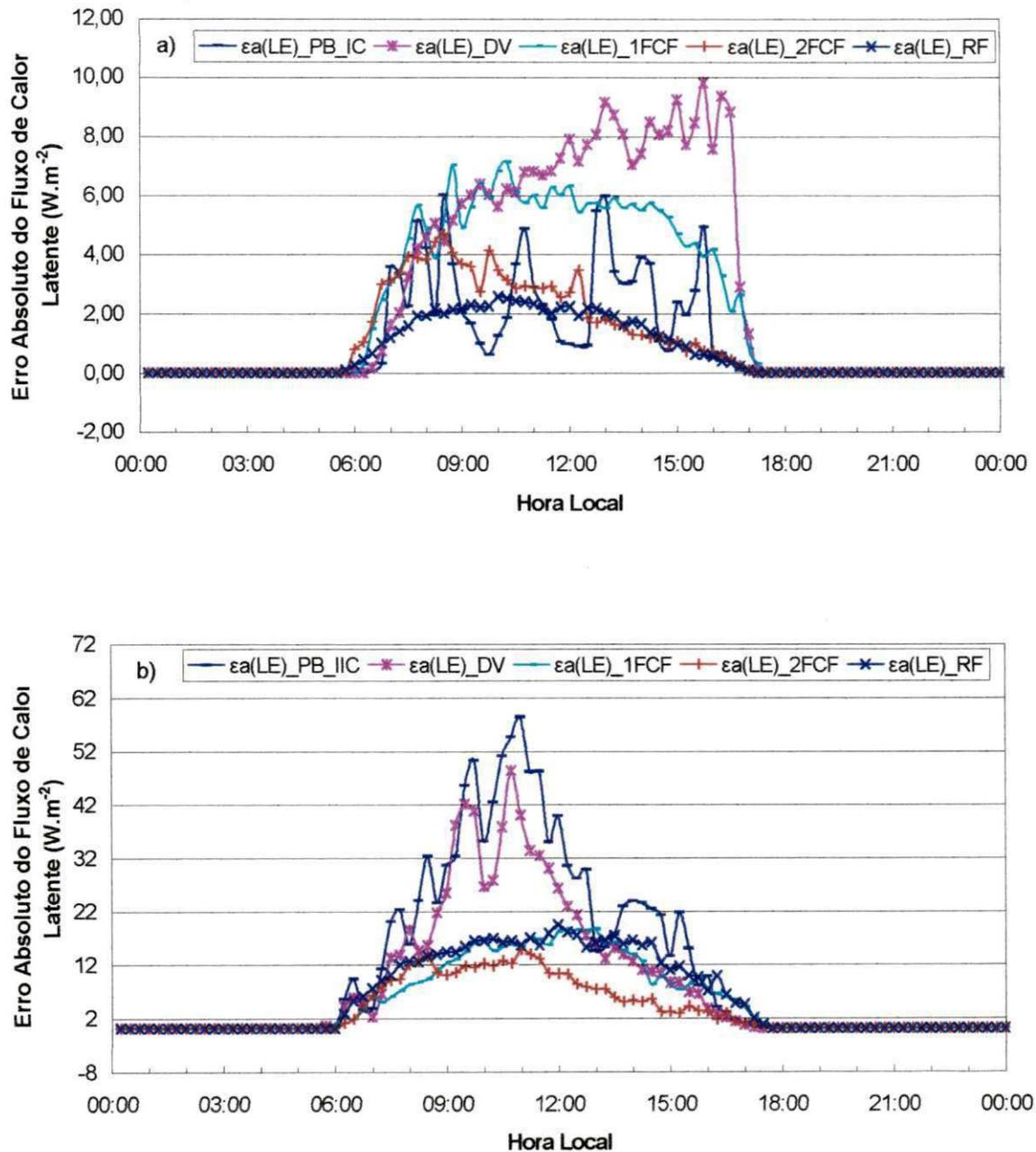


Fig. 4.33. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado no sistema “copa-solo” para os estádios do período de brotação - $\epsilon_a(\text{LE})_{\text{PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo - $\epsilon_a(\text{LE})_{\text{DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto - $\epsilon_a(\text{LE})_{\text{1FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto - $\epsilon_a(\text{LE})_{\text{2FCF}}$ e de repouso fenológico - $\epsilon_a(\text{LE})_{\text{RF}}$ do 1^o ciclo de produção da videira - Petrolina - PE. b) idem para o 2^o ciclo, Petrolina - PE.

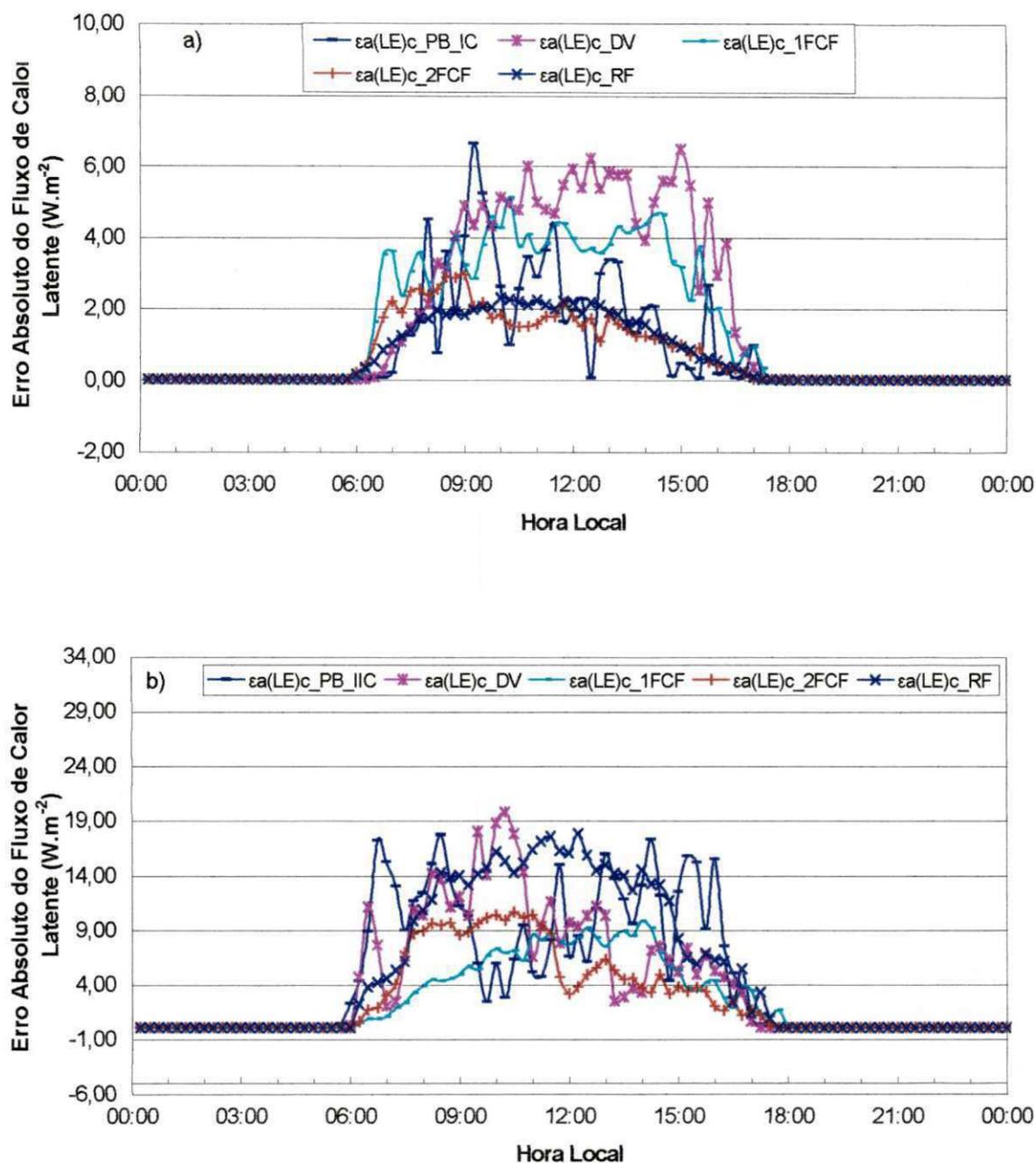


Fig. 4.34. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia modificado aplicado ao sistema “copa” para os estádios do período de brotação das gemas vegetativas – $\epsilon_a(LE)c_{PB_IC}$; desenvolvimento vegetativo – $\epsilon_a(LE)c_{DV}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\epsilon_a(LE)c_{1^aFCF}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\epsilon_a(LE)c_{2^aFCF}$ e de repouso fenológico – $\epsilon_a(LE)c_{RF}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

também, que o valor máximo do $\varepsilon_a(\text{LE})_c$ obtido para o DV do 1º ciclo foi da ordem de $6,49 \pm 1,71 \text{ W.m}^{-2}$, mostrando-se três vezes menor quando comparado àquele calculado para o 2º ciclo, que foi de $19,79 \pm 10,34 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto para os demais estádios, essa relação foi ligeiramente mais elevada. Em termos médios, os valores máximos do erro absoluto de LE estabilizaram-se em diversos patamares, no horário compreendido entre 9h00 e 15h00, principalmente durante o 1º ciclo de produção da videira, enquanto no 2º ciclo não se obteve um comportamento padronizado para o $\varepsilon_a(\text{LE})_c$, uma vez que ele tende a flutuar bastante ao longo do período diurno (Figuras 4.34a e 4.34b).

4.2.9.4.3. Erro Absoluto do Fluxo de Calor Latente para o Sistema Superfície do Solo

- $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$

Nas Figuras 4.35a e 4.35b estão apresentados os comportamentos do $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$ obtidos com base no balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” relativo aos estádios do PB, DV, 1ªFCF, 2ªFCF e RF para os dois ciclos de cultivo. Constatou-se que todas as curvas do $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$ flutuaram demasiadamente ao longo do período diurno, não se obtendo um comportamento padrão para cada um dos estádios avaliados. No entanto, nos estádios do PB, DV e 1ªFCF do 2º ciclo, os valores do $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$ mostraram-se bem mais elevados do que aqueles obtidos para os demais estádios deste ciclo. Verificou-se, ainda, que os valores mais altos do $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$ determinados para o 1º ciclo foram inferiores a $0,8 \text{ W.m}^{-2}$, enquanto no 2º ciclo alcançaram valores dez vezes maiores (Figuras 4.35a e 4.35b).

4.2.9.4.4. Comparação entre as Modalidades de Erro absoluto do Fluxo de Calor Latente ao longo do ciclo produtivo da videira

Nas Figuras 4.36a e 4.36b estão representados os comportamentos dos erros absolutos do fluxo de calor latente obtidos com base na metodologia clássica utilizada para o sistema “copa-solo” $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$, metodologia modificada para o sistema “copa” da videira $\varepsilon_a(\text{LE})_c$ e metodologia clássica aplicada ao sistema “superfície do solo” $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$, considerando-se oito estádios fenológicos distintos e dois ciclos de cultivo da videira.

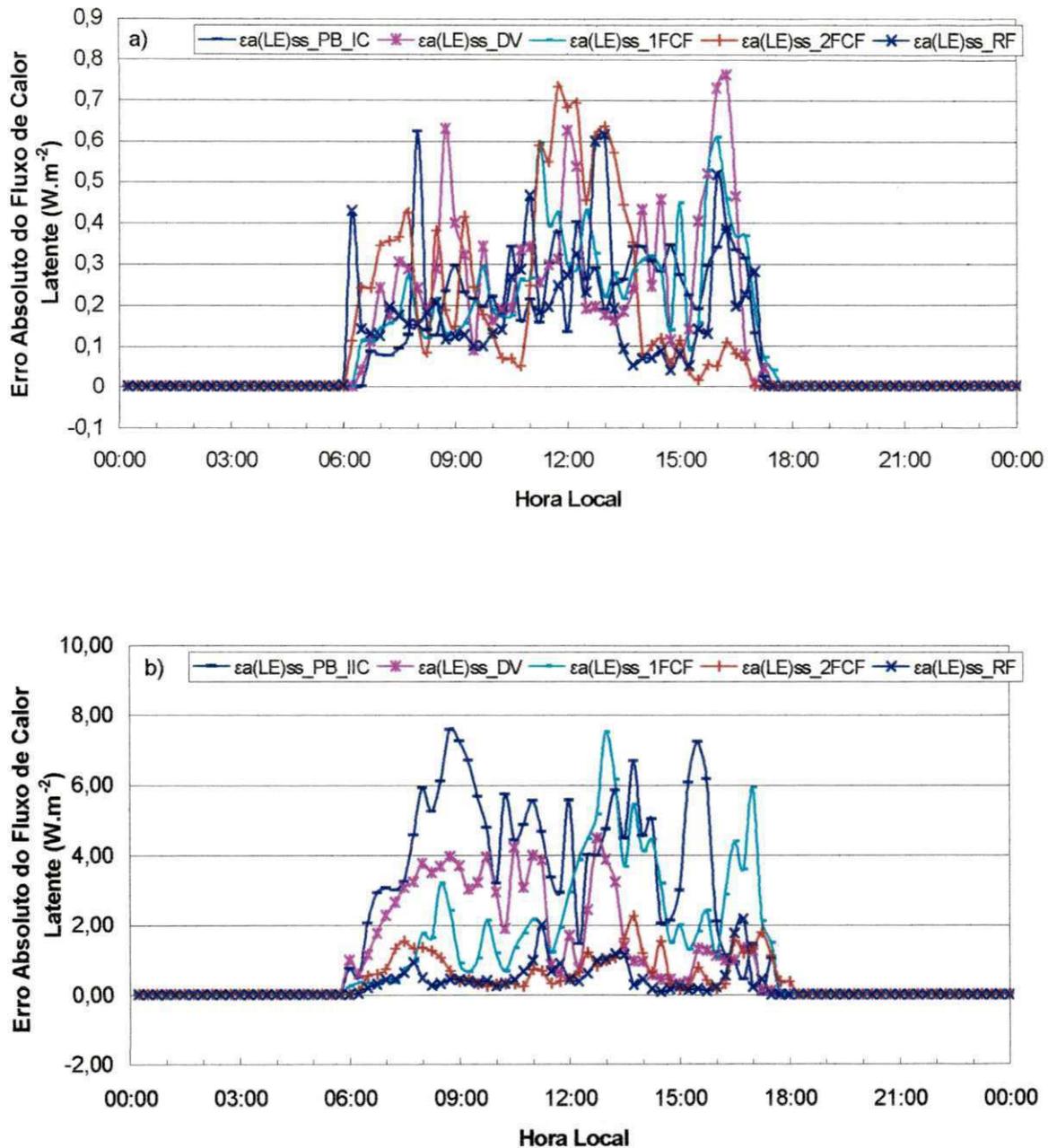


Fig. 4.35. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” para os estádios do período de brotação – $\epsilon_a(LE)ss_PB_IC$; desenvolvimento vegetativo – $\epsilon_a(LE)ss_DV$; primeira fase de crescimento do fruto – $\epsilon_a(LE)ss_1^aFCF$; segunda fase de crescimento do fruto – $\epsilon_a(LE)ss_2^aFCF$ e de repouso fenológico – $\epsilon_a(LE)ss_RF$ do 1º ciclo de produtivo da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

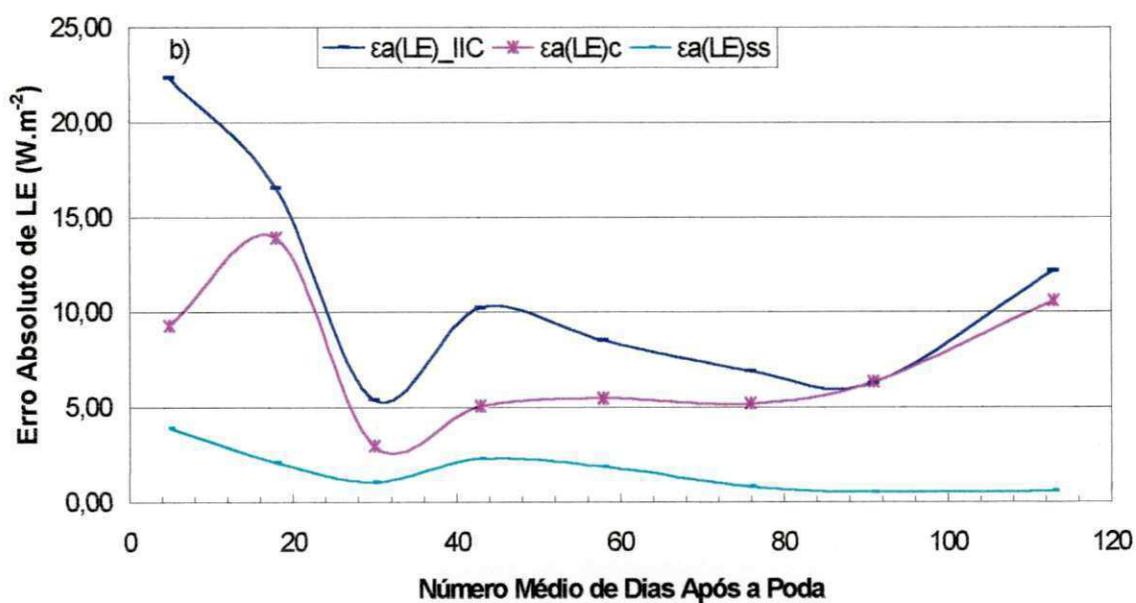
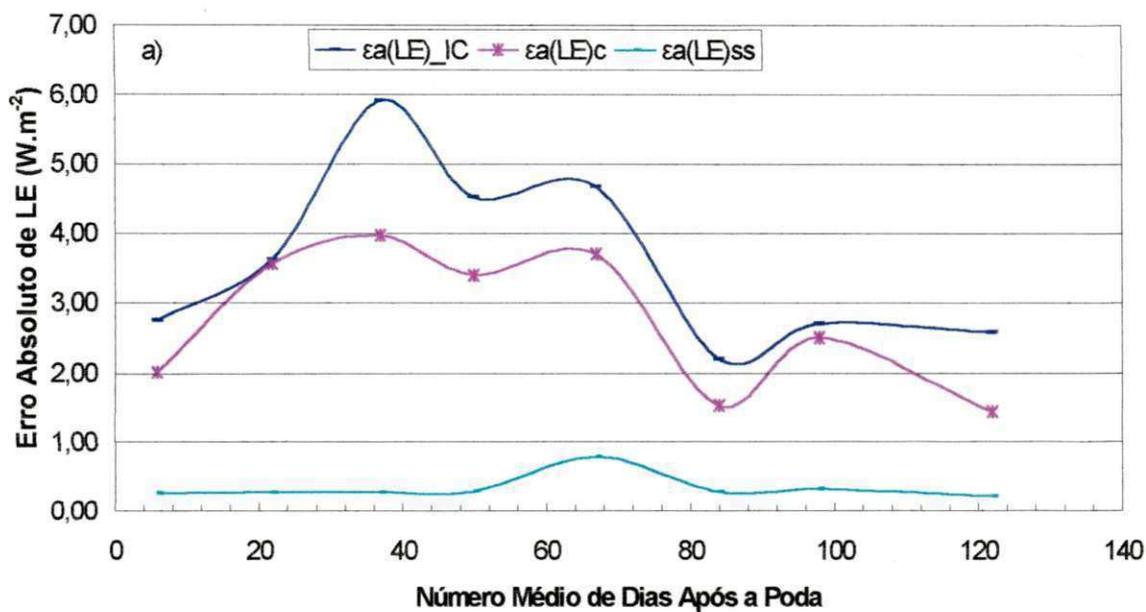


Fig. 4.36. Comportamento do erro absoluto do fluxo de calor latente obtido pelo balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas “copa-solo” – EALE, “copa”-EALEc e “superfície do solo”_EALess, ao longo do ciclo fenológico da videira, sendo: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

Pode-se constatar, para ambos os ciclos de produção, que os valores dos erros absolutos do fluxo de calor latente obtidos no 1º ciclo de cultivo corresponderam a apenas um terço daqueles obtidos ao longo do 2º. Os valores de $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ foram sempre superiores aos de $\varepsilon_a(\text{LE})_c$, exceto nos estádios de PB e DV do 1º ciclo e de PB e MFF do 2º, que também foram muito mais elevados quando comparados com $\varepsilon_a(\text{LE})_{ss}$ (Figuras 4.36a e 4.36b).

Analisando-se cada uma das categorias de erro, verifica-se que $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ mostrou uma tendência crescente durante os três primeiros estádios fenológicos da videira correspondente ao 1º ciclo, mas passou a decrescer acentuadamente, a partir daí, até o estádio de RF. Com relação ao 2º ciclo, pode-se observar que $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ elevou-se de $8,55 \pm 9,07$ para $16,49 \pm 11,02 \text{ W.m}^{-2}$ entre os estádios de PB e de DV, decresceu bruscamente para $5,34 \pm 3,40 \text{ W.m}^{-2}$ durante a PFF, elevou-se novamente no estádio seguinte, quando, então, apresentou uma tendência decrescente até o estádio de MFF, exceto para o RF que voltou a aumentar (Figuras 4.36a e 4.36b).

Quando se considera o erro $\varepsilon_a(\text{LE})_c$, pode-se constatar que ele apresentou um comportamento bastante similar ao obtido para $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ para ambos os ciclos de produção, porém com valores ligeiramente menores, exceto nos estádios de PFF, 1ªFCF e de PCF do 1º ciclo, em que a diferença média entre estes erros foi da ordem de 11,64%, enquanto que para o 2º ciclo foi de 8,40%, referentes aos estádios de 1ªFCF e de PCF. Quanto ao $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$, observa-se que ele se manteve inferior a $0,83 \text{ W.m}^{-2}$, tendo apresentado um valor médio de $0,41 \pm 0,57 \text{ W.m}^{-2}$. Durante o 2º ciclo, este erro foi da ordem de $3,83 \pm 2,27 \text{ W.m}^{-2}$ no estádio de PBGV, mas decresceu gradualmente para $1,00 \pm 1,11 \text{ W.m}^{-2}$ na PFF da videira, quando, então, mostrou um pequeno aumento no estádio fenológico seguinte, mas a partir daí, regrediu novamente para um patamar em torno de $0,59 \pm 0,80 \text{ W.m}^{-2}$ (Figuras 4.36a e 4.36b).

As reduções bruscas observadas tanto para $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ quanto para $\varepsilon_a(\text{LE})_c$ entre os estádios de PFF e de 1ªFCF no 1º ciclo, podem estar associadas à eliminação do excesso de ramos, principalmente daqueles situados em pontos que afetariam a arquitetura da planta para a próxima poda de produção. Por outro lado, os elevados valores obtidos tanto para $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ quanto para $\varepsilon_a(\text{LE})_c$ ocorridos durante o estádio de DV do 2º ciclo (Figura 4.36b), resultaram da elevada flutuação de β_c e, conseqüentemente, de $\varepsilon_r(\beta)_c$ e $\varepsilon_a(\beta)_c$, uma vez que a quantidade de saldo de radiação acima e abaixo da copa da videira apresentou pouca

variação, durante os três primeiros estádios deste ciclo de cultivo. No entanto, a obtenção de valores elevados para $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_s}$ e para $\varepsilon_a(\text{LE})_{c_c}$, durante o estágio de RF do 2º ciclo, foi decorrente do aumento da razão de Bowen, quando comparados com o estágio de MFF, mesmo com a redução da energia disponível ($R_{nc} - G$) e R_{ncc} , respectivamente (Figura 4.36b).

Moura (2001), estudando o consumo hídrico num pomar de goiabeira, obteve erros absolutos para LE de até 110 W.m^{-2} , por volta das 12h00, tendo seguido uma proporcionalidade em relação ao saldo de radiação. No entanto, quando considerou o ciclo fenológico da goiabeira como um todo, verificou que os valores desta categoria de erro situaram-se entre 20 e 90 W.m^{-2} .

4.2.9.5. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente - $\varepsilon_r(\text{LE})$

Foram analisados o erro relativo do fluxo de calor latente $\varepsilon_r(\text{LE})$ obtido por meio do BERB aplicado ao sistema “copa-solo” e a sua subdivisão em dois subsistemas “copa” e “superfície do solo”, levando-se em consideração seus oito estádios fenológicos, durante dois ciclos produtivos da videira.

4.2.9.5.1. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa-solo” - $\varepsilon_r(\text{LE})_{c_s}$

Nas Figuras 4.37a e 4.37b estão ilustrados os comportamentos do $\varepsilon_r(\text{LE})_{c_s}$ obtidos com base no balanço de energia determinado pela metodologia clássica para o sistema “copa-solo”, relativo aos estádios do PB, DV, 1ªFCF, 2ªFCF e RF para dois ciclos de produção. Constatou-se, para ambos os ciclos, em termos médios, que os valores do $\varepsilon_r(\text{LE})_{c_s}$ obtidos no 2º ciclo produtivo foram seis a oito vezes mais elevados que aqueles determinados para o 1º ciclo. Constatou-se, também, que o $\varepsilon_r(\text{LE})_{c_s}$ flutuou bastante ao longo do período diurno para o estágio do PB do 1º ciclo e para os de PB e DV do 2º, alcançando valores em torno de $0,08 \pm 0,13$, $0,54 \pm 0,65$ e $0,53 \pm 0,53$, respectivamente. Nos estádios de DV e 1ªFCF do 1º ciclo (Figura 4.37a), as curvas deste erro adquiriram a forma de uma parábola côncava, apresentando pontos máximos no início da manhã e no final da tarde, em torno de $0,04 \pm 0,09$ e $0,06 \pm 0,08$ e de $0,06 \pm 0,04$ e $0,06 \pm 0,07$, respectivamente.

Entretanto, nos estádios da 2ªFCF e RF do 1º ciclo e nos demais estádios do 2º, os valores de $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ tenderam a decrescer gradativamente, a partir do início da manhã (Figuras 4.37a e 4.37).

4.2.9.5.2. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o Sistema “Copa” da Videira - $\varepsilon_r(\text{LE})_c$

Nas Figuras 4.38a a 4.38b estão mostrados os comportamentos do $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ obtidos com base no balanço de energia pela metodologia modificada para o sistema “copa”, relativo aos estádios do PB, DV, 1ªFCF, 2ªFCF e RF para os dois ciclos de produção. Observou-se, em termos médios, que os valores do $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ obtidos para o 2º ciclo eram seis vezes maiores que os encontrados para o 1º. Observou-se, também, que os valores do $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ comportaram-se de maneira similar àqueles obtidos para o sistema “copa-solo”. Ou seja, os valores do $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ para o estádio de PB do 1º ciclo (Figura 4.38a) oscilaram bastante ao longo do dia, tendo apresentado valor máximo da ordem de $0,08 \pm 0,04$, enquanto durante o DV do 2º ciclo (Figura 4.38b), alcançaram 0,68. Para os estádios de DV e 1ªFCF do 1º ciclo e para os demais do 2º, as respectivas curvas adquiriram um formato parabólico côncavo, com valores máximos do $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ ocorrendo sempre no início da manhã e no final da tarde, exceto para o estádio de RF relativo ao 1º ciclo, que apresentou uma tendência decrescente a partir do início da manhã (Figuras 4.38a e 4.38b).

4.2.9.5.3. Erro Relativo do Fluxo de Calor Latente para o sistema “superfície do solo” - $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$

Nas Figuras 4.39a e 4.39b estão apresentados os comportamentos do $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$ obtidos com base no balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” para os estádios do PB, DV, 1ªFCF, 2ªFCF e RF em dois ciclos de produção da videira. Verificou-se, para ambos os ciclos de produção, que as curvas do $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$ também adquiriram a forma de uma parábola côncava, com os valores máximos sempre ocorrendo no início da manhã e no final da tarde, porém sempre acompanhados de flutuações ao longo do dia. Os valores mais elevados do $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$ foram obtidos para os estádios de DV e 1ªFCF do 1º ciclo e para o de PB do 2º ciclo (Figuras 4.39a e 4.39b).

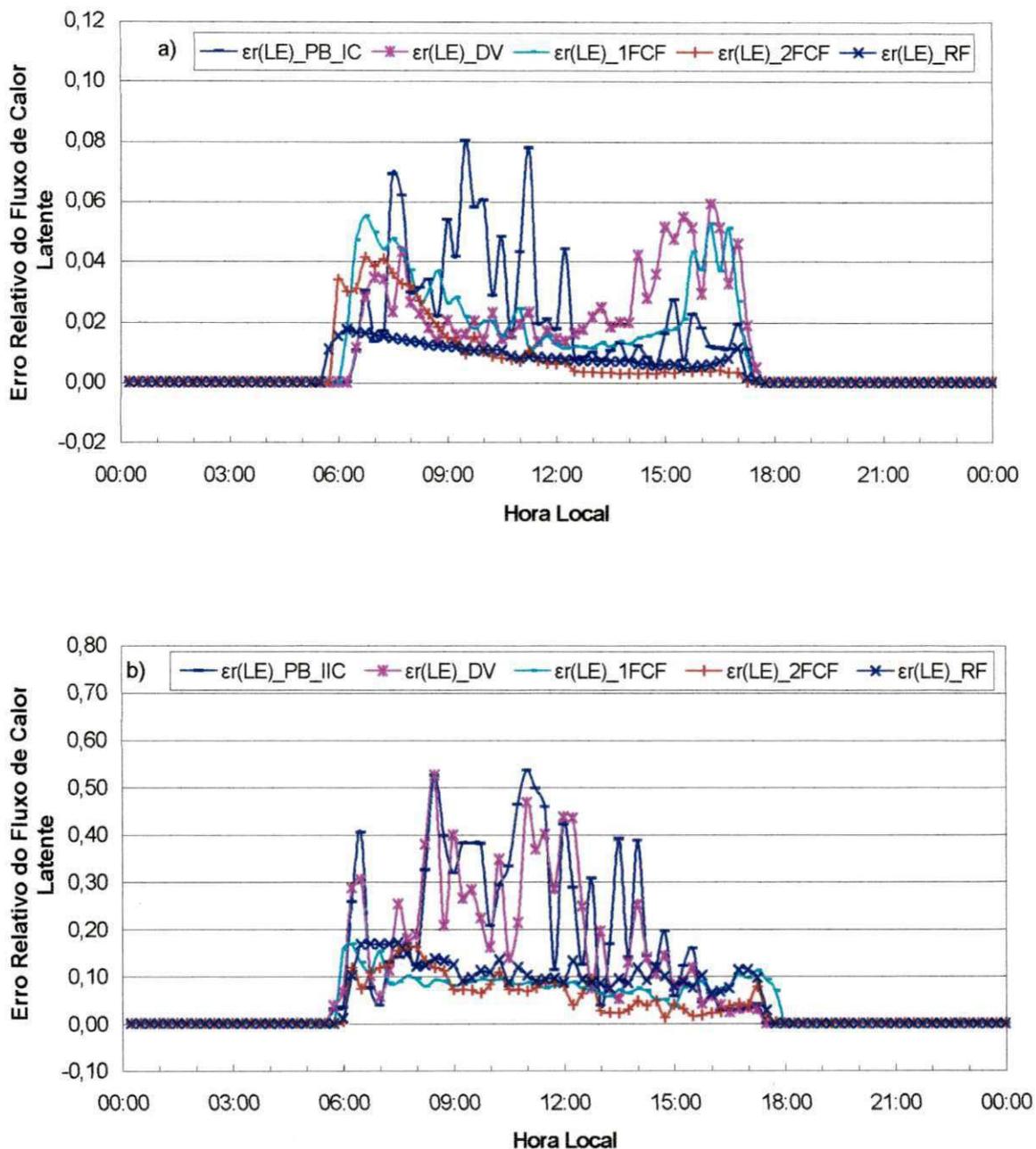


Fig. 4.37. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “copa-solo” para os estádios de brotação das gemas vegetativas – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{1}^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{2}^{\text{a}}\text{FCF}}$ e de repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina –PE.

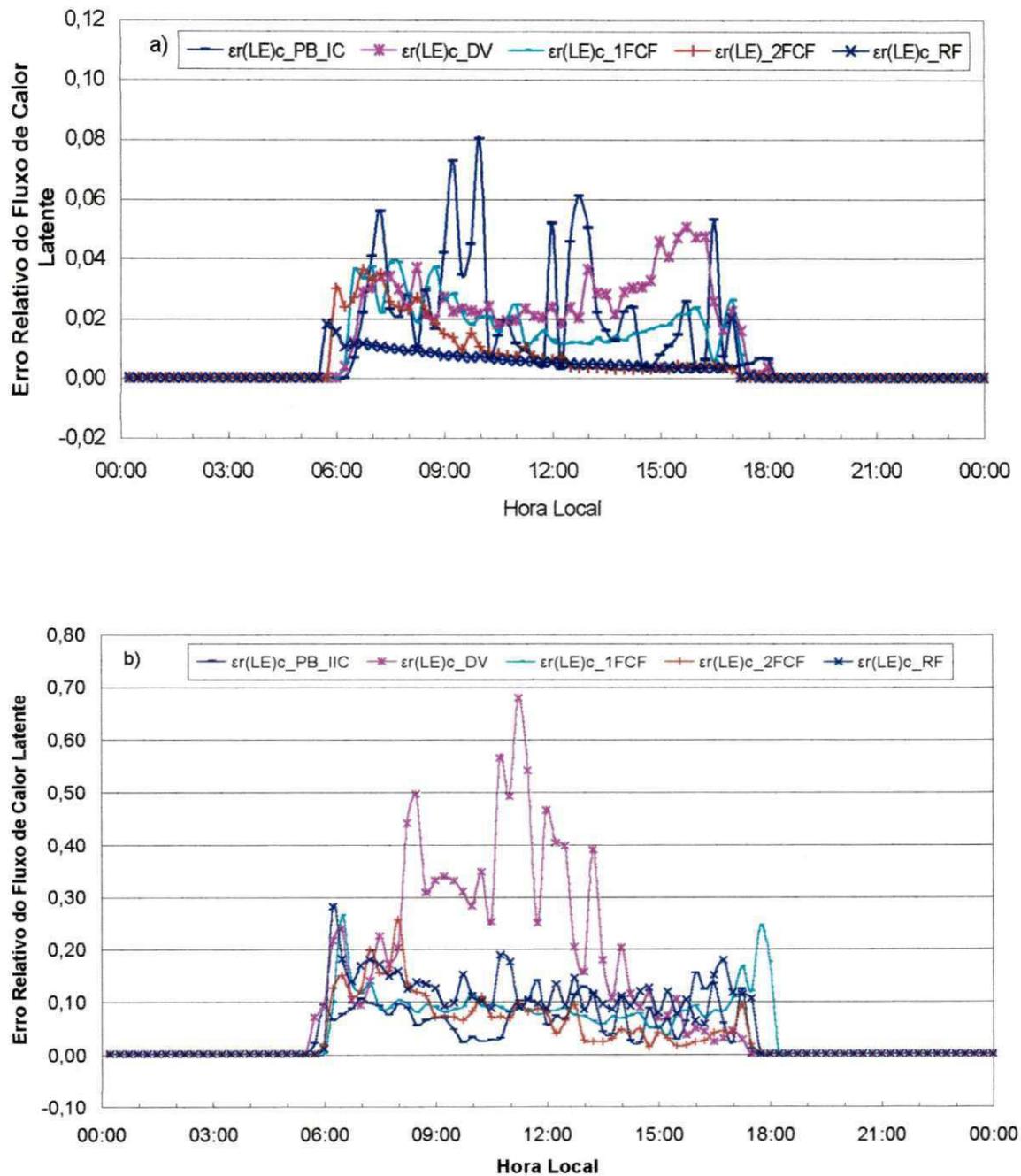


Fig. 4.38. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente: a) balanço de energia clássico aplicado ao para o sistema “copa” para os estádios de brotação da gemas vegetativas – $\varepsilon_r(\text{LE})c_{\text{PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})c_{\text{DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})c_{\text{1}^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})c_{\text{2}^{\text{a}}\text{FCF}}$ e repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})c_{\text{RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

4.2.9.5.4 - Comparação entre os Erros Relativos do Fluxo de Calor Latente

Nas Figuras 4.40a e 4.40b estão representados os comportamentos dos erros relativos do fluxo de calor latente, obtidos com base na metodologia clássica utilizada para um volume de controle único - $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$, na metodologia modificada para o volume de controle exclusivo para a copa da videira - $\varepsilon_r(\text{LE})_c$ e na metodologia clássica aplicada ao volume de controle exclusivo para a superfície do solo $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$, considerando-se oito estádios fenológicos distintos e dois ciclos de cultivo da videira.

Pode-se observar que o valor médio de $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$, relativo do fluxo de calor latente obtido para o 1º ciclo de cultivo, correspondeu a apenas 20,27% daquele obtido para o 2º ciclo, cuja média foi de $0,11 \pm 0,12\%$. Os valores de $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ obtidos durante o 1º ciclo de produção (Figura 4.40a) mostraram-se ligeiramente superiores aos de $\varepsilon_r(\text{LE})_c$, exceto no estágio de PB, em que a diferença entre eles foi bastante acentuada. No entanto, no 2º ciclo (Figura 4.40b), observou-se uma inversão dos resultados, mas as diferenças entre eles foram desprezíveis, com exceção do estágio de DV, que se apresentou bastante elevada. Quanto ao $\varepsilon_r(\text{LE})_{ss}$, observou-se que ele mostrou-se muito menor que os outros dois tipos de erros, em ambos os ciclos de produção, exceto entre os estádios de PCF ao RF do 1º ciclo, em que os resultados foram praticamente iguais (Figuras 4.40a e 4.40b).

Analisando-se cada uma das categorias de erro, verificou-se que $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ mostrou uma tendência crescente durante os três primeiros estádios fenológicos da videira correspondente ao 1º ciclo (Figura 4.40a), alcançando valores da ordem de $0,04 \pm 0,03$, mas passou a decrescer acentuadamente a partir daí até o estágio de RF, quando atingiu o nível de $0,01 \pm 0,01$. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.40b), constatou-se que $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ apresentou um comportamento senoidal ao longo da fenologia da videira. Ou seja, decresceu de $0,22 \pm 0,20$ para $0,05 \pm 0,07$ entre os estádios de PB e de PFF, quando, então, se elevou até $0,08 \pm 0,08$ na 1ªFCF; passou a decrescer novamente, alcançando valores em torno de $0,05 \pm 0,03$ no estágio da PCF, sendo que a partir daí voltou a aumentar novamente para $0,11 \pm 0,13$, no estágio de RF.

Quando se considera $\varepsilon_r(\text{LE})_c$, pode-se verificar que ele apresentou um comportamento bastante similar ao obtido para $\varepsilon_r(\text{LE})_{c-s}$, para ambos os ciclos de cultivo, sendo que no 1º ciclo, seus valores mostraram-se ligeiramente menores, exceto para o estágio de DV, em que a diferença média entre estes erros foi da ordem de 10% enquanto

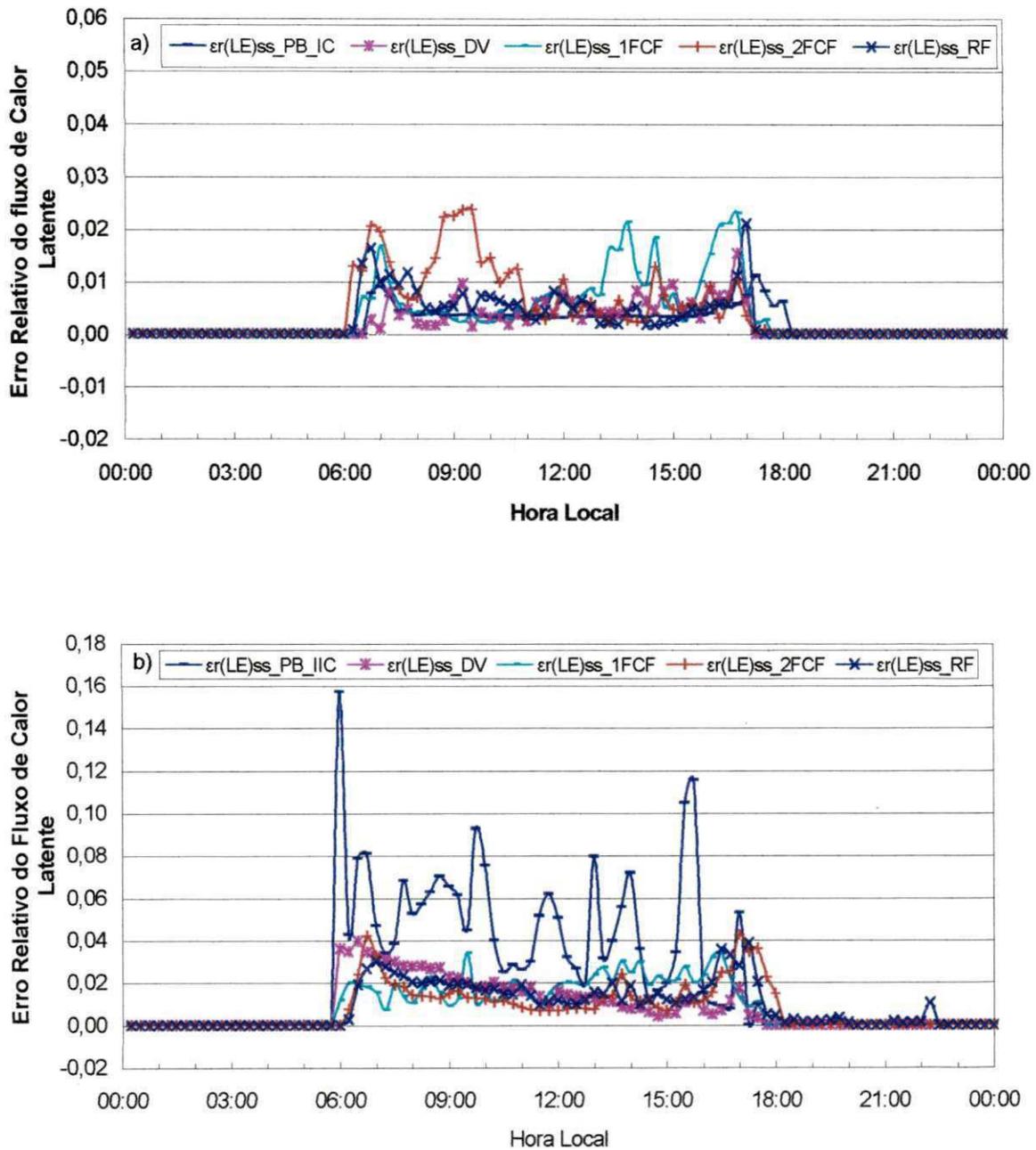


Fig. 4.39. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia clássico aplicado ao sistema “superfície do solo” para os estádios de brotação – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_PB_IC}}$; desenvolvimento vegetativo – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_DV}}$; primeira fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_1}^{\text{a}}\text{FCF}}$; segunda fase de crescimento do fruto – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_2}^{\text{a}}\text{FCF}}$ e repouso fenológico – $\varepsilon_r(\text{LE})_{\text{ss_RF}}$ do 1º ciclo de produção da videira e b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

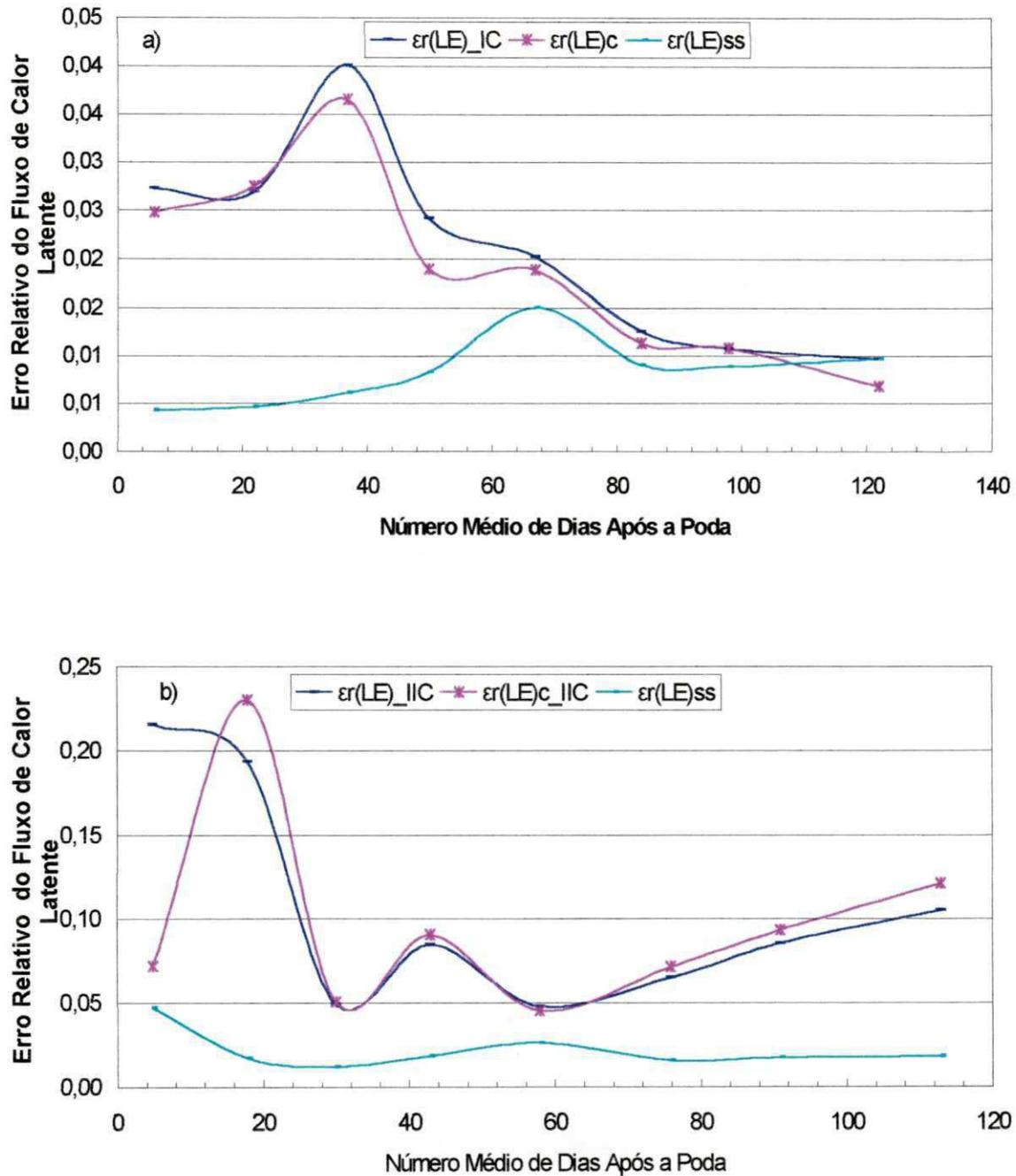


Fig. 4.40. Comportamento do erro relativo do fluxo de calor latente correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas “copa-solo” ERLE_IC, “copa” – ERLE_IC e “superfície do solo” – ERLE_IC ao longo do 1º ciclo produtivo da videira; b) idem 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

estádio de DV, em que a diferença média entre estes erros foi da ordem de 10% enquanto para o 2º ciclo, observou-se que as diferenças entre eles também foram mínimas, porém superiores às de $\epsilon_r(\text{LE})_{ss}$, sendo da ordem de 2,04 %. Quanto ao $\epsilon_r(\text{LE})_{ss}$, observa-se que o valor mais elevado era de apenas $0,02 \pm 0,02$, no estádio da 2ª FCF do 1º ciclo, enquanto durante o 2º, seu valor máximo foi de $0,05 \pm 0,05$ no estádio de PB, mas decresceu para um patamar inferior a $0,03 \pm 0,03$ (Figuras 4.40a e 4.40b).

Quando se comparam os valores obtidos para as três modalidades de erro relativo do fluxo de calor latente, observa-se que eles se comportaram de maneira similar apenas na primeira metade do ciclo produtivo da videira, enquanto na segunda, os valores de $\epsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ e de $\epsilon_r(\text{LE})_c$ não acompanharam os de $\epsilon_r(\text{LE})_{ss}$. Os elevados valores obtidos tanto para $\epsilon_r(\text{LE})_{c-s}$ quanto para $\epsilon_r(\text{LE})_c$ ocorridos durante os estádios de DV e RF do 2º ciclo (Figura 4.40b) estão associados às explicações apresentadas tanto para $\epsilon_a(\text{LE})_{c-s}$ quanto para $\epsilon_a(\text{LE})_c$, conforme item 4.2.9.4.4.

Lopes (1999), estudando o consumo hídrico da mangueira, verificou que o $\epsilon_r(\text{LE})$ variou entre 5 e 10% para períodos de 24 horas. No entanto, Silva (2000), analisando o grau de variação do erro relativo de LE com base na demanda evapotranspirométrica da cultura da mangueira, obteve valores oscilando em torno de 14% para condições de baixa demanda hídrica, de 40,90% para alta demanda e de 24% para condição de demanda evaporativa moderada. Esse autor verificou, ainda, que as maiores diferenças de temperatura úmida ($-2,88$ e $1,88$ °C) associada aos altos valores do $\epsilon_r(\beta)$, variaram entre 4,4 e 3,2%, no período de alta demanda evaporativa e produziram os maiores valores (35,2 e 40,90%) para o $\epsilon_r(\text{LE})$. Moura (2001) obteve valores para o $\epsilon_r(\text{LE})$ da ordem de 20% para a maior parte do período diurno, sendo que os maiores valores foram obtidos nos dias em que R_n também se mostrou elevado e vice-versa.

Angus & Watts (1984) mencionam que, para muitos períodos do dia, sob um clima moderado, β permanecerá dentro do intervalo de $-0,2 < \beta < 2$, para uma superfície úmida. Com base neste limite, concluíram que um erro de cerca de 30% em β implicará num erro adicional de 5% em LE, assumindo erros iguais a zero para R_n , G e outros parâmetros. Esses autores, também, indicaram incrementos elevados de erro em LE fora deste intervalo, especialmente quando β é inferior a $-0,2$. Quando $\beta = -1$, LE torna-se indeterminado, para a condição em que $R_n - G = 0$. Em climas áridos, a temperatura do ar pode cair pouco abaixo da máxima para o dia, a UR do ar pode se aproximar da mínima do

dia, a forte transferência de H produzirá valores elevados de LE, mesmo que o valor de Rn seja negligível (Ashktorab *et al.*, 1989).

4.3. BALANÇO HÍDRICO NO SOLO

4.3.1. Curvas de Retenção de Água no Solo

O resumo dos parâmetros da curva de retenção obtidos para camadas de 0,20 m até a profundidade de 0,80 m, pela metodologia de Zhang & van Genuchten (1994), para oito dos doze lisímetros utilizados neste estudo, pode ser encontrado no Anexo (Tabela 7.2.1). Os parâmetros para o lisímetro de N^o 1 foram obtidos com base na média dos respectivos parâmetros determinados para os lisímetros de N^{os} 2 e 3, e assim sucessivamente, para os lisímetros de N^{os} 6 (com base em 4 e 5), 7 (com base em 8 e 9) e 12 (com base em 10 e 11).

Considerando a grande variabilidade espacial das características físico-hídricas dos solos, optou-se pela utilização das referidas características específicas para o perfil de cada lisímetro, visando às determinações dos seguintes parâmetros: a) conteúdo de água no solo; b) retenção de água no solo; c) drenagem. Os valores médios para cada intermitência de irrigação foram obtidos com base em três lisímetros.

4.3.2. Irrigação

Os volumes de água aplicados em cada lisímetro foram obtidos levando-se em consideração o número de emissores, vazão média e tempo real de irrigação. Entretanto, a lâmina infiltrada foi obtida dividindo-se o volume de água aplicado pela área média molhada por planta.

Antes do início deste estudo, foi determinado do coeficiente de uniformidade de distribuição de vazão do gotejadores em nível de campo, cujo valor médio foi da ordem de 95,43%, estando, portanto, dentro da faixa de aceitação recomendada pela ABNT, que deve ser maior ou igual a 90%. A vazão média dos emissores foi de $2,27 \pm 0,02 \text{ L.h}^{-1}$.

A utilização de painéis programáveis especiais permitiu um elevado grau de precisão com relação aos tempos real e de repouso para cada uma das intermitências de irrigação, ao longo de um dia. A Figura 4.41 mostra o detalhamento destes tempos para

cada intermitência para um dia específico, os quais foram calculados automaticamente, por meio dos referidos painéis eletrônicos programáveis, conforme Figura 3.4.

Constatou-se que o uso de quatro subunidades de rega por subáreas poderia resultar na obtenção de um tempo total de irrigação superior a 24 horas, para períodos com elevada demanda hídrica, o que inviabilizaria a operacionalização da frequência de irrigação diária, uma vez que estavam sendo utilizados valores iguais à unidade para K_c e F_c s, visando proporcionar a obtenção de condições ótimas de umidade no solo, bem como drenagem nos lisímetros. Diante disto, o manejo de água foi programado levando-se em consideração três subunidades de rega por subárea para todas as intermitências.

A Figura 4.42 apresenta o detalhamento das lâminas de irrigação diárias médias infiltradas no solo, compreendendo as quatro categorias de intermitência de irrigação, bem com as precipitações ocorridas durante os dois ciclos de produção da videira. Pode-se constatar que as lâminas de água infiltradas diárias médias foram aplicadas de segunda-feira a sábado, sendo que durante a primeira semana, logo após a poda e em alguns dias ao longo do ciclo fenológico da videira, também foram aplicadas lâminas de irrigação adicionais, visando condicionar a obtenção de lâminas de drenagem mínimas, pelo menos, na intermitência em que a água era aplicada num único ciclo. A lâmina de irrigação foi de 470,5 mm, enquanto as precipitações efetivas ocorridas durante o 1º ciclo (estação seca) alcançaram apenas 19,3 mm. No entanto, durante o 2º ciclo, que culminou com a estação chuvosa, verificou-se que a lâmina de irrigação foi de 243,5 mm, enquanto as precipitações efetivas chegaram a 301,6 mm, sendo que 90,4% concentraram-se entre 29/12/01 e 23/01/02.

Constatou-se, também, que o coeficiente de variação médio entre as lâminas de água aplicadas diariamente nos 12 lisímetros foi de apenas 2,34%, por tratarem-se de emissores auto-reguláveis. As irrigações foram suspensas aos 94 e 104 DAP, correspondentes ao 1º e 2º ciclos produtivos, respectivamente, por ocasião do estágio de maturação final do fruto, visando o aumento da vida útil de prateleira da uva (Assis *et al.*, 1996).

Deve-se salientar, ainda, que durante o 2º ciclo, as irrigações também foram suspensas por um período de 47 dias consecutivos, em virtude das chuvas ocorridas.

4.3.3. Monitoramento do conteúdo de Água no Solo

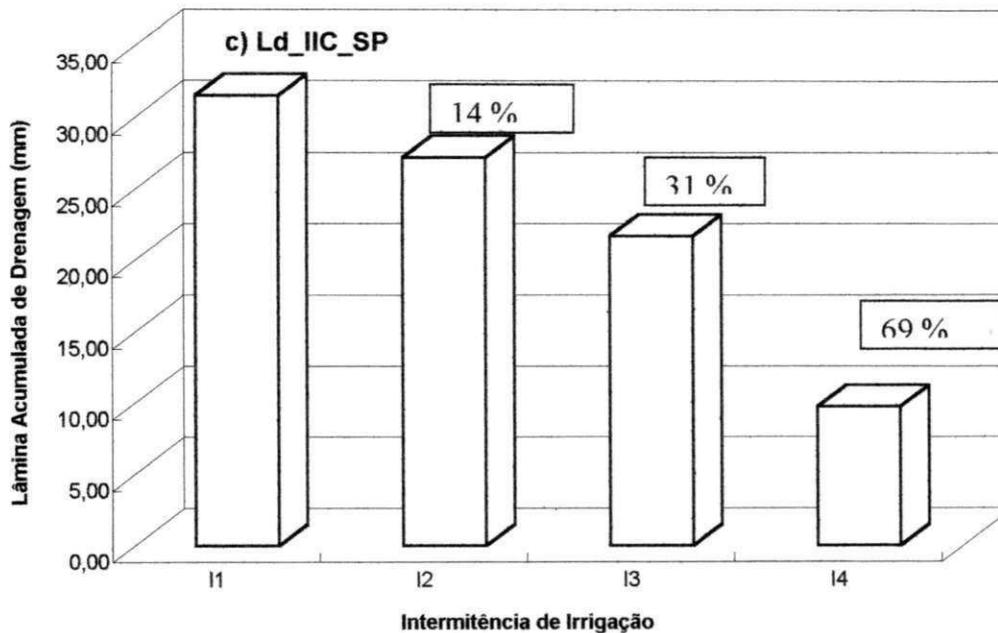


Fig. 4.52. Lâminas acumuladas de drenagem obtidas para os tratamentos de intermitência de irrigação por gotejamento (I-1, I-2, I-3 e I-4) correspondentes ao 2º ciclo produtivo da videira, com a exclusão da drenagem ocorrida no período compreendido entre 29/12/01 e 24/01/02, Petrolina – PE.

Levin *et al.* (1979) obtiveram perdas de água por percolação da ordem de 26%, quando optaram pelo tempo contínuo de irrigação e de 12%, sob condições de intermitência.

4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA VIDEIRA – ET_c

A evapotranspiração da videira (ET_c) foi determinada por meio de dois grupos de metodologias distintas, sendo um baseado no balanço de energia pela Razão de Bowen e o outro no balanço hídrico no solo.

4.4.1. Evapotranspiração da Videira pelo Método do Balanço de Energia pela Razão de Bowen

A evapotranspiração da videira, determinada com base no balanço de energia pela razão de Bowen, compreendeu a utilização de duas categorias de metodologias, sendo uma considerada clássica, aplicada aos sistemas “copa-solo” e “superfície do solo”, e outra modificada, aplicada ao sistema “copa”. Os valores de ET_c obtidos pelo emprego das metodologias ao sistema “copa” e ao sistema “superfície do solo” devem ser adicionados, uma vez que compreendeu a divisão do volume de controle único “copa-solo” em dois subvolumes de controle distintos “copa” e “superfície do solo”.

4.4.1.1 - Evapotranspiração da Videira Determinada para o Sistema “Copa-solo” – $(ET_c)_{c-s}$

Nas Figuras 4.53a e 4.53b estão apresentados os comportamentos da evapotranspiração diária média obtida com base no balanço de energia pela razão de Bowen, usando a metodologia clássica aplicada ao sistema “copa-solo”, relativo aos estádios fenológicos do PB, DV, 1^aFCF, 2^aFCF e RF para dois ciclos de produção. Constatou-se, para ambos os ciclos produtivos, que as curvas de $(ET_c)_{c-s}$ diária adquiriram a forma de uma parábola convexa, com pontos de máxima sempre ocorrendo em torno das 12h00 local, porém sempre acompanhadas de pequenas flutuações ao longo do dia. Constatou-se, também, para o 1^o ciclo (Figura 4.53a), que os valores instantâneos de $(ET_c)_{c-s}$ tenderam a aumentar a partir do estádio do PB até a 2^aFCF, sendo que, a partir daí, passaram a decrescer. No entanto, no 2^o ciclo (Figura 4.53b), as curvas de $(ET_c)_{c-s}$ tenderam a sobrepor-se para os estádios analisados, exceto para a 2^aFCF, que também se destacou como a $(ET_c)_{c-s}$ mais elevada. Quando se considera a $(ET_c)_{c-s}$ diária acumulada média, pode-se verificar que os valores obtidos para os três primeiros estádios do 1^o ciclo foram inferiores aos do 2^o ciclo, enquanto que para os demais, mostraram-se bem mais elevados, exceto para o estádio de MFF, em que se tornaram praticamente iguais (Tabela 4.8).

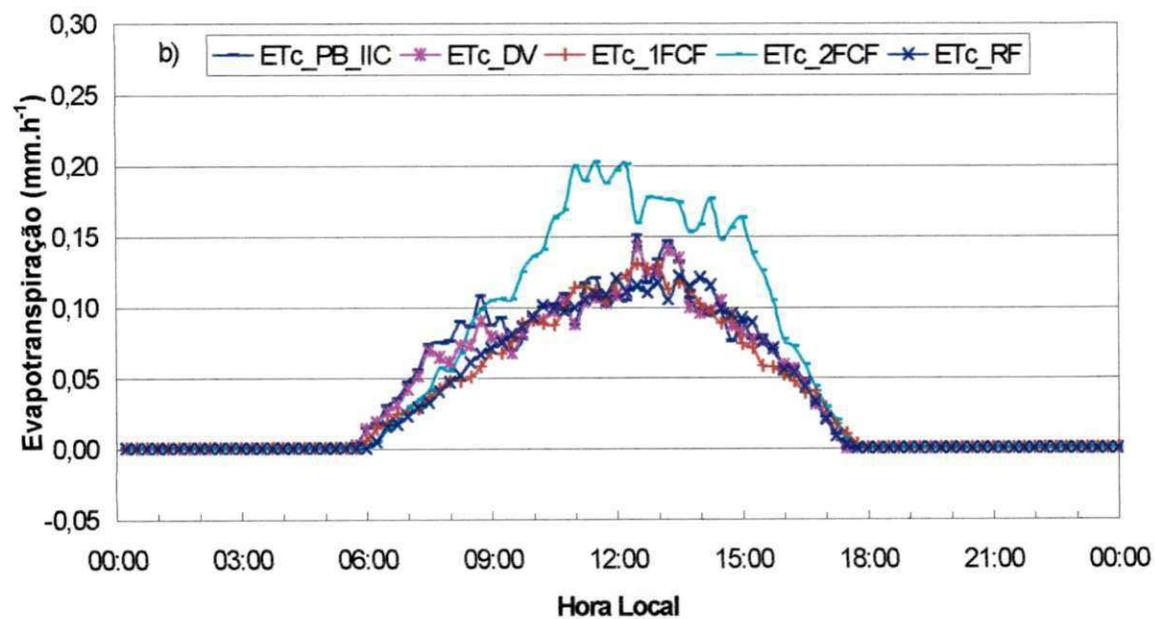
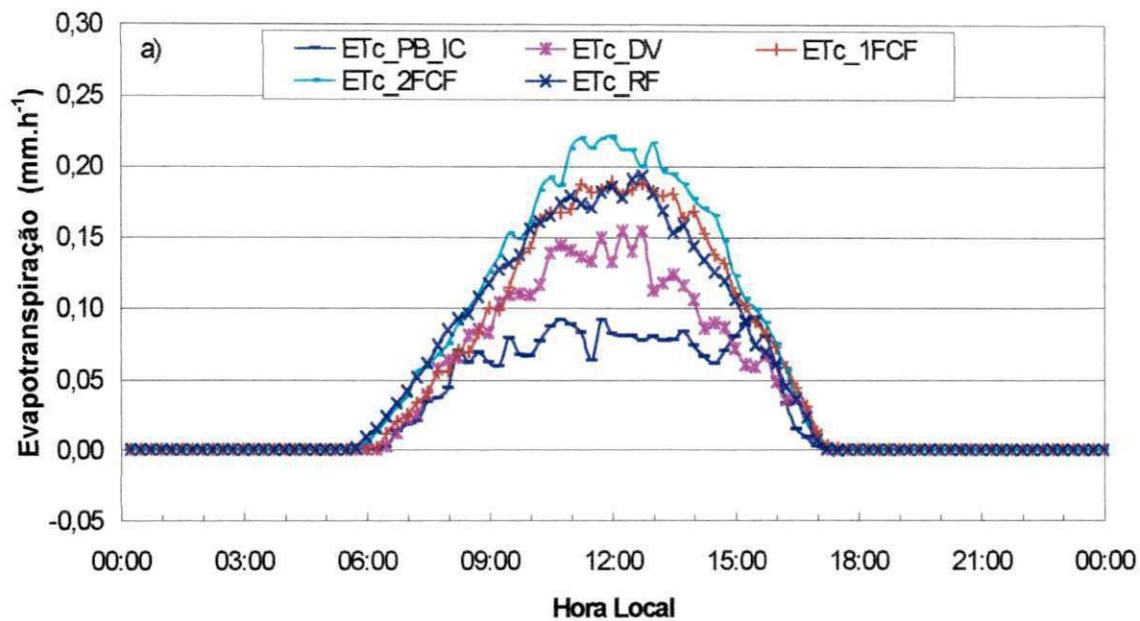


Fig. 4.53. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia clássica aplicada ao sistema “copa-solo” referente ao: a) 1º ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas – ETc_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETc_DV, primeira fase de crescimento dos frutos – ETc_1ªFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETc_2ªFCF e repouso fenológico – ETc_RF; b) idem 2º ciclo, Petrolina – PE.

Tabela 4.8. Valores médios de evapotranspiração obtidos pelo balanço de energia pela razão de Bowen aplicado ao sistema “copa-solo” - $(ETc)_{c-s}$, para oito estádios fenológicos da videira, para o 1º e 2º ciclos produtivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico da videira	$(ETc)_{c-s}$ - 1º ciclo (mm.dia ⁻¹)	$(ETc)_{c-s}$ - 2º ciclo (mm.dia ⁻¹)
PB	2,66±0,49	7,75±4,27
DV	3,75±1,22	5,32±3,19
PFF	3,11±1,30	4,10±2,08
1ª FCF	4,91±1,15	3,42±1,77
PCF	4,75±1,12	4,01±1,38
2ª FCF	5,72±1,70	5,21±2,85
MFF	4,91±1,13	4,88±2,24
RF	5,01±1,62	3,40±1,32

4.4.1.2. Evapotranspiração da Videira Estimada para o Sistema “Copa” - $(ETc)_c$

Nas Figuras 4.54a e 4.54b estão representados os comportamentos da evapotranspiração diária instantânea média obtida com base no balanço de energia pela razão de Bowen, usando a metodologia modificada aplicada ao sistema “copa”, para os estádios fenológicos de PB, DV, 1ªFCF, 2ªFCF e RF, correspondentes a dois ciclos de produção. Observou-se, para ambos os ciclos produtivos, que as curvas de $(ETc)_c$ diária também adquiriram a forma de uma parábola convexa, com pontos de máxima sempre ocorrendo em torno das 12h00 local, mas sempre acompanhadas de pequenas flutuações ao longo do dia, exceto para os estádios do PB do 1º ciclo e de PB, DV e 2ªFCF do 2º, cujas flutuações apresentaram-se bastante acentuadas, principalmente no horário compreendido entre 10h00 e 15h00. Observou-se, ainda, para ambos os ciclos produtivos, que as curvas referentes aos valores instantâneos de $(ETc)_c$ tenderam a sobrepor-se. Entretanto, no período compreendido entre 10h00 e 15h00, as curvas de relativas aos estádios da 2ªFCF e RF relativos ao 1º ciclo, tenderam a destacar-se das demais, enquanto no 2º ciclo, a curva correspondente ao estágio da 1ª FCF mostrou-se ligeiramente inferior àquelas obtidas para os demais estádios deste ciclo produtivo (Figuras 4.54a e 4.54b). Quando se considera a $(ETc)_c$ diária acumulada média pode-se constatar que os valores obtidos para os dois

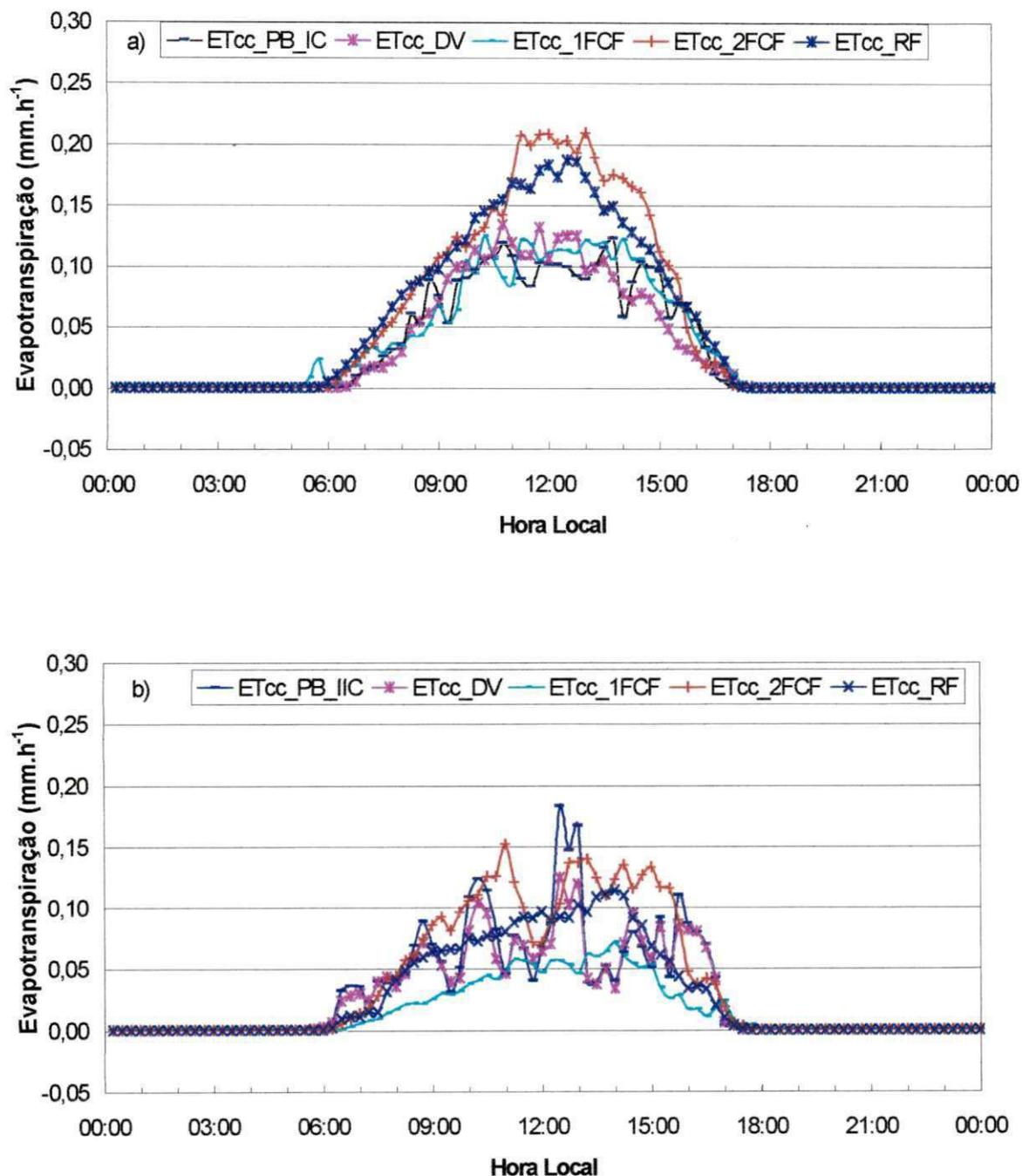


Fig. 4.54. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia modificada aplicada ao sistema “copa” referente ao: a) 1º ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas vegetativas – ETcc_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETcc_DV, primeira fase de crescimento do fruto – ETcc_1^aFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETcc_2^aFCF e repouso fenológico – ETcc_RF; b) idem 2º ciclo, Petrolina – PE.

Tabela 4.9. Valores diários médios de ETc obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicada aos sistemas “copa” e “superfície do solo”, para oito os estádios fenológicos da videira, para o 1º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico da videira	(ETc) _c (mm.dia ⁻¹)	(ETc) _{ss} (mm.dia ⁻¹)	(ETc) _{ac} (mm.dia ⁻¹)
PB	3,02±1,22	0,41±0,20	3,43±1,42
DV	2,98±1,13	1,09±0,89	4,08±2,02
PFF	2,32±1,06	0,90±0,64	3,21±1,69
1ªFCF	3,25±1,47	0,84±0,65	4,09±2,12
PCF	3,70±1,02	1,30±1,04	5,01±2,06
2ªFCF	4,94±1,66	2,09±1,37	7,02±3,02
MFF	4,41±1,11	1,38±0,95	5,79±2,06
RF	4,65±1,57	0,51±0,45	5,16±2,02

Tabela 4.10. Valores diários médios de ETc obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicada aos sistemas copa e superfície do solo, para os oito estádios fenológicos da videira, para o 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico da videira	(ETc) _c (mm.dia ⁻¹)	(ETc) _{ss} (mm.dia ⁻¹)	(ETc) _{ac} (mm.dia ⁻¹)
PB	5,55±2,25	1,94±0,92	7,49±3,18
DV	3,93±3,62	2,20±1,31	6,13±4,94
PFF	2,33±1,96	1,30±1,25	3,64±3,21
1ªFCF	1,54±0,99	1,51±1,43	3,05±2,43
PCF	2,48±1,11	1,31±1,00	3,79±2,11
2ªFCF	3,67±2,88	0,92±0,83	4,59±3,12
MFF	4,11±1,97	0,57±0,42	4,68±2,39
RF	2,76±1,29	0,61±0,73	3,37±2,01

primeiros estádios do 1º ciclo foram inferiores aos do 2º, tendo-se tornado praticamente iguais durante a PFF, porém ligeiramente mais elevados para os demais estádios (Tabelas 4.9 e 4.10).

4.4.1.3. Evapotranspiração da Videira Estimada para o Sistema “Superfície do Solo” - $(ETc)_{ss}$

Nas Figuras 4.55a e 4.55b estão mostrados os comportamentos da evapotranspiração diária média obtida com base no balanço de energia pela razão de Bowen, usando a metodologia clássica aplicada ao sistema “superfície do solo”, para os estádios fenológicos do PB, DV, 1^aFCF, 2^aFCF e RF, relativos a dois ciclos de produção.

Verificou-se, para ambos os ciclos produtivos, que as curvas de $(ETc)_{ss}$ diária flutuaram bastante ao longo do período diurno, tendo-se obtido uma sobreposição de curvas, principalmente para os estádios correspondentes à primeira metade do ciclo produtivo, cujos valores apresentaram-se mais elevados. Observou-se, ainda, para ambos os ciclos, que as curvas referentes aos estádios da segunda metade do ciclo tenderam a tomarem-se ligeiramente inferiores àquelas obtidas para a primeira metade, exceto para a 2^aFCF do 1^o ciclo, no horário compreendido entre 11h00 e 14h00, cujos valores instantâneos mostraram-se demasiadamente elevados, que poderiam estar associados com a penetração de uma intensa quantidade de energia solar, através de espaços vazios na copa da videira (Figuras 4.55a e 4.55b). Quando se considera a $(ETc)_{ss}$ diária acumulada média, pode-se verificar que os valores obtidos para os quatro primeiros estádios do 1^o ciclo foram inferiores aos do 2^o e tornaram-se praticamente iguais durante a 2^aFCF, porém ligeiramente mais elevados nos dois outros estádios (Tabelas 4.9 e 4.10).

4.4.1.4. Comparação entre os Valores de Evapotranspiração da Videira com base no Balanço de Energia pela Razão de Bowen

Nas Figuras 4.56a e 4.56b estão ilustrados os comportamentos de ETc da videira obtidos com base na metodologia clássica utilizada para um volume de controle único $(ETc)_{c-s}$, metodologia modificada para o volume de controle exclusivo para a copa da videira $(ETc)_c$ e na metodologia clássica aplicada ao volume de controle exclusivo para a superfície do solo $(ETc)_{ss}$, considerando-se oito estádios fenológicos distintos e dois ciclos de cultivo da videira. Pode-se observar, para ambos os ciclos de produção, que os valores de evapotranspiração da videira apresentaram comportamentos senoidais. Os valores de $(ETc)_{c-s}$ obtidos para ambos os ciclos de produção mostraram-se bastante superiores àquelas de $(ETc)_c$. Quanto à $(ETc)_{ss}$, constata-se que ela mostrou-se muito menor que os

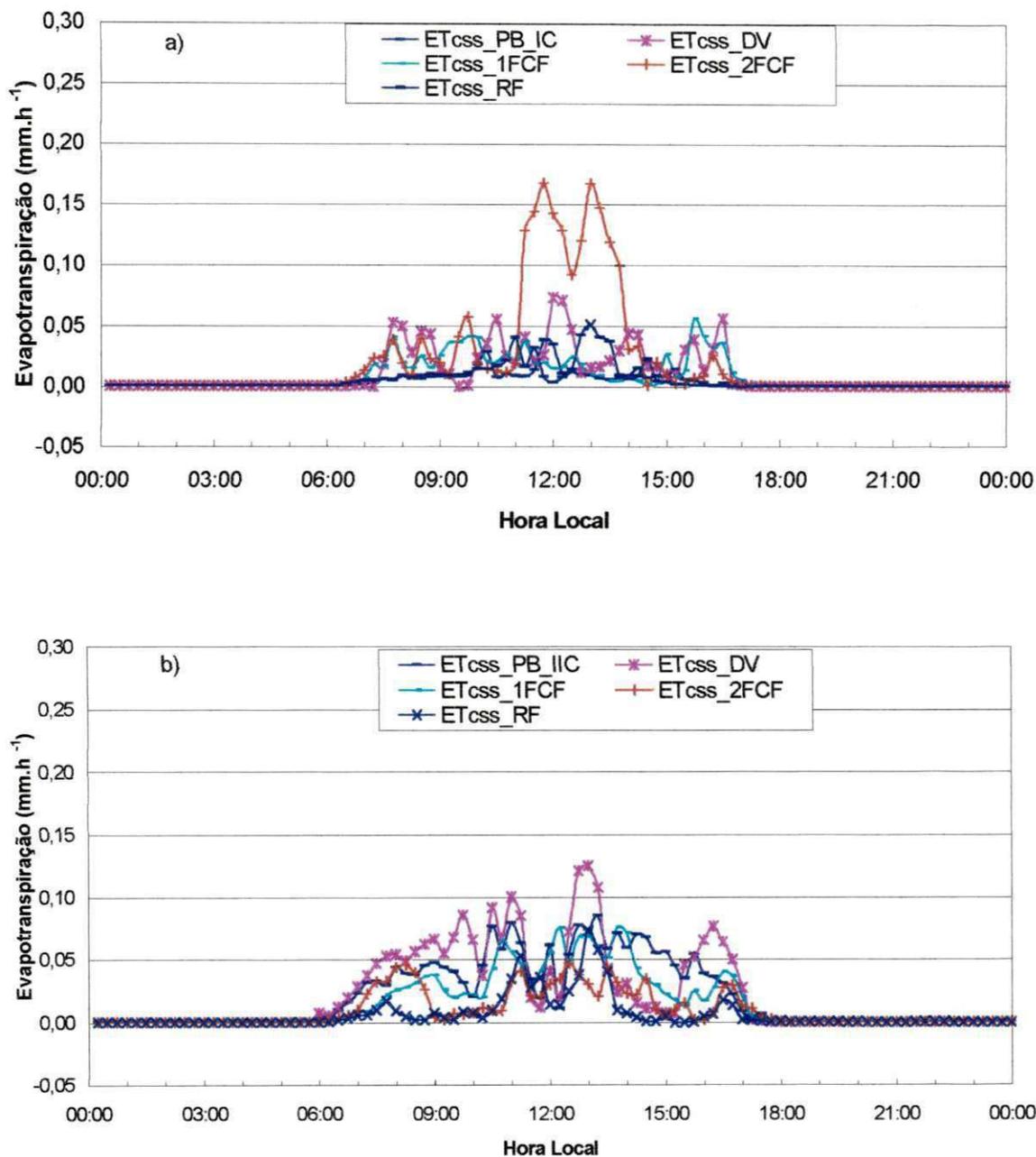


Fig. 4.55. Evapotranspiração diária média da videira obtida pelo balanço de energia baseado na razão de Bowen, pela metodologia clássica aplicada ao sistema “superfície do solo” referente ao: a) 1^o ciclo produtivo, para o estágio de brotação das gemas vegetativas – ETcss_PB_IC, desenvolvimento vegetativo – ETcss_DV, primeira fase de crescimento do fruto – ETcss_1^aFCF, segunda fase de crescimento do fruto – ETcss_2^aFCF e repouso fenológico – ETcss_RF; b) idem 2^o ciclo, Petrolina – PE.

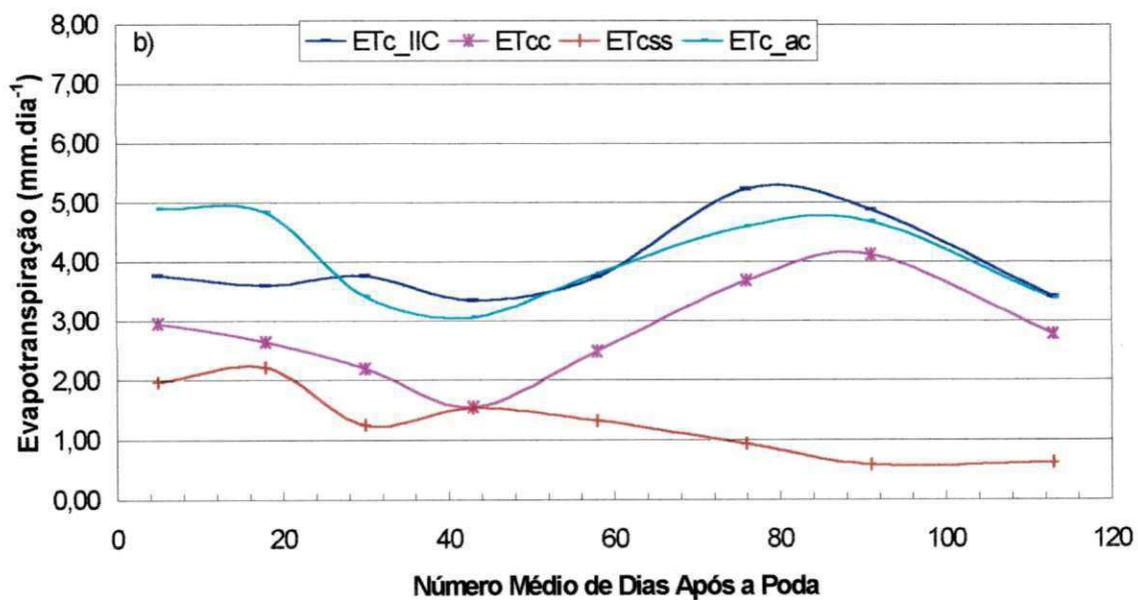
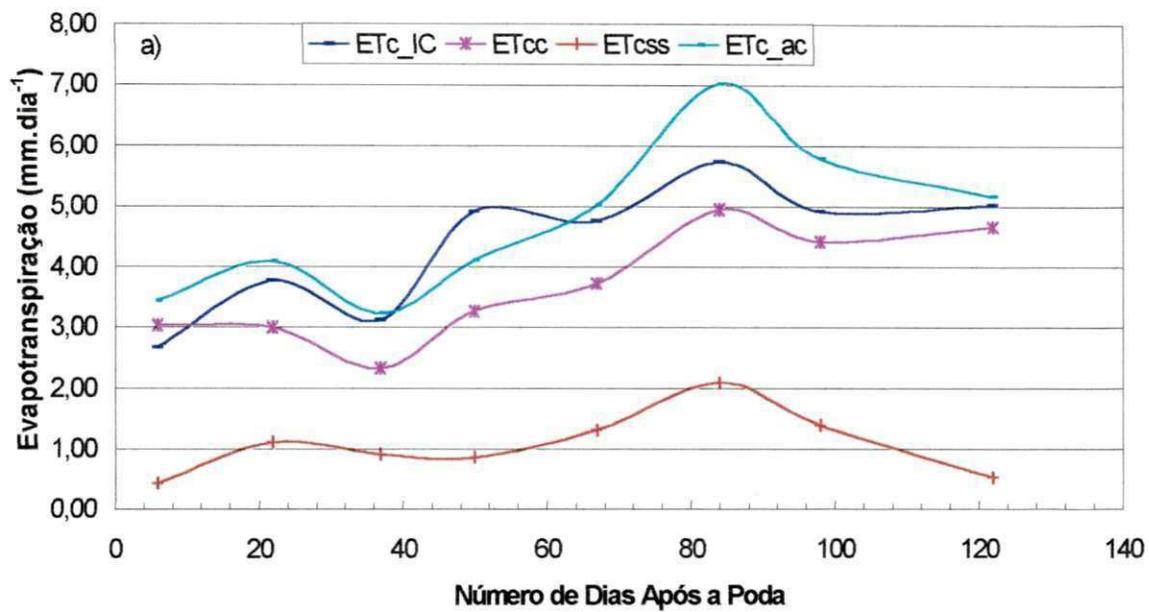


Fig. 4.56. Comparação entre os valores de ETC obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen aplicado aos sistemas “copa-solo” $(ETc)_{c-s}$, “copa” $(ETc)_c$ e “superfície do solo” $(ETc)_{ss}$ ao longo da fenologia da videira correspondente ao a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

outros dois tipos de ET_c em ambos os ciclos de produção, exceto para o período compreendido entre os estádios de PCF e de RF do 2º ciclo, em que os resultados foram praticamente iguais.

Avaliando-se cada uma das categorias de evapotranspiração, verifica-se que a $(ET_c)_{c-s}$ mostrou uma tendência decrescente durante os três primeiros estádios fenológicos da videira, correspondente ao 1º ciclo (Figura 4.56a), alcançando valores médios da ordem de $3,17 \pm 1,00 \text{ mm.dia}^{-1}$, que passaram a aumentar acentuadamente a partir daí até o estágio da 2ªFCF, em que atingiram o $5,72 \pm 1,70 \text{ mm.dia}^{-1}$, quando, então, passaram a diminuir de maneira gradual até $5,01 \pm 1,62 \text{ mm.dia}^{-1}$, por ocasião do repouso fenológico da videira. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.56b), constatou-se que $(ET_c)_{c-s}$ decresceu acentuadamente de $7,75 \pm 4,27 \text{ mm.dia}^{-1}$ para $3,42 \pm 1,77 \text{ mm.dia}^{-1}$ entre os estádios de PB e da 1ªFCF, mas passou a aumentar de maneira acentuada até alcançar $5,21 \pm 2,85 \text{ mm.dia}^{-1}$, por ocasião da 2ªFCF, sendo que a partir daí decresceu novamente para $3,40 \pm 1,32 \text{ mm.dia}^{-1}$, até o RF. Quando se considera $(ET_c)_c$ apenas para o sistema “copa”, pode-se verificar que ele apresentou um comportamento bastante similar ao obtido para a $(ET_c)_{c-s}$ em ambos os ciclos de produção, porém com valores bastante menores, exceto para os estádios de PB e da 1ªFCF do 1º ciclo, em que a diferença média entre elas foi da ordem de 12,51%. Quanto à $(ET_c)_{ss}$, observa-se que o valor mais elevado foi da ordem de $2,09 \pm 1,37 \text{ mm.dia}^{-1}$, durante o estágio da 2ªFCF do 1º ciclo e nos dois primeiros estádios fenológicos do 2º ciclo, tendo o valor médio para ambos os ciclos sido da ordem de $1,18 \pm 0,88 \text{ mm.dia}^{-1}$ (Figuras 4.56a e 4.56b).

Quando se comparam os valores de $(ET_c)_{c-s}$ com os valores de $(ET_c)_c + (ET_c)_{ss} = (ET_c)_{ac}$, observa-se, para o 1º ciclo (Figura 4.56a), que estes se mostraram bastante superiores aos de $(ET_c)_{c-s}$, apenas nos estádios de DV, 2ªFCF e de MFF, enquanto nos estádios de PFF, PCF e de RF, os resultados tornaram-se praticamente iguais. Durante o 2º ciclo (Figura 4.56b), os valores de $(ET_c)_{ac}$ mostraram-se ligeiramente inferiores aos de $(ET_c)_{c-s}$, exceção apenas para o estágio de DV, em que se apresentaram ligeiramente superiores.

A obtenção de valores de $(ET_c)_{c-s}$ mais elevados para o 2º ciclo, quando comparados aos do 1º ciclo, correspondentes aos estádios de PB, DV, PFF e de 1ªFCF, é decorrente da maior densidade de fluxo de radiação global incidente, durante os meses de dezembro e janeiro, quando comparada àquelas ocorridas nos meses de julho/agosto. Por

outro lado, nos estádios da PCF e da 2ªFCF, constatou-se uma inversão da superioridade dos valores de $(ETc)_{c-s}$ do 2º ciclo em relação aos do 1º. Isto foi proporcionado pela presença de um alto nível de nebulosidade, principalmente no período compreendido entre 28/12/01 e 23/01/02, em que ocorreram precipitações efetivas da ordem de 301,6 mm (Figura 4.42b). No estádio de MFF, verificou-se que os valores de $(ETc)_{c-s}$ tornaram-se praticamente iguais, em razão da similaridade tanto da fenologia da videira quanto da incidência da quantidade de radiação global nos períodos da 2ª quinzena de setembro e 1ª quinzena de outubro, quando comparadas com as densidades de fluxos obtidas no mês de fevereiro. Durante o estádio de RF, a superioridade dos valores de $(ETc)_{c-s}$ do 1º ciclo em relação aos do 2º, também é decorrente da maior incidência de radiação global ocorrida no mês de dezembro, quando comparada com aquelas obtidas em março (Figuras 4.56a e 4.56b).

Quando se faz uma análise separada para os valores diários de $(ETc)_{ac_BEM}$ e de $(ETc)_{ac_BEC}$, pode-se observar que seus valores oscilaram bastante ao longo do ciclo produtivo da videira, mas se ajustaram a um polinômio de sexto grau, utilizando como variável independente o DAP. Porém, as correlações obtidas foram apenas de 0,55 e 0,42, para $(ETc)_{ac_BEM}$ e de $(ETc)_{ac_BEC}$, respectivamente, correspondentes ao 1º ciclo (Figura 4.57a), tendo no 2º ciclo (Figura 4.57b), mostrado-se ainda menores, ou seja, alcançaram 0,27 para o polinômio correspondente a $(ETc)_{ac_BEM}$ e 0,39 para $(ETc)_{ac_BEC}$.

Analisando-se as relações entre os parâmetros: a) evapotranspiração $(ETc)_{c-s_BERB}$; b) saldo de radiação acima da copa (Rnc); c) déficit de pressão de vapor acima da copa (DPV), e d) velocidade do vento acima da copa (V2), utilizando o “Sistema de Análises Estatísticas – SAEG, versão 5.0”, obtiveram-se as seguintes equações de regressão seqüencial, levando-se em consideração os valores médios destes parâmetros obtidos para cada um dos estádios fenológicos:

$$Ic: (ETc)_{c-s_BERB} = -0,274754 + 0,0142329 * Rnc - 2,49373 * DPV - 0,185094 * V2$$

$$IIc: (ETc)_{c-s_BERB} = 0,403126 + 0,0117483 * Rnc - 0,39806 * DPV - 0,0864675 * V2$$

$$I-IIc: (ETc)_{c-s_BERB} = -0,221229 + 0,0132459 * Rnc - 2,72828 * DPV - 0,040779 * V2$$

Na Tabela 4.11 estão representados os coeficientes de correlação (R^2) relativos à matriz de correlação entre os parâmetros saldo de radiação (Rnc), déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (V2), correspondentes à condição acima da copa da videira, para o 1º e 2º ciclos produtivos, bem como a média os dois ciclos.

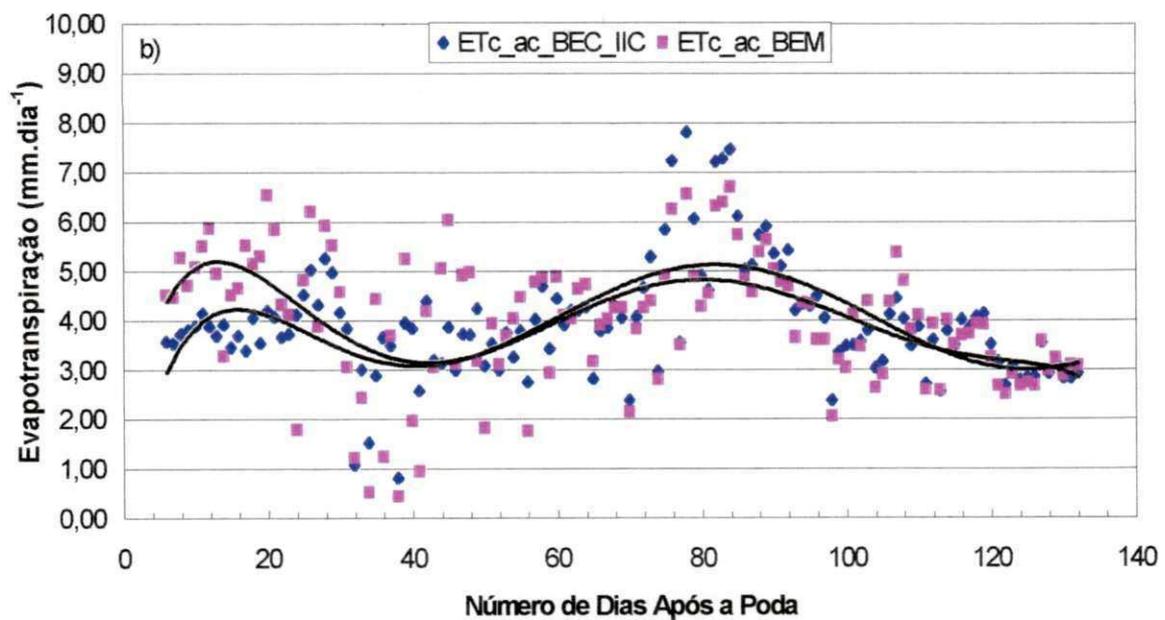
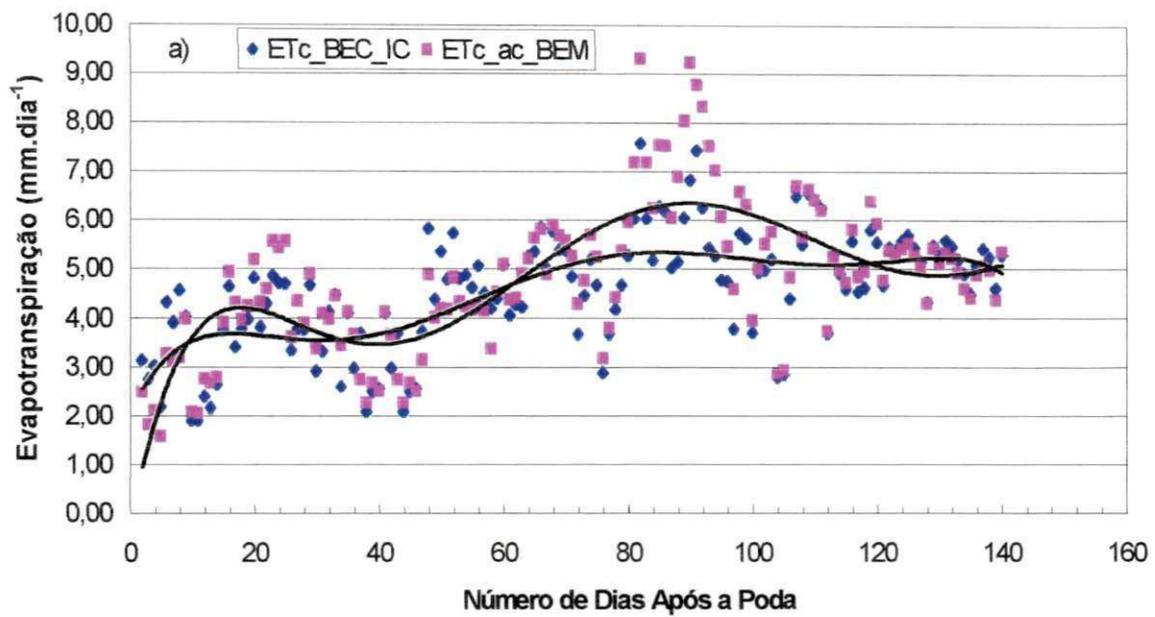


Fig. 4.57. Análise comparativa entre os valores de ETC diários obtidos pelos balanços de energia pela razão de Bowen clássico e modificado, ao longo do ciclo fenológico da videira, sendo: a) 1º ciclo; b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

Tabela 4.11. Coeficientes de correlação (R^2) relativo à matriz de correlação entre os parâmetros saldo de radiação (Rnc), déficit de pressão de vapor (DPV) e velocidade do vento (V2), correspondentes à condição acima da copa da videira, para o 1º e 2º ciclos produtivo e para a média os dois ciclos, Petrolina – PE.

Ciclo produtivo	Coeficientes de determinação	Parâmetros		
		Rnc	DPV	V2
1º	Matriz	0,92	0,80	0,61
	(R^2)ajustado	0,82	0,85	0,83
2º	Matriz	0,77	0,23	0,12
	(R^2)ajustado	0,53	0,46	0,33
1- 2º	Matriz	0,83	0,65	0,41
	(R^2)ajustado	0,67	0,78	0,75

Pode-se verificar que os valores dos coeficientes de correlação (R^2) obtidos para a matriz de correlação entre ETc e Rnc, DPV e V2, variaram entre 0,61 e 0,92 para o 1º ciclo produtivo, tendo o valor mais elevado sido de corrente de Rnc, enquanto o menor foi decorrente de V2. No entanto, no 2º ciclo (Tabela 4.11), estes valores oscilaram entre 0,12 e 0,77. Quando se consideraram os valores médios relativos aos dois ciclos, constatou-se que as correlações matriciais situaram-se entre 0,41 e 0,83. Quanto aos coeficientes de correlação ajustados, determinados para as equações de regressão seqüencial, verificou-se que seus valores mostraram-se maiores que 0,82, para o 1º ciclo, mas variaram entre 0,33 e 0,53 para o 2º (Tabela 4.11).

Fazendo-se uma análise envolvendo a aplicação de cada uma das equações de regressão seqüencial utilizando-se as respectivas bases de dados que as geraram, constatou-se que o erro médio obtido entre os valores de ETc medidos e estimados foram inferiores a $9,64 \pm 6,38\%$, tendo os valores mais elevados sido obtidos durante o 2º ciclo produtivo da videira. Quando as aplicações foram feitas utilizando-se as bases de dados dos ciclos distintos, observou-se que o maior valor encontrado ($10,60 \pm 7,33$) resultou da equação gerada para o 1º ciclo, aplicada sobre o conjunto de dados do 2º ciclo.

Quando se analisam as Figuras 7.3.1a a 7.3.1.d, pode-se observar que existe um elevado nível de sincronismo das curvas de ETc com as de Rnc, DPV e V2, principalmente durante o 1º ciclo produtivo da videira. Ou seja, para o 1º ciclo produtivo, obteve-se uma

relação direta entre as curvas de ET_c e de R_{nc} , enquanto as relações entre ET_c e o DPV e entre ET_c e V_2 mostraram um comportamento inverso. Durante o 2º ciclo, as relações entre ET_c e R_{nc} e entre ET_c e V_2 mantiveram os mesmos comportamentos obtidos para o 1º ciclo, exceto a relação entre ET_c e o DPV, que se tornou direta.

Analisando-se as diferenças entre os valores obtidos para estes parâmetros, durante o 1º e o 2º ciclos de produção da videira, verificou-se que foram da ordem de $13,71 \pm 9,96$; $438,40 \pm 1065,10$; $94,49 \pm 81,78$ e $20,16 \pm 14,55\%$, correspondentes a R_{nc} , DPV, V_2 e ET_c , respectivamente. Nota-se que R_{nc} é mesmo o fator dominante da ET_c .

É provável que a definição da equação de regressão seqüencial com base nos dados obtidos para intervalos de tempo de 15 minutos, ao longo do período diurno, envolvendo ambos os ciclos de cultivo da videira, aumente de maneira significativa os níveis de correlação entre os referidos parâmetros.

Zang & Lemeur (1995), estudando a estimativa da evapotranspiração diária, por meio de medições instantâneas, utilizando sensores remotos, constataram que os padrões diurnos de contribuição do déficit de pressão de vapor (DPV) em relação à evaporação são similares às contribuições de R_n . Constataram, ainda, que todos os efeitos do DPV na ET_c não são grandes o suficiente para substituir os valores diários de ET_c da função seno solar, suposição esta que é válida apenas para dias sem nuvens e sob condições ambientais estáveis. Os autores observaram que o curso diário da ET_c pode ser aproximado por uma função seno, durante o período de brilho solar. Isto significa que a ET_c responde fortemente à entrada da radiação no seu padrão diurno e que a contribuição do DPV pode ser desprezada. Contudo, eles mencionaram que seria interessante examinar os efeitos do DPV nas variações diárias da ET_c , uma vez que este parâmetro representa o segundo termo da equação de Penman-Monteith.

4.4.2. Evapotranspiração da Videira Estimada pelo Método do Balanço Hídrico no Solo

A evapotranspiração da videira determinada com base no balanço hídrico no solo compreendeu a utilização de lisímetros de drenagem associados à medição do conteúdo de água no solo pela tensiometria de mercúrio.

Inicialmente, foi feita uma análise dos valores de ET_c determinados pelo balanço hídrico no solo, em base diária, comparando-se os resultados obtidos com os

correspondentes valores de ETc_{ac} calculados pelo balanço de energia pela razão de Bowen, para ambos os ciclos de cultivo da videira.

Nas Figuras 4.58 e 4.59 estão apresentados os comportamentos das curvas de ETc_{BHS} obtidas com base no balanço hídrico no solo, para quatro categorias de intermitência de irrigação, com variação do armazenamento de água no solo “ $CVA_{\Delta W}$ ”, determinado pela tensiometria de mercúrio, sob condições de alta frequência de irrigação, ao longo do ciclo produtivo da videira, sem se levar em consideração os seus estádios fenológicos. Verificou-se que o intervalo médio de variação de ETc_{HBS} foi da ordem de $-5,10$ a $12,50$ $mm.dia^{-1}$ para as intermitências de I-1 a I-3, mas variou entre $-4,55$ e $21,31$ $mm.dia^{-1}$ para I-4, enquanto no 2º ciclo, o intervalo médio situou-se entre $-7,78$ e $12,74$ $mm.dia^{-1}$ para as intermitências de I-1 a I-4 (Figuras. 4.58 e 4.59). Quando se compararam os valores de ETc_{BHS} com os de $(ETc)_{ac_BERB}$, pôde-se constatar que estes apresentaram uma pequena flutuação ao longo do tempo, situando-se em torno da média do intervalo de variação dos valores de ETc_{HBS} , exceto para os períodos inicial e final do 1º ciclo produtivo da videira, bem como para o período intermediário do 2º ciclo, em que os valores de $(ETc)_{ac_BERB}$ mostraram-se ligeiramente mais elevados do que aqueles obtidos pelo BHS (Figuras 4.58 e 4.59). Os valores negativos de ETc_{BHS} foram obtidos nos dias em que não houve irrigação, enquanto os valores elevados foram decorrentes da aplicação de lâminas elevadas de irrigação.

Portanto, verifica-se que o monitoramento do conteúdo de água no solo por meio da tensiometria de mercúrio, sob condição de alta frequência de irrigação, traz alguns transtornos para a determinação da variação do armazenamento de água no solo, implicando na obtenção de valores de ETc extremamente elevados, situados tanto na faixa negativa quanto na positiva. Tanto os valores negativos quanto os positivos maiores que 15 $mm.dia^{-1}$ podem ser considerados irrealis, em termos de balanço hídrico no solo. Porém, se a frequência de ocorrência desses tipos de dados for $\leq 15\%$, poderiam ser corrigidos pela média aritmética, com base nos resultados antecedente e procedente relativos ao valor irreal. Contudo, se essa frequência for $\geq 15\%$, esta alternativa poderia inviabilizar o balanço hídrico no solo.

Na condição em que se obtêm pequenas perdas de água por drenagem na base de lisímetros, pode-se concluir que: a) não existe deficiência de água no perfil do solo explorado pelo sistema radicular de uma dada cultura; b) os valores de ETc obtidos poderiam ser considerados potenciais. Diante desta consideração, fez-se uma discussão

resumida, relativa ao balanço hídrico no solo, desprezando-se o parâmetro “variação do conteúdo de água no solo - SVA_ΔW”, conforme Anexo 7.2.1, visando-se a eliminação ou redução dos valores de ETc_{BHS} considerados irreais.

No entanto, diante da inconsistência dos resultados dessa análise, quando comparada com os resultados determinados para a condição “CVA_ΔW”, principalmente para o 2º ciclo produtivo da videira, optou-se pelo procedimento dos cálculos do balanço hídrico no solo, utilizando-se a condição “CVA_ΔW”, porém corrigindo-se os valores irreais, com base na média aritmética dos valores antecedente e procedente ao valor considerado irreal, cujas frequências de ocorrência, em termos percentuais, foram da ordem de 11,11 e de 12,29%, correspondentes ao 1º e 2º ciclos produtivos, respectivamente, como um todo.

Andrade *et al.* (1988) constataram que o BHS mostrou-se confiável nos períodos de déficit hídrico, mas fracassaram no período chuvoso, quando ocorre aumento do armazenamento de água no solo.

4.4.2.1. Evapotranspiração da Videira com base na Variação do Conteúdo de Água no Solo

Nas Figuras 4.60a a 4.62b estão mostrados os comportamentos dos valores médios de ETc obtidos com base no balanço hídrico no solo para quatro modalidades de intermitência de irrigação, para cada um dos oito estádios fenológicos da videira em dois ciclos de cultivo.

De um modo geral, quando se analisa a Figura 4.60a, pode-se constatar que as curvas de $(ETc)_{ac_BHS}$ aumentaram acentuadamente, a partir do estágio de PB, quando seus valores oscilaram em torno de $2,11 \pm 1,87 \text{ mm.dia}^{-1}$, até a 1ªFCF, quando alcançaram os números mais elevados e ficaram compreendidos entre $5,72 \pm 3,44$ e $7,60 \pm 3,56 \text{ mm.dia}^{-1}$, apresentando pequena variação no estágio da PCF, mas tendendo a decrescer gradualmente até o RF, cujos valores situaram-se entre $0,78 \pm 0,89$ e $2,12 \pm 2,52 \text{ mm.dia}^{-1}$. Quando se consideraram as curvas de ETc correspondentes a cada uma das intermitências de irrigação, observou-se que os valores de ETc mostraram-se praticamente iguais durante os três primeiros e os dois últimos estádios fenológicos da videira. No entanto, nos demais estádios, constatou-se que os valores de ETc determinados com uma intermitência de

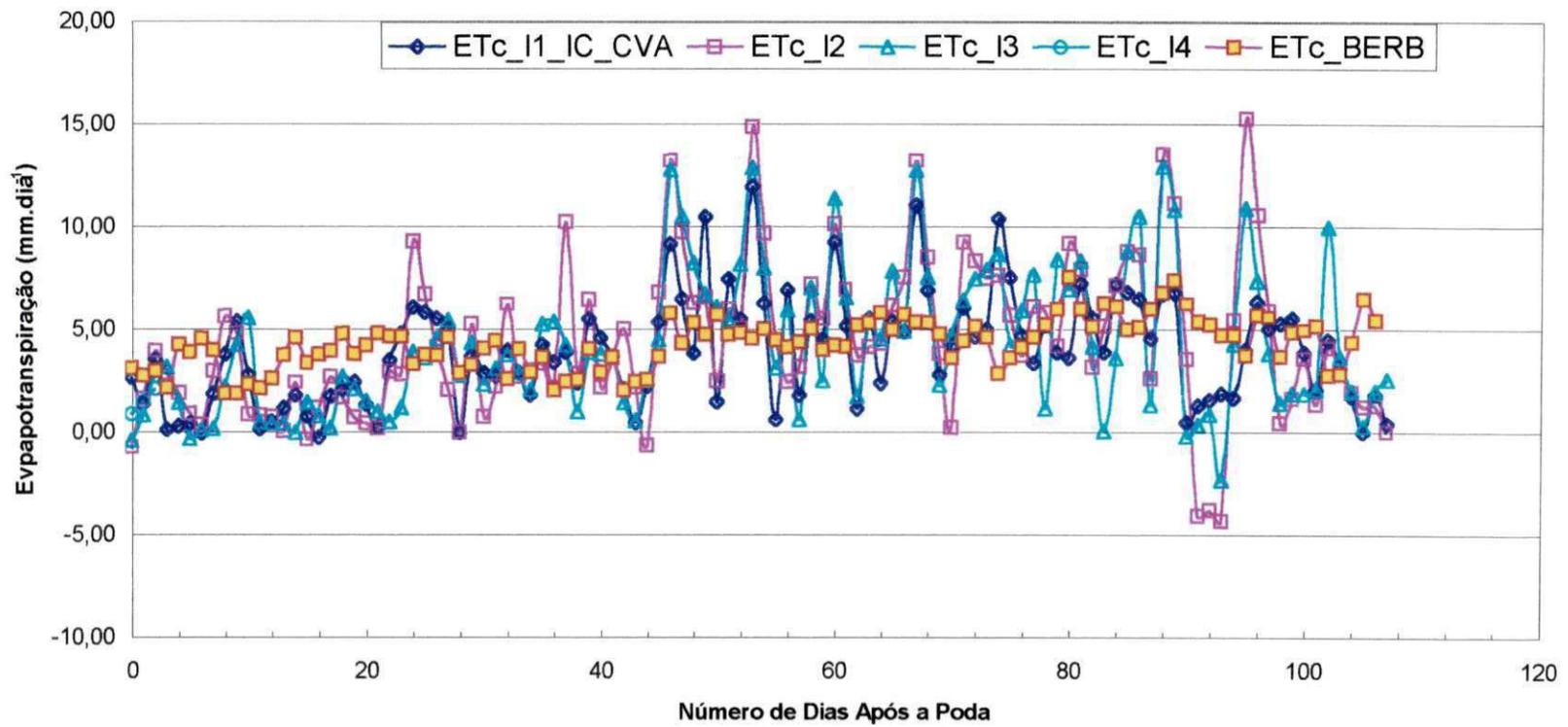


Fig. 4.58. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 para o 1º ciclo de produção, com variação do armazenamento do conteúdo de água no solo (ETc_I1_IC_CVA); idem para intermitência I-2 (ETc_I2); idem para intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.

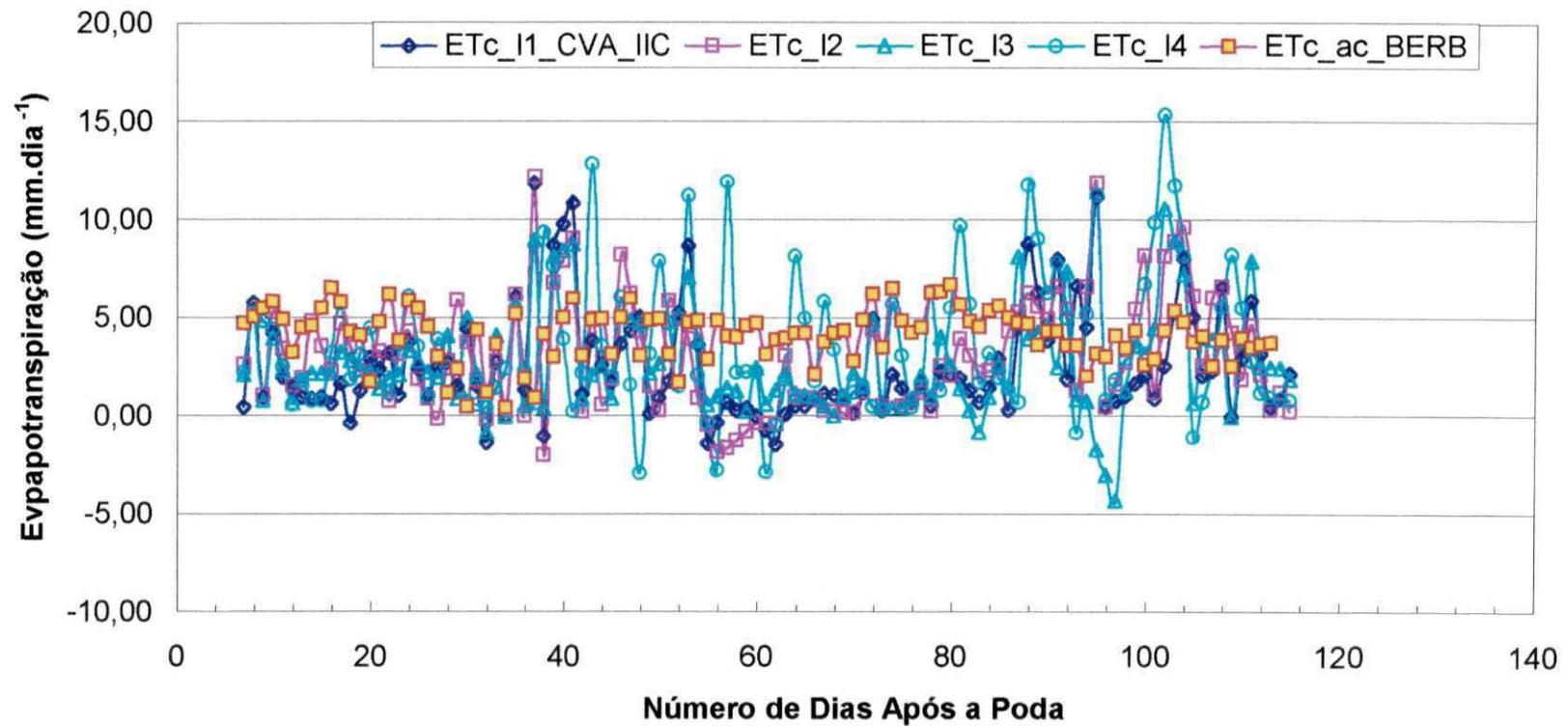


Fig. 4.59. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 para o 2º ciclo de produção, com variação do armazenamento do conteúdo de água no solo (ETc_I1_IIC_CVA); idem para intermitência I-2 (ETc_I2); idem para intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.

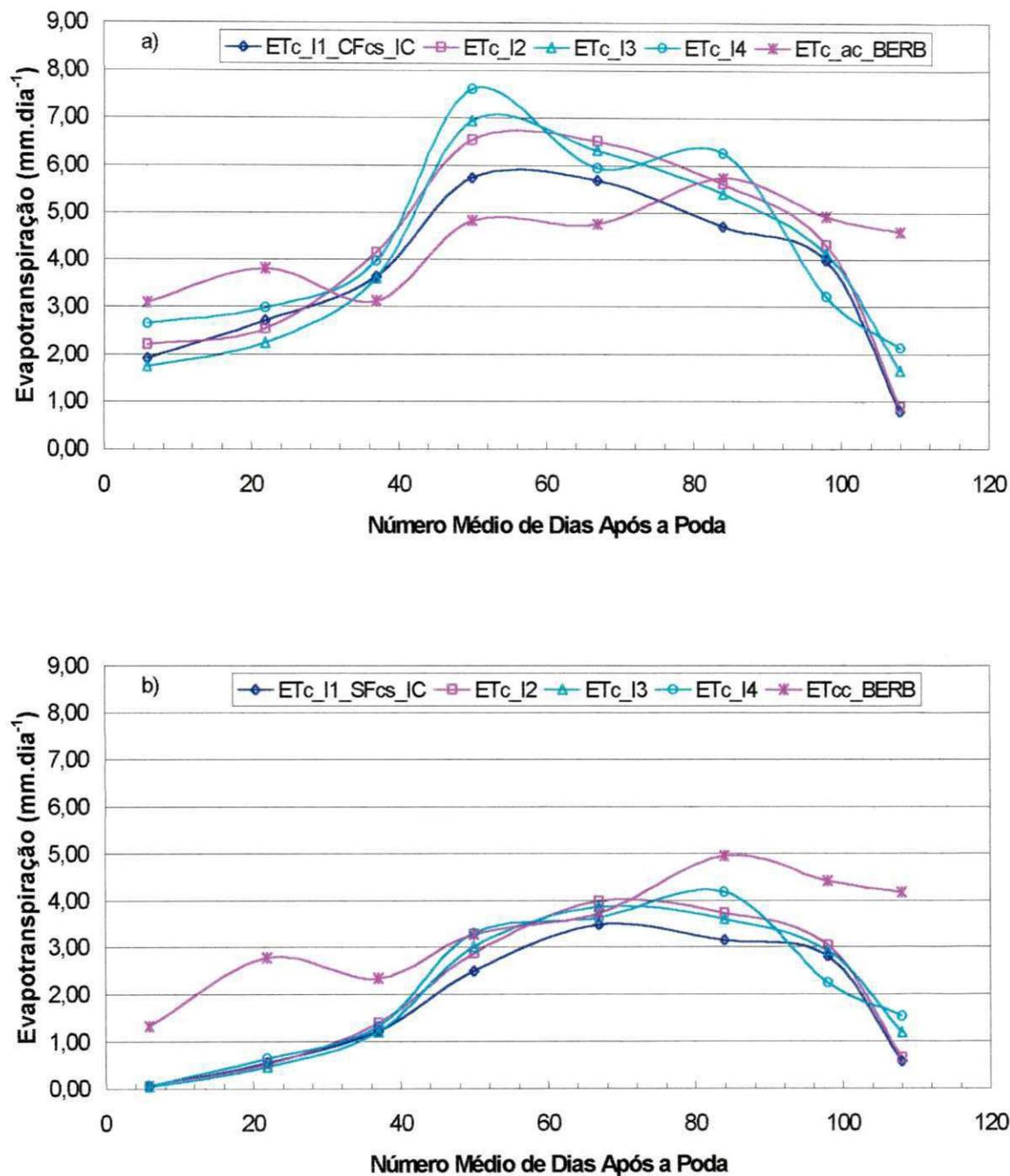


Fig. 4.60. Comportamento dos valores médios de evapotranspiração obtidos pelo BHS para a condição: a) com fator de cobertura do solo para a intermitência I-1 – ETc_I1_IC_CFcs, intermitência I-2 – ETc_I2, intermitência I-3 – ETc_I3 e intermitência I-4 – ETc_I4, para o 1º ciclo produtivo; b) idem para condição sem fator de cobertura do solo, Petrolina - PE.

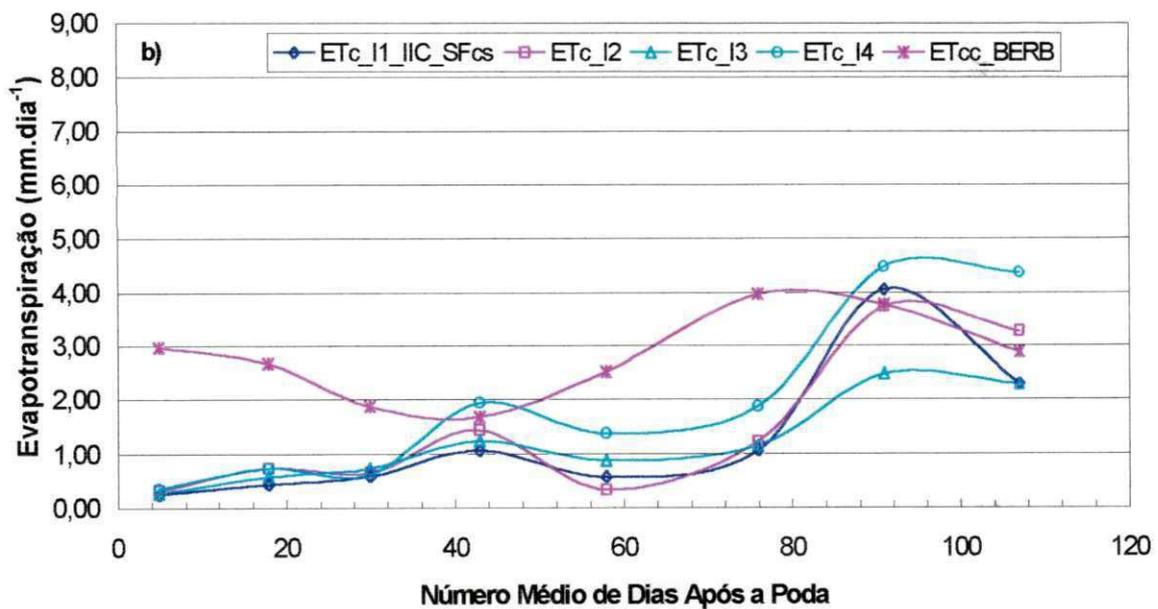
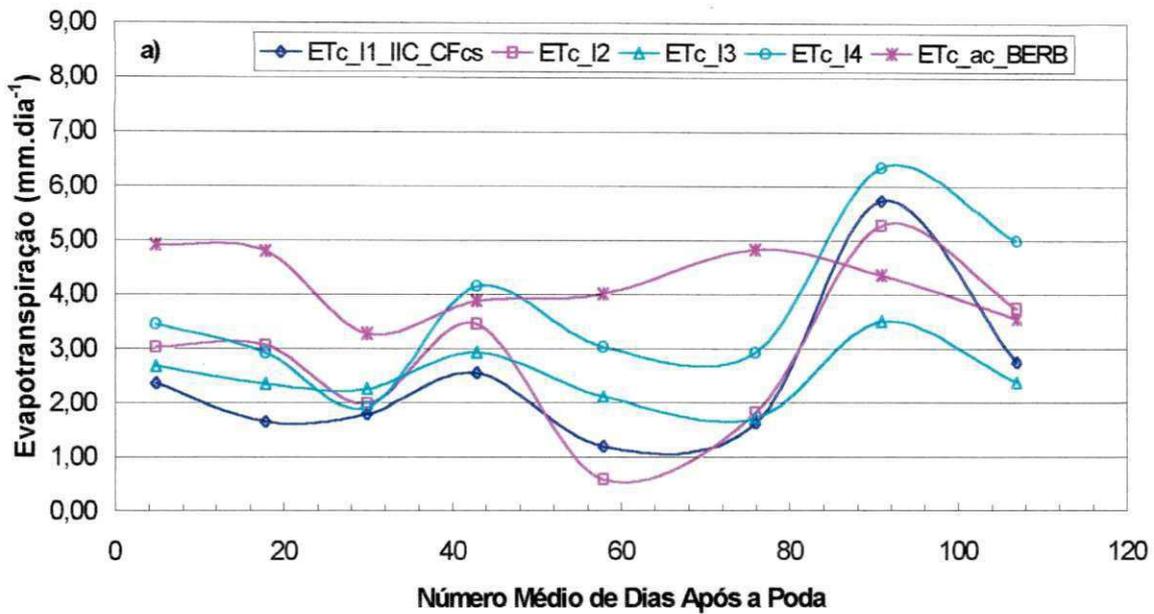


Fig. 4.61. Comparação entre os valores médios de ETc obtidos pelo BHS para a condição: a) com fator de cobertura do solo para a intermitência I-1 – ETc_I1_IIC_CFcs, intermitência I-2 – ETc_I2, intermitência I-3 – ETc_I3 e intermitência I-4 – ETc_I4, para o 2º ciclo produtivo; b) idem para condição sem fator de cobertura do solo, Petrolina - PE.

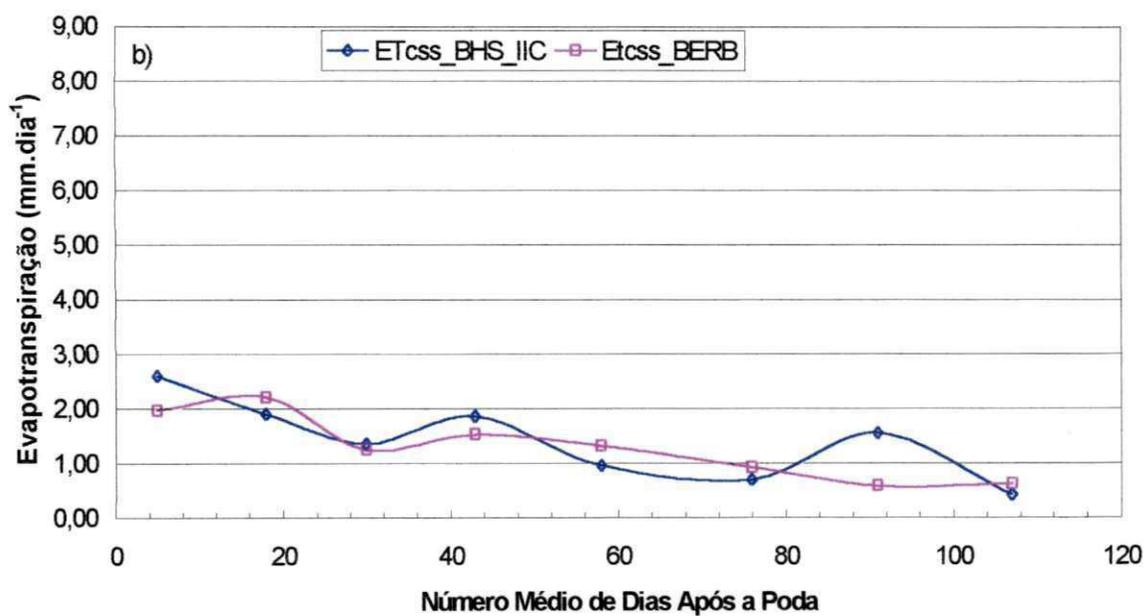
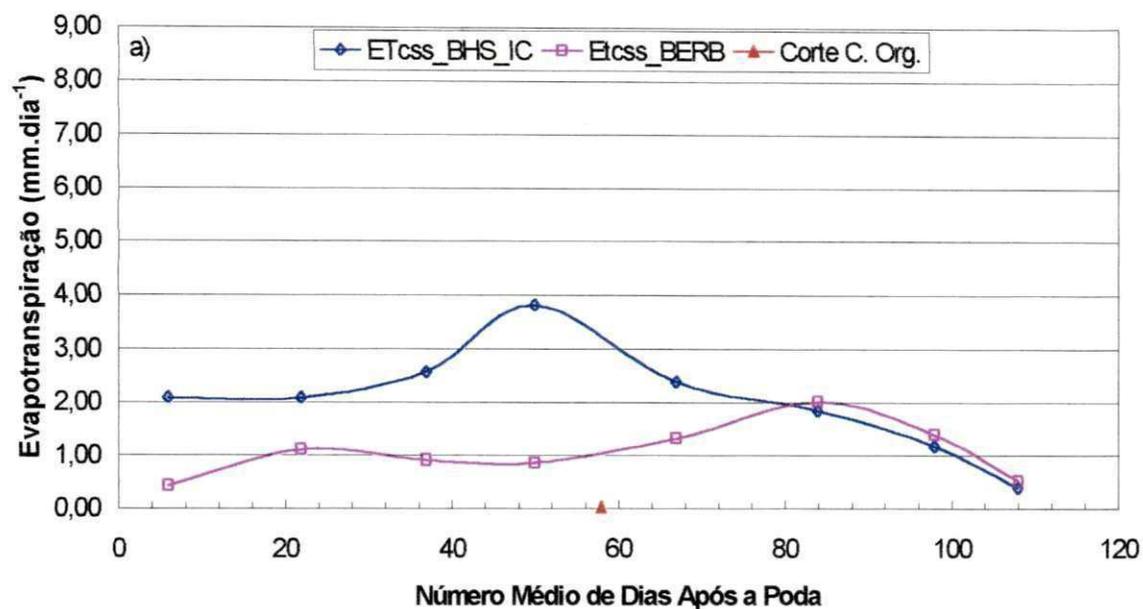


Fig. 4.62. Comparação entre os valores médios de evapotranspiração obtidos pelos métodos do BERB clássico $(ETc)_{ss_BERB}$ e do BHS $(ETc)_{ss_BHS}$ ao longo do ciclo produtivo da videira, para: a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina - PE.

irrigação tenderam a tornar-se ligeiramente menores, quando comparados àqueles obtidos com base em duas a quatro intermitências de irrigação, enquanto os da intermitência I-4 foram mais elevados.

Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.61b), pode-se verificar que as quatro modalidades de curvas de $(ETc)_{ac_BHS}$ apresentaram comportamentos senoidais, caracterizando tendências decrescentes entre os estádios de PB e de PFF, cujos valores médios passaram de $2,86 \pm 1,86 \text{ mm.dia}^{-1}$ para $1,97 \pm 1,66 \text{ mm.dia}^{-1}$. No estágio seguinte, aumentaram de maneira brusca, alcançando valores máximos médios da ordem de $3,25 \pm 2,57 \text{ mm.dia}^{-1}$, voltando a diminuir acentuadamente em relação ao estágio da PCF, atingindo os valores de $(ETc)_{ac_BHS}$ mais baixos deste ciclo. Durante a 2ªFCF, a $(ETc)_{ac_BHS}$ tendeu a elevar-se, porém de modo menos acentuado, alcançando um segundo ponto de máxima, por ocasião da MFF, com valores oscilando entre $4,70 \pm 1,48$ e $6,34 \pm 3,96 \text{ mm.dia}^{-1}$, sendo que, na seqüência, passou a decrescer novamente. Observou-se, ainda, durante os três primeiros estádios fenológicos, que os valores de $(ETc)_{ac_BHS}$ resultantes da intermitência I-1 mostraram-se ligeiramente inferiores aos das outras modalidades de intermitências de irrigação. No entanto, durante os demais estádios deste ciclo, os valores foram bastante superiores aos das demais intermitências (Figura 4.61a).

Os valores de ETc determinados com base no fator de cobertura do solo resultante apenas da copa da videira, relativos ao 1º ciclo produtivo, que correspondem a ETc da copa da videira $(ETc)_{c_BHS}$ (Figura 4.60b), tenderam a aumentar acentuadamente até o estágio de PCF, cujo valor médio oscilou em torno de $3,73 \pm 1,83 \text{ mm.dia}^{-1}$, quando, então, passou a decrescer gradualmente. Constatou-se, também, que os valores de $ETcc_II$ sempre se mostraram inferiores aos das outras modalidades de intermitência de irrigação, exceto para os três primeiros estádios, em que se tornaram praticamente iguais. Para o 2º ciclo, observou-se que os valores de $(ETc)_{c_BHS}$, tenderam a aumentar gradualmente até o estágio da 1ªFCF, apresentando uma pequena redução no estágio seguinte, mas voltando a aumentar bruscamente, tendo os valores mais elevados sido obtidos no estágio de MFF, que se situaram entre $2,46 \pm 1,64$ e $4,46 \pm 2,77 \text{ mm.dia}^{-1}$ (Figura 4.61b).

Calculando-se as diferenças entre os valores de ETc extraídos da Figura 4.60a, que correspondem a evapotranspiração acumulada e os da Figura 4.60b, que se referem à evapotranspiração da copa da videira, para cada uma das categorias de intermitência de irrigação e, em seguida tomando-se a média dos valores obtidos, referentes a cada estágio fenológico, foram obtidos os valores de ETc relativos à superfície do solo $(ETc)_{ss_BHS}$, para

o 1º ciclo de cultivo (Figura 4.62a). Procedimento similar foi adotado para as Figuras 4.61a e 4.61b, para se determinar a $(ETc)_{ss_BHS}$ correspondente ao 2º ciclo (Figura 4.62b). Assim, analisando-se as Figuras 4.62a e 4.62b, verificou-se que os valores de $(ETc)_{ss_BHS}$ para o 1º ciclo aumentaram progressivamente, a partir do estágio do PB até a 1ªFCF, quando alcançaram $3,79 \pm 2,19 \text{ mm.dia}^{-1}$, sendo que daí em diante passaram a decrescer gradualmente até o início do RF, cujo valor já era da ordem de $0,38 \pm 0,49 \text{ mm.dia}^{-1}$. Com relação ao 2º ciclo, a curva de $(ETc)_{ss_BHS}$, também apresentou comportamento senoidal, similar ao encontrado para os valores das $(ETc)_{ac_BHS}$ e $(ETc)_{c_BHS}$, porém caracterizado por uma tendência decrescente a partir do PB, cujo valor máximo médio foi de $2,59 \pm 1,65 \text{ mm.dia}^{-1}$ (Figura 4.62b).

4.4.2.2. Comparação entre os Valores de Evapotranspiração da Videira Estimados pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen e pelo Balanço Hídrico no Solo

Quando se faz uma análise comparativa entre os valores de $(ETc)_{ac_BHS}$ e de $(ETc)_{ac_BERB}$, (Figura 4.60a), relativa ao 1º ciclo de cultivo, pode-se observar que os valores de $(ETc)_{ac_BERB}$ apresentam-se mais elevados do que aqueles estimados por meio do BHS, nos estádios de PB, DV e de RF. Para os estádios de PFF, 2ªFCF e MFF, constatou-se que os valores obtidos para ambas as modalidades de $(ETc)_{ac}$ mostraram-se praticamente iguais, enquanto nos estádios da 1ªFCF e PCF, os valores da $(ETc)_{ac_BHS}$ apresentaram-se muito mais elevados do que os de $(ETc)_{ac_BERB}$.

Quando se consideram os valores de $(ETc)_c$, observa-se que os de $(ETc)_{c_BERB}$ mostraram-se muito mais elevados do que os de $(ETc)_{c_BHS}$, tanto para os três primeiros quanto para os três últimos estádios fenológicos da videira. No entanto, durante a 1ªFCF e PCF, verificou-se que os valores de $(ETc)_{c_s_BERB}$ tornaram-se praticamente iguais àqueles determinados pelo BHS (Figura 4.60b). Com relação ao 2º ciclo, verificou-se, também, que os valores de $(ETc)_{ac_BERB}$ apresentaram-se bastante mais elevados do que os determinados pelo BHS, exceto para os estádios da 1ªFCF, MFF e RF, em que se tornaram praticamente iguais (Figura 4.61b).

Quando se comparam as curvas de ET_{css} , correspondentes ao 1º ciclo, constatou-se que os valores de $(ETc)_{ss_BERB}$, compreendidos entre os estádios de PB e a 2ªFCF comportaram-se de maneira inversa quando comparados àqueles determinados pelo BHS.

A partir daí, ambas as modalidades de $(ETc)_{ss}$ passaram a decrescer, sendo que a $(ETc)_{ss_BERB}$ mostrava-se ligeiramente mais elevada que a $(ETc)_{ss_BHS}$ (Figura 4.62a). No que se refere ao 2º ciclo, constatou-se que ambas as modalidades de $(ETc)_{ss}$ mostraram uma tendência decrescente a partir do PB, com valores aproximadamente iguais (Figura 4.62b).

A obtenção de valores superestimados de $(ETc)_{ac_BERB}$, em comparação aos de $(ETc)_{ac_BHS}$, observados especialmente durante os três primeiros estádios fenológicos da videira, quando o Fcs é menor e/ou ligeiramente maior que 0,97, para ambos os ciclos de cultivo, pode ser decorrente da parcela aditiva de energia disponível proveniente da microadvecção proveniente da faixa de solo seco, uma vez que a percentagem de área molhada pelo sistema de irrigação é de apenas 50%. No entanto, a supremacia de $(ETc)_{ac_BERB}$, constatada durante o último estágio do 1º ciclo, poderia estar associada à ocorrência de um elevado grau de deficiência hídrica no solo, conforme Figuras 4.43a, 4.43b, 7.2.1a a 7.2.3b e 4.45a a 4.46b, o que limitou o atendimento da evapotranspiração máxima das plantas situadas dentro dos lisímetros. Vale salientar que o lisímetro, além de delimitar o volume de solo potencialmente explorável pelo sistema radicular da videira, elimina a possibilidade de ascensão capilar de água proveniente do lençol freático. Salienta-se ainda, a adoção do critério de suspensão da irrigação no início do estágio de MFF. Por outro lado, as plantas que foram utilizadas para realização do balanço de energia pela razão de Bowen não estavam impostas às restrições referidas anteriormente, uma vez que o lençol encontrava-se a uma profundidade da ordem de 1,80 m. Deve-se lembrar, ainda, que as plantas situadas dentro dos lisímetros tiveram que ser irrigadas, pelo menos uma vez por semana, ao longo do período de repouso fenológico, para evitar que elas alcançassem o ponto de murcha permanente, o que não ocorreu com aquelas localizadas na circunvizinhança dos lisímetros.

Quando se considera a superestimação da $(ETc)_{ac_BERB}$ em relação à $(ETc)_{ac_BHS}$, durante os estádios da PCF e 2ªFCF do 2º ciclo produtivo, pode-se constatar que esta também pode ser decorrente da deficiência de umidade no solo, uma vez que neste período, as irrigações estavam suspensas em virtude da ocorrência de chuvas contínuas e intensas, durante os estádios de PFF e da 1ªFCF, conforme Figura 4.42b. No entanto, durante a MFF e o RF não se constataram diferenças significativas entre estas duas categorias de ETc_{ac} , apesar de as irrigações estarem suspensas, provavelmente por tratar-se de um mês (março) com baixa demanda evapotranspirométrica.

Quando se consideram os comportamentos das curvas de $(ETc)_{ss}$ obtidas por meio dos balanços de energia pela razão de Bowen e hídrico do solo, relativas ao 1º ciclo, é provável que as culturas utilizadas como cobertura orgânica verde tenham-se constituído numa barreira que dificultou o fluxo de ar abaixo da copa da videira e, conseqüentemente, dentro dos psicrômetros, especificamente naquele instalado na altura de 0,30 m em relação à superfície do solo, proporcionando o aumento da quantidade de vapor d'água presente na massa de ar dentro do psicrômetro, implicando, assim, na redução da demanda evapotranspirométrica do ar. Logo após o corte das culturas da crotalária e sorgo granífero, que ocorreu aos 58 DAP, coincidindo com o final do estágio da 1ªFCF, observou-se que o fluxo de ar voltou à normalidade, condicionando a medição correta da demanda evapotranspirométrica da atmosfera e, conseqüentemente, da $(ETc)_{ss_BERB}$. Pode ser observado, também, que a redução de $(ETc)_{ss_BHS}$, constatada um pouco antes do corte das culturas da crotalária e sorgo granífero, poderia estar relacionada à deficiência de umidade no solo (Figura 4.62a). A redução gradativa tanto de ET_{css_BHS} , quanto de ET_{css_BERB} (Figura 4.62b), ao longo da fenologia da videira durante o 2º ciclo, pode ter sido decorrente, também, da redução gradual do saldo de radiação abaixo da copa da videira ao longo do seu ciclo fenológico (Figura 4.14), tendo as oscilações observadas sido atribuídas à ocorrência de chuvas e a suspensão/retorno da irrigação.

Na Tabela 4.12 estão representados os valores correspondentes à evapotranspiração acumulada da videira determinados pelo balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas “copa-solo”, “copa” e “superfície do solo” e do balanço hídrico no solo para os quatro níveis de intermitências de irrigação. Pode-se verificar que os valores da ETc acumulados da videira, determinados através do balanço de energia modificado, foram da ordem de 496,87 e de 472,81 mm, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, respectivamente. Ou seja, esta supremacia foi apenas de 6,95% para o 1º ciclo e 2,36% para o 2º ciclo em relação aos valores da $(ETc)_{c-s}$ (Tabela 4.12).

Quando se considera a $(ETc)_{ac_BHS}$, observa-se para ambos os ciclos produtivos da videira, que seus valores tenderam a crescer, à medida que o número de intermitências aumentava, exceto para I-2, que se mostraram mais elevados do que os de I-3. Comparando-se os valores acumulados de ETc , constatou-se, para o 1º ciclo, que os valores médios de $(ETc)_{ac_BHS}$ oscilaram em torno de $435,35 \pm 32,06$ mm, situando-se entre os valores de $(ETc)_{ac_BERB}$ e de $(ETc)_{BEC}$. Porém, para o 2º ciclo, a superioridade dos valores de $(ETc)_{BERB}$ em relação aos de $(ETc)_{BHS}$ foi bastante elevada (Tabela 4.12). A

Tabela 4.12 – Resumo da evapotranspiração acumulada da videira obtida através do balanço de energia pela razão de Bowen para os sistemas copa-solo, copa e superfície do solo e pelo balanço hídrico no solo para as intermitências de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para o primeiro e segundo ciclo de cultivo da videira, Petrolina – PE.

ETc_BERB		ETc_BHS	
Sistemas	(mm)	Intermitências	(mm)
Primeiro ciclo de cultivo			
Copa-solo	464,60	I - 1	431,98
Copa	355,45	I - 2	483,38
Superfície do solo	141,42	I - 3	469,27
Copa + superfície do solo	496,87	I - 4	508,77
		Média	473,35±32,06
Segundo ciclo			
Copa-solo	461,91	I - 1	242,69
Copa	323,16	I - 2	288,80
Superfície do solo	149,65	I - 3	263,62
Copa + superfície do solo	472,81	I - 4	381,82
		Média	294,23±61,63

ocorrência de chuvas continuamente, por um período de 25 dias, pode ter ocasionado o encharcamento excessivo do solo, proporcionando a obtenção de valores irreais para a lâmina de água armazenada no perfil do solo, uma vez que se utilizou a tensiometria de mercúrio para sua medição.

Portanto, verifica-se que as diferenças marcantes observadas entre os valores de ETc determinados com base em dois grupos de metodologias distintas são atribuídas às peculiaridades específicas de cada categoria de metodologia, da precisão dos instrumentos utilizados, bem como do manejo de água e das práticas culturais adotadas. A associação destes e de outros fatores alheios dificultou a obtenção de valores compatíveis de ETc, quando se faz uma análise comparativa, mais específica da determinação destes parâmetros, obtidos pelos métodos do balanço de energia pela razão de Bowen e hídrico no solo.

Como o BERB está baseado especificamente em processos físicos, que envolvem quase exclusivamente elementos climáticos, independe de resíduos do processo evapotranspirométrico remanescentes entre dois ou mais dias consecutivos. Em contrapartida, o BHS torna-se muito mais complexo, uma vez que, além dos processos de ordem física proporcionados pelo clima e de ordem fisiológica pela planta, compreende, também, processos físicos e hidráulicos relativos ao solo. Dentre esses, pode-se destacar o conteúdo de água remanescente no perfil do solo, que além de variar de ponto para ponto dentro do volume de solo molhado, a precisão de sua medição depende fundamentalmente do tipo de instrumento utilizado. No caso em pauta, os instrumentos do tipo tensiômetro, além de terem sua faixa de medição do potencial matricial do solo limitada ao intervalo entre 0 e 81 kPa e de erros proporcionados pelo operador, não têm capacidade para medir o conteúdo de água livre que flui através da porosidade do solo, o que se pode transformar num valor residual considerável entre dois dias consecutivos. Esses resíduos foram confirmados pelas curvas de drenagem obtidas entre dois eventos consecutivos de irrigação, mesmo quando não se adotou a técnica da intermitência da irrigação. O uso do instrumento denominado "Time Domain Reflectometry – TDR" pode se destacar como uma técnica apropriada para o monitoramento do conteúdo de água no solo, com maior nível de precisão, uma vez que seu espectro de medição da constante dielétrica do solo varia de 1 (ar) até 81 (água) e pode ser medido eletronicamente, num dado volume de controle (Roth et al., 1990).

Blad & Rosemberg (1974), estudando a evapotranspiração da soja, utilizando a lisimetria de pesagem com aquela obtida pelo BERB, constataram uma subestimação da ordem de 20% dos valores de ET_c quando comparada àquela determinada pelo lisímetro. No entanto, sob condições não advectivas, os resultados encontrados apresentaram boa concordância. Rana *et al.* (1990), determinando, também, a evapotranspiração da cultura da soja irrigada por meio da comparação dos métodos do BERB e do aerodinâmico simplificado e comparando-os com medições de lisimetria de pesagem, obtiveram valores de R^2 da ordem de 0,93 para o BERB e de 0,95 para o método aerodinâmico.

Lascano *et al.* (1992) mencionam que o padrão diário de uso de água pela videira apresentou-se muito baixo quando comparado com o de outras culturas, tais como algodão e sorgo. Isto pode ser devido, parcialmente, ao seu baixo IAF, que variou de 0,14 a 1,48, ao longo do seu ciclo de cultivo. Ou seja, estes autores constataram para um mesmo IAF, que

a transpiração diária do algodão variava entre 2 e 6 mm, enquanto o valor máximo da videira raramente excedia a 2 mm.dia⁻¹.

Malek & Bingham (1993), comparando a determinação da evapotranspiração da alfafa irrigada, pelos métodos do BERB e do balanço hídrico no solo, obtiveram uma relação expressa como segue: $ETc_{BHS} = 0,97 \times ETc_{BERB}$ com $R^2 = 0,97$.

Já Denmead & McIlroy (1970) e Tanner (1960), fazendo comparações entre as técnicas do BERB e de lisimetria para determinação da ETc, constataram que as diferenças entre elas foram da ordem de 10%.

Bausch & Bernard (1992) constataram que o valor de LE obtido pelo BERB subestimou em 1,40% aquele obtido pelo lisímetro, para condições de céu claro. Constataram, ainda, que as maiores diferenças entre estes dois métodos ocorreram no dia seguinte à irrigação, quando a razão de Bowen subestimou o valor de LE, obtido pelo lisímetro, em 8%. Revheim & Jordam (1976), citados por Prueger *et al.* (1997), verificaram que os valores de ETc determinados com base nos métodos da razão de Bowen e da lisimetria estavam dentro de um grau de concordância de 10%.

Oliver & Sene (1992), realizando estudos de balanços de energia pela razão de Bowen, em pomares de videira em desenvolvimento, em regiões semi-áridas da Espanha, verificaram que quando o solo encontrava-se totalmente seco, a ETc obtida representava apenas a transpiração da videira, que correspondeu a apenas 1 mm.dia⁻¹, durante o mês de junho.

Prueger *et al.* (1997), comparando a determinação da ETc por meio do BERB, utilizando psicrômetros fixos, com os valores obtidos por lisímetros de pesagem de precisão, usando a cultura da lentilha (*Lens culinaris*), durante dois anos consecutivos, também constataram um nível de concordância de 10%. Constataram, também, que os valores de (ETc)_{BERB}, em alguns dias do ciclo produtivo da cultura da lentilha, superestimaram os valores de (Etc)_L, enquanto que em outros dias subestimaram ou mesmo tornaram-se iguais. As razões destas subestimações eram decorrentes do aumento da evaporação da superfície do solo e/ou da transpiração da planta.

Konzelmann *et al.* (1997) mencionam que a ETc para superfícies úmidas pode ser influenciada apenas pela energia disponível e pelas condições aerodinâmicas, enquanto para superfície parcialmente saturada, a ETc torna-se ativamente controlada pela comunidade de plantas, dependendo do DPV entre o ambiente e a cavidade estomática.

Todd *et al.* (1998), compararam o fluxo de LE por meio do BERB com aquele determinado por meio de lisímetro de pesagem de precisão, utilizando a cultura da alfafa e verificaram que os valores de $(ETc)_{BERB}$ concordaram bem com os de $(ETc)_{LPP}$ em um ano, mas superaram os da $(ETc)_{LPP}$ no ano seguinte, especialmente para taxas maiores que 6 mm.dia^{-1} . Verificaram, também, que o BERB tendeu a superestimar a $(ETc)_{LPP}$ com ou sem a presença de advecção de calor sensível, embora a superestimação fosse maior em 1998, quando havia advecção de calor sensível. Todd *et al.* (1998) constataram que os valores de LE foram superestimados pelo BERB quando os valores de H eram positivos ou negativos e se havia ou não advecção de calor sensível. Estes autores mencionaram, ainda, que outros fatores podem ter contribuído para a ocorrência de erros no BERB, tais como erros na medição de R_n , que poderiam introduzir uma tendência sistemática e que permaneceriam caso houvesse ou não advecção de H. O erro obtido para o BERB em relação ao lisímetro de pesagem de precisão tornou-se positivo no período da manhã e negativo no período da tarde (Todd *et al.*, 1998).

Trambouze *et al.* (1998), determinando a evapotranspiração da videira em condições de sequeiro, usando os métodos do BERB, BHS e de fluxo de seiva, constataram que o erro médio de BHS foi de 14,10%, tendo variado entre 7,3 e 28,9%, para períodos semanais, enquanto para o BERB foi de 15,10% para períodos diários. Porém, quando se consideraram os erros diários para o BHS, seus valores tornaram-se ainda mais elevados. Observaram, ainda, que o BH foi considerado o menos preciso dentre os três métodos testados. Trambouze *et al.* (1998) mencionaram que a sua resolução temporal deve ser computada para períodos semanais, se a estimativa de variação permanecer dentro do limite de aceitação.

Moura (2001), estudando a evapotranspiração da goiabeira irrigada por meio do BERB para períodos de cinco dias, constatou uma variação bastante elevada, tendo obtido valores mínimos da ordem de $2,9 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o estágio de brotação/desenvolvimento vegetativo, que tenderam a aumentar gradualmente ao longo do seu ciclo fenológico, alcançando um máximo de $6,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, durante a maturação/colheita dos frutos.

Prior & Grieve (1987), citados por Evans *et al.* (1993), também determinaram, por meio de lisímetro, na Austrália, que o requerimento de água da *Vitis vinifera*, variedade *Sultana*, variava entre 700 e 800 mm.ano^{-1} .

4.4.2.3. Análise do Erro da Evapotranspiração

A análise do erro da evapotranspiração compreendeu a aplicação de duas metodologias distintas, sendo uma destinada à avaliação da ET_c obtida com base no balanço de energia pela razão de Bowen, compreendendo o sistema “copa-solo” e os subsistemas “copa” e “superfície do solo” e outra relativa à obtenção de ET_c determinada pelo balanço hídrico no solo, para cada um dos oito estádios fenológicos da videira.

4.4.2.3.1. Erro da Evapotranspiração Estimada pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen - $\epsilon(ET_c)_{BERB}$

Nas Tabelas 4.13 e 4.14 são apresentados os resumos do erro obtidos na determinação da evapotranspiração - $\epsilon(ET_c)_{BERB}$ para as distintas modalidades de balanço de energia pela razão de Bowen, utilizando a metodologia proposta por Trambouze *et al.* (1998). Constatou-se que o valor médio do $\epsilon(ET_c)_{BERB}$ obtido para ambos os ciclos produtivos da videira, considerando os distintos volumes de controle, mostrou-se inferior a 10,2%. Quando se analisa separadamente cada um dos sistemas, observa-se para o 1º ciclo (Tabela 4.13), que os valores do $\epsilon(ET_c)_s$ apresentaram-se ligeiramente mais elevados do que aqueles determinados com base na subdivisão de volume de controle único. No entanto, no 2º ciclo, obteve-se o inverso (Tabela 4.14). Quando se considera o comportamento deste erro ao longo do ciclo produtivo da videira, obtiveram-se valores da ordem de 34,37 e 25,03% e de 12,99 e 22,54%, correspondentes aos estádios de PFF e RF do 1º ciclo, relativos aos sistemas “copa-solo” e “copa”, respectivamente (Tabela 4.13). No entanto, no 2º ciclo (Tabela 4.14), os valores mais elevados deste tipo de erro foram obtidos apenas para o sistema “copa”, nos estádios de DV, PFF, 1ªFCF e MFF, que oscilaram entre 14,44 e 19,70%. Por outro lado, o sistema “superfície do solo” proporcionou a obtenção dos erros ainda mais baixos, cujos valores médios mostraram-se inferiores a 1,65% (Tabelas 4.13 e 4.14).

Tabela 4.13. Resumo do erro da evapotranspiração obtido para os sistemas “copa-solo” - $\varepsilon(\text{ETc})_{c_s}$ “copa” - $\varepsilon(\text{ETcc})_c$ e “superfície do solo” - $\varepsilon(\text{ETcss})_{ss}$, para oito estádios fenológicos da videira e para o 1º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Erro da evapotranspiração - $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BERB}}$ (%)			
	$\varepsilon(\text{ETc})_{c_s}$	$\varepsilon(\text{ETcc})_c$	$\varepsilon(\text{ETcss})_{ss}$	$\varepsilon(\text{ETc}_{ac})_{c_{ss}}$
PB	0,00	2,66	0,00	2,66
DV	1,62	0,01	0,00	0,01
PFF	34,37	12,99	0,00	12,99
1ªFCF	1,16	0,34	0,00	0,35
PCF	4,95	4,59	0,02	4,61
2ªFCF	10,78	2,02	5,92	7,94
MFF	8,46	3,12	7,22	10,34
RF	25,03	22,54	0,00	22,54
Média	8,76	6,03	1,65	7,68
Desvio padrão	11,97	7,81	3,06	7,59

Tabela 4.14. Resumo do erro da evapotranspiração obtido para os sistemas “copa-solo” - $\varepsilon(\text{ETc})_{c_s}$, “copa” - $\varepsilon(\text{ETcc})_c$ e “superfície do solo” - $\varepsilon(\text{ETcss})_{ss}$, para oito estádios fenológicos da videira e para o 2º ciclo produtivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Erro da evapotranspiração - $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BERB}}$ (%)			
	$\varepsilon(\text{ETc})_{c_s}$	$\varepsilon(\text{ETcc})_c$	$\varepsilon(\text{ETcss})_{ss}$	$\varepsilon(\text{ETc}_{ac})_{c_{ss}}$
PB	0,00	0,05	0,01	0,06
DV	4,33	19,70	6,95	26,65
PFF	26,17	17,07	0,32	8,78
1ªFCF	1,95	14,44	0,71	15,15
PCF	3,19	0,64	1,10	1,74
2ªFCF	0,00	0,00	0,33	0,33
MFF	4,36	16,27	0,00	16,27
RF	2,32	3,81	0,05	3,86
Média	5,29	9,00	1,18	10,18
Desvio padrão	8,60	8,62	2,36	10,98

4.4.2.3.2. Erro da Evapotranspiração Estimada pelo Balanço Hídrico no Solo - $\epsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$

Nas Tabelas 4.15 e 4.16 estão representados os resumos do erro obtidos na determinação da evapotranspiração - $\epsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ para as distintas modalidades de intermitências de irrigação, utilizando a metodologia proposta por Abenney-Mickson *et al.* (1997). Constatou-se que o $\epsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ médio obtido para as distintas intermitências de irrigação, mostrou-se inferior a 5,75% para ambos os ciclos produtivos da videira, tendo oscilado entre $3,85 \pm 2,49$ e $5,20 \pm 3,99\%$ para o 1º ciclo e entre $3,93 \pm 2,61$ e $5,75 \pm 3,99\%$ para o 2º ciclo. Quando se analisa separadamente a $\epsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ correspondente a cada uma das intermitências de irrigação, verifica-se que os maiores valores foram obtidos para a intermitência de irrigação I-4 (Tabelas 4.15 e 4.16).

4.5. Análise Crítica da Evapotranspiração de Referência - ET_0

No Anexo 7.3, pode-se encontrar uma análise crítica da evapotranspiração de referência - ET_0 , cujos valores diários de ET_0 foram calculados com base na metodologia proposta por Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), utilizando dados coletados em uma estação agrometeorológica convencional, instalada no Campo Experimental de Bebedouro, onde este estudo foi realizado e em uma estação agrometeorológica automática, instalada na Fazenda Vale das Uvas, situada a 35 km de distância em relação ao Campo Experimental de Bebedouro, estando ambos os locais situados à margem esquerda do Rio São Francisco (Tabelas 7.3.1 a 7.3.4 e Figuras 7.3.1a a 7.3.2b).

4.6. DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA DA VIDEIRA - K_c

Os valores de K_c foram obtidos com base no balanço de energia pela razão de Bowen e no balanço hídrico no solo, para cada um dos oito estádios fenológicos da videira, compreendendo dois ciclos de produção.

Tabela 4.15. Resumo dos erros $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ obtidos pelo balanço hídrico no solo para as modalidades de intermitência de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para oito estádios fenológicos, do 1º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

Estádios fenológico	Erro da evapotranspiração - $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ (%)			
	Intermitência	Intermitência	Intermitência	Intermitência
	I1	I2	I3	I4
PB	5,50±4,27	5,79±4,27	5,58±5,46	8,94±7,01
DV	4,38±3,00	3,78±3,07	3,33±2,16	4,64±3,59
PFF	5,73±1,74	3,47±2,12	3,32±1,16	3,77±2,27
1ªFCF	6,41±4,02	4,23±2,60	4,41±2,76	6,42±4,32
PCF	5,10±2,44	4,91±2,39	5,00±2,71	7,31±5,56
2ªFCF	3,85±1,30	4,01±2,12	4,05±2,67	6,43±5,17
MFf	3,17±1,33	3,19±2,71	3,46±2,71	2,42±2,09
RF	2,01±1,50	1,47±0,63	2,01±1,17	1,69±1,99
Média	4,52±2,45	3,85±2,49	3,89±2,60	5,20±3,99

Tabela 4.16. Resumo dos erros $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ obtidos pelo balanço hídrico no solo para as modalidades de intermitência de irrigação I-1, I-2, I-3 e I-4, para oito estádios fenológicos, do 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

Estádios fenológico	Erro da evapotranspiração - $\varepsilon(\text{ETc})_{\text{BHS}}$ (%)			
	Intermitência	Intermitência	Intermitência	Intermitência
	I1	I2	I3	I4
PB	8,43±5,75	8,25±5,75	8,79±4,80	10,28±5,21
DV	3,73±1,94	5,36±3,27	4,44±1,95	6,72±4,79
PFF	4,47±1,83	4,38±2,03	5,05±2,19	5,06±2,26
1ªFCF	3,31±2,91	3,31±2,54	3,32±2,36	3,82±2,66
PCF	1,27±1,48	1,17±0,85	1,73±1,42	3,64±2,50
2ªFCF	1,45±1,45	2,17±2,17	3,28±3,28	4,90±4,90
MFf	3,85±2,04	4,05±1,67	3,32±2,50	5,02±3,63
RF	4,96±3,52	3,66±2,99	3,67±2,72	6,55±3,60
Média	3,93±2,61	4,04±2,66	4,20±2,64	5,75±3,69

4.6.1. Coeficiente de Cultura da Videira Estimado pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen

Na Figura 4.63 são mostrados os valores de K_c resultantes da relação entre os valores de $(ET_c)_{cs}$ determinados pelo BERB aplicado ao sistema “copa-solo” e os valores de ET_o obtidos pela metodologia de Penman-Monteith, com base em dados coletados em estações agrometeorológicas convencional e automática. Verifica-se, nesta Figura, que os valores de $K_{c_BEC_EC}$ foram praticamente iguais aos de $K_{c_BEC_EA}$, para ambos os ciclos de cultivo, exceto para o estágio de PFF do 1º ciclo, em que o valor de $K_{c_BEC_EC}$ foi bastante superior ao de $K_{c_BEC_EA}$ (Tabela 4.17).

Quando se considera a divisão do sistema “copa-solo” em dois subsistemas - “copa” e “superfície do solo” - observa-se que o valor médio de K_{cc} relativo a ET_{o_EA} , para o 1º ciclo produtivo (Figura 4.64a), situou-se em torno de 0,59 nos estádios de PB e de DV, regrediu para $0,55 \pm 0,13$ por ocasião da pré e plena floração, quando, então, apresentou uma tendência crescente até o estágio da 2ªFCF, alcançando o valor máximo de $0,82 \pm 0,10$, quando, então, passou a decrescer (Tabela 4.18). Para o 2º ciclo (Figura 4.64b), verificou-se que o valor de K_{cc} , que era da ordem de $0,46 \pm 0,05$ para o estágio de PB, decresceu para o nível de $0,39 \pm 0,10$ durante o DV, mas passou a aumentar progressivamente até alcançar o valor máximo de $0,80 \pm 0,24$ por ocasião da 2ªFCF, valor este que se manteve praticamente inalterado durante a MFF, quando, então, decresceu para $0,60 \pm 0,15$, no estágio fenológico seguinte (Tabela 4.19).

Com respeito ao coeficiente de cultura relativo à superfície do solo, pode-se constatar, para o 1º ciclo (Figura 4.64a), que sua curva adquiriu um comportamento bimodal ao longo da fenologia da videira, apresentando dois pontos de máxima, sendo ambos em torno de $0,34 \pm 0,11$, que ocorreram durante os estádios de DV e da 2ªFCF, intercalados por um valor mínimo da ordem de $0,17 \pm 0,06$, obtido durante a 1ªFCF. A partir da 2ªFCF, o valor de K_{css} tendeu a regredir acentuadamente até alcançar o valor de $0,06 \pm 0,04$ no estágio de RF (Tabela 4.18). Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.64b), verificou-se que o comportamento do valor de K_{css} mostrou-se bastante diferente daquele obtido para o 1º ciclo produtivo da videira. Ou seja, os valores de K_{css} referentes aos três primeiros estádios tenderam a permanecer num patamar de $0,34 \pm 0,14$, sendo que a partir daí aumentaram de maneira brusca, alcançando o valor máximo de $0,60 \pm 0,51$ por ocasião

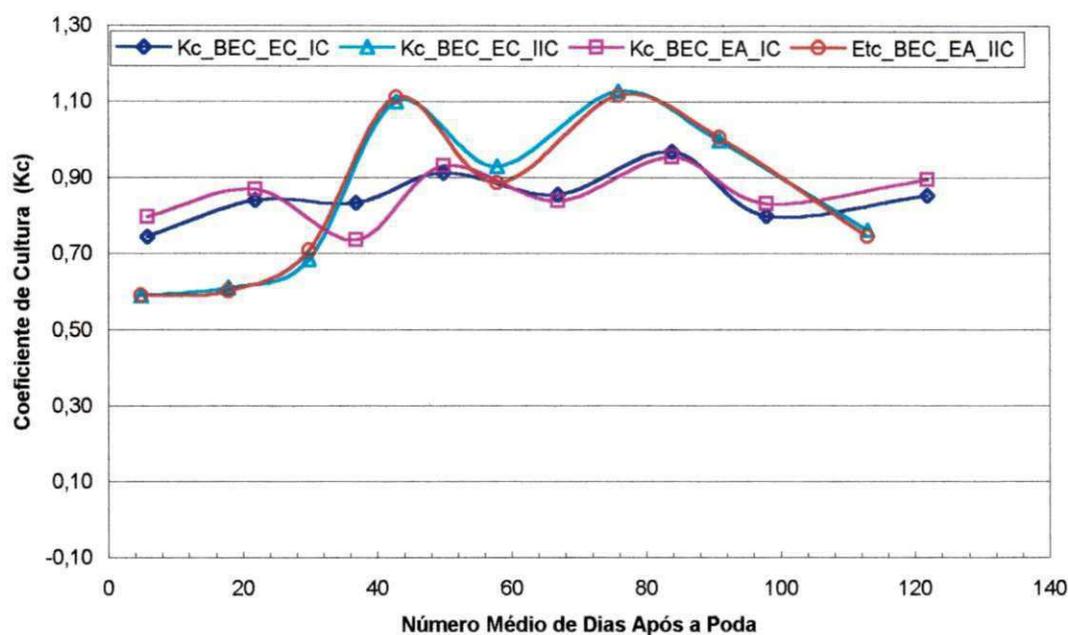


Fig. 4.63. Valores médios de coeficiente de cultura da videira correspondentes ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen aplicado ao sistema “copa-solo” e em dados coletados em estações agrometeorológicas convencional – Kc_EC_IC e automática – Kc_EA_IC, para o 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo, Petrolina - PE.

da 1ªFCF, passando a decrescer gradualmente até atingir o nível de $0,14 \pm 0,07$, no estágio de RF (Tabela 4.19).

Quando se analisam os valores de Kc_ac relativo a ETo_EA para o 1º ciclo (Figura 4.64a), pode-se verificar que sua curva também apresentou o comportamento bimodal, com dois pontos de máxima, sendo um da ordem de $0,94 \pm 0,16$, ocorrido durante o DV, e outro bem mais elevado, em torno de $1,12 \pm 0,13$, acontecido por ocasião da 2ªFCF (Tabela 4.18). Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.63b), pode-se constatar que a curva de Kc_ac também adquiriu um formato bimodal, com dois pontos de máxima da ordem de $1,08 \pm 0,68$ e de $1,01 \pm 0,26$, que ocorreram nos estádios da 1ªFCF e da 2ªFCF, respectivamente (Tabela 4.19).

Tabela 4.17. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço de energia aplicado ao sistema “copa-solo”, utilizando dados coletadas em estações agrometeorológicas convencional $Kc(BERB)_{EC}$ e automática $Kc(BERB)_{EA}$ correspondentes ao 1º e 2º ciclos produtivo da videira, Petrolina-PE.

Estádios fenológicos	$Kc(BERB)_{EC}$		$Kc(BERB)_{EA}$	
	1º ciclo		2º ciclo	
PB	0,74±0,14	0,79±0,24	0,59±0,05	0,59±0,04
DV	0,84±0,16	0,87±0,17	0,61±0,10	0,60±0,08
PFF	0,83±0,13	0,73±0,14	0,68±0,13	0,70±0,10
1ªFCF	0,91±0,09	0,93±0,10	1,10±0,32	1,11±0,38
PCF	0,85±0,11	0,84±0,10	0,93±0,28	0,88±0,20
2ªFCF	0,97±0,09	0,95±0,10	1,13±0,28	1,11±0,28
MFF	0,80±0,09	0,83±0,07	1,00±0,12	1,00±0,15
RF	0,85±0,16	0,89±0,16	0,76±0,19	0,74±0,18

Quando se comparam os valores de $(Kc)_{ac_EA}$ obtidos nos dois ciclos de cultivo da videira, obtém-se um valor máximo de $1,16±0,17$, ocorrido durante a 2ªFCF do 1º ciclo de cultivo, enquanto no 2º ciclo, o valor mais elevado de $(Kc)_{ac_EA}$ ocorreu por ocasião da 1ªFCF, alcançando $1,08±0,68$. Pode-se observar, também, que o valor mais elevado de $(Kc)_{ac_EA}$, determinado para o 2º ciclo, teve uma contribuição muito significativa de K_{css} . Isto pode ser decorrente da elevada evaporação do solo condicionada pela ocorrência contínua de chuvas, durante este estágio fenológico.

Quando se faz uma avaliação comparativa entre os valores de $(Kc)_{ac_EA}$ e os de $(Kc)_{BEC_EA}$, pode-se observar, para o 1º ciclo (Figura 4.64a), que os valores de $(Kc)_{ac_EA}$ mostraram-se praticamente iguais aos de $(Kc)_{BEC_EA}$ nos estádios de PB, PFF, PCF e RF, enquanto nos demais estádios tenderam a tornar-se mais elevados, exceto durante a 1ªFCF, cujo valor mostrou-se ligeiramente menor. Quando se considera o 2º ciclo (Figura 4.64b), pode-se constatar que os valores de $(Kc)_{ac_EA}$ tenderam a acompanhar os de $(Kc)_{BEC_EA}$, tendo-se mostrado bem mais elevados nos três primeiros estádios, praticamente iguais nos estádios da 1ªFCF, PCF e de RF e ligeiramente menores durante a 2ªFCF e MFF.

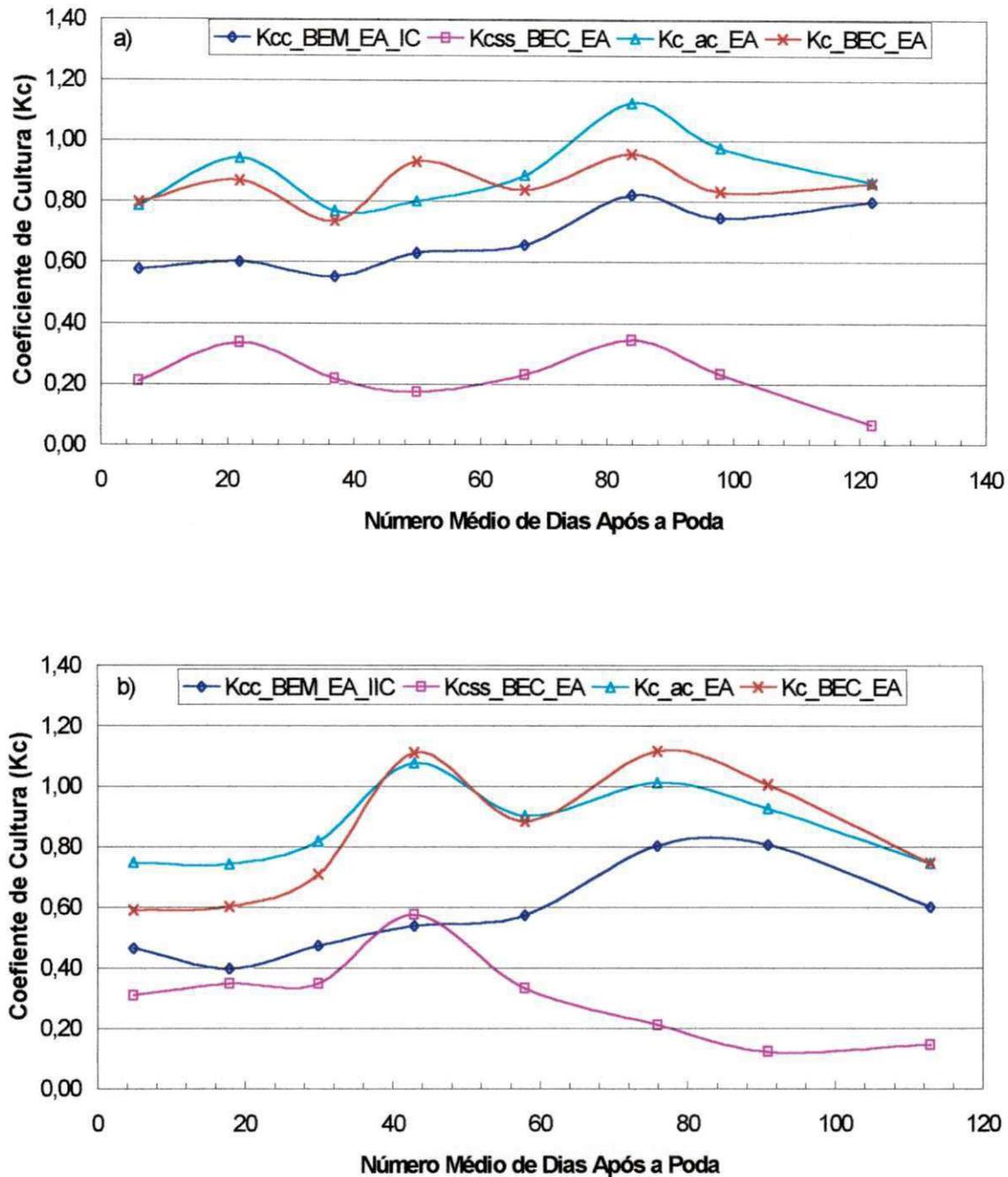


Fig. 4.64. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço de energia pela razão de Bowen correspondentes a: a) “copa” da videira - K_{cc} , “superfície do solo” - K_{css} e “copa-solo” - K_{c_ac} , relativos a uma estação agrometeorológica automática para o 1º ciclo produtivo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

Tabela. 4.18. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço de energia aplicados ao sistema “copa” - $(K_{cc})_{EA}$ e ao sistema “superfície do solo” - $(K_{css})_{EA}$ e de $(K_{c_ac})_{EA}$, utilizando dados obtidos em estação agrometeorológica automática para o 1º ciclo produtivo da videira, Petrolina-PE.

Estádios fenológicos	$(K_{cc})_{EA}$	$(K_{css})_{EA}$	$(K_{c_ac})_{EA}$
PB	0,57±0,14	0,21±0,05	0,78±0,16
DV	0,60±0,23	0,34±0,16	0,94±0,16
PFF	0,55±0,13	0,22±0,05	0,77±0,16
1ªFCF	0,63±0,10	0,17±0,06	0,80±0,09
PCF	0,65±0,07	0,23±0,05	0,88±0,10
2ªFCF	0,82±0,10	0,34±0,07	1,16±0,17
MFF	0,74±0,08	0,23±0,09	0,97±0,13
RF	0,80±0,12	0,06±0,04	0,86±0,13

Tabela. 4.19. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos com base no balanço aplicado ao sistema “copa” $(K_{cc})_{EA}$ e aplicada ao sistema “superfície do solo” $(K_{css})_{EA}$ e de $(K_{c_ac})_{EA}$, utilizando dados coletados em estação agrometeorológica automática correspondente ao 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina-PE.

Estádios fenológicos	$(K_{cc})_{EA}$	$(K_{css})_{EA}$	$(K_{c_ac})_{EA}$
	Média ± desvio padrão	Média ± desvio padrão	Média ± desvio padrão
PB	0,46±0,05	0,31±0,05	0,77±0,08
DV	0,39±0,10	0,35±0,11	0,74±0,20
PFF	0,47±0,28	0,35±0,26	0,82±0,46
1ªFCF	0,54±0,28	0,54±0,47	1,08±0,68
PCF	0,57±0,28	0,33±0,14	0,90±0,29
2ªFCF	0,80±0,24	0,21±0,08	1,01±0,26
MFF	0,81±0,13	0,12±0,02	0,92±0,13
RF	0,60±0,15	0,14±0,07	0,74±0,20

Quando se determinou o valor médio de $(Kc)_{BEC_EA}$ para cada um dos distintos estádios fenológicos da videira, compreendendo os dois ciclos de cultivo (Figura 4.65), obteve-se um desvio máximo de 22,13% nos estádios de PFF do 1º ciclo e no DV do 2º ciclo. Para o ciclo fenológico como um todo, o valor médio do desvio foi da ordem de $9\pm 5,79\%$ para as curvas de $(Kc)_{BEC_EA}$ e de apenas de $6,11\pm 4,89\%$ para as de $(Kc)_{ac_EA}$.

Oliver & Sene (1992), realizando estudos de balanços de energia pela razão de Bowen, em pomares de videira em desenvolvimento, em regiões semi-áridas da Espanha, verificaram que os valores de Kc obtidos durante o período de repouso fenológico da videira, variaram entre 0,10 e 0,30. Estes valores foram similares apenas aos valores de K_{css} obtidos nos estádios de MFF e de RF, quando as irrigações encontravam-se suspensas.

Nas Figuras 4.66a e 4.66b são apresentadas as relações entre os valores de Kc e o número de dias após a poda, obtidas com base nas Figuras 4.64a e b. Constatou-se que estas relações foram representadas por polinômios de sexto grau, tendo seus respectivos coeficientes de determinação sido de 0,37 e de 0,38, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, referentes à modalidade de $(Kc)_{BEC_EA}$ e de 0,93 e de 0,80, também correspondentes ao 1º e 2º ciclos da videira, relativo à modalidade de $(Kc)_{ac_EA}$. Quando análises similares foram feitas, considerando-se intervalos semanais, os valores de R^2 referentes à modalidade de $(Kc)_{BEC_EA}$ foram da ordem de 0,21 e de 0,64, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, enquanto os relativos à modalidade de $(Kc)_{ac_EA}$ foram de 0,68 e de 0,72, também correspondentes ao 1º e 2º ciclos da videira.

Portanto, verifica-se que os valores médios de Kc_{ac} estimados com base nos intervalos de tempo correspondentes aos distintos estádios fenológicos da videira apresentaram um melhor ajuste ao formato bimodal, do que os de $(Kc)_{BEC}$. Verificou-se, também, que os valores de Kc , estimados com base nos distintos estádios fenológicos da videira, mostraram um ajuste bem mais preciso do que aqueles obtidos para intervalos semanais.

Fazendo-se, ainda, uma análise comparativa destes valores de Kc , para cada um dos ciclos de cultivo como um todo, utilizando a metodologia recomendada por Spano *et al.* (2000), verificou-se que as diferenças entre as modalidades de $(Kc)_{ac}$ e de $(Kc)_{BEC}$ eram da ordem de 30,74% para o 1º ciclo e de 29,92% para o 2º. Moura (2001), determinando o coeficiente de cultivo da goiabeira irrigada, por meio do BERB, para períodos de cinco dias, constatou que este parâmetro apresentou uma tendência crescente a partir do estágio

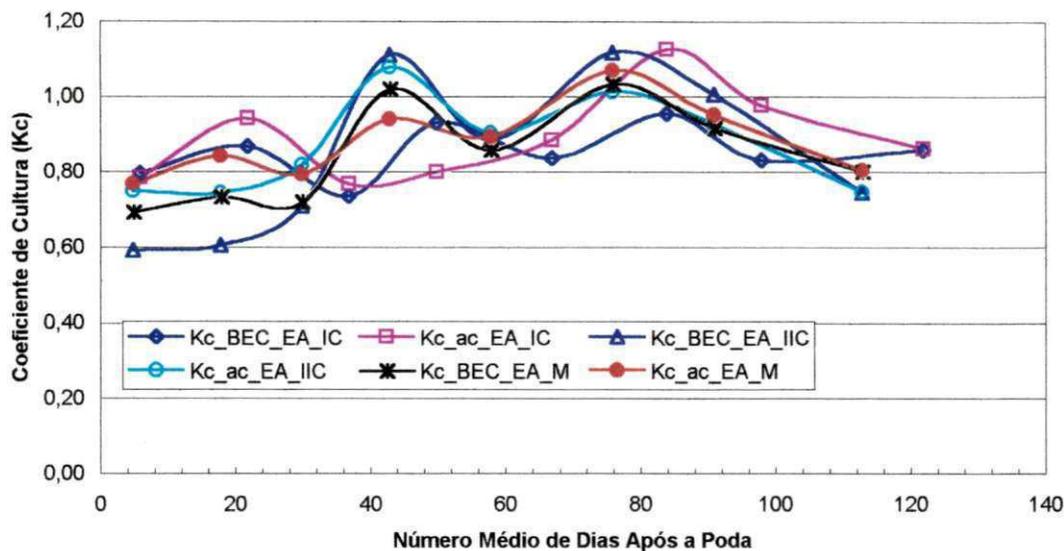


Fig. 4.65. Análise comparativa entre os valores de coeficiente de cultura correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen clássico - Kc_{BEC_EA} e balanço de energia pela razão de Bowen modificado - $Kc_{ac_BEM_EA}$, referente a uma estação agrometeorológica automática, para o 1º ciclo produtivo da videira; b) idem para o 2º ciclo, Petrolina – PE.

de brotação/desenvolvimento vegetativo para o de crescimento dos frutos, quando passou de 0,76 para 0,81, mas a partir daí decresceu para 0,78, por ocasião da maturação/colheita dos frutos.

Ávila Netto *et al.* (2000), determinando o consumo hídrico da videira Itália, sob irrigação por gotejamento, pelo BHS, constataram que a curva que descreve o comportamento de Kc ao longo da fenologia da videira adquiriu o formato de uma parábola côncava, com valores variando entre 0,49 e 0,74.

4.6.2. Coeficiente de Cultura da Videira Estimado pelo Balanço Hídrico no Solo

Nas Figuras 4.67a a 4.69b são mostrados os valores médios de Kc obtidos com base na relação entre os valores de ET_c determinados pelo BHS e os valores de ET_o obtidos pela metodologia de Penman-Monteith com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática, para quatro modalidades de intermitência de irrigação, para cada um dos oito estádios fenológicos da videira, em dois ciclos de cultivo.

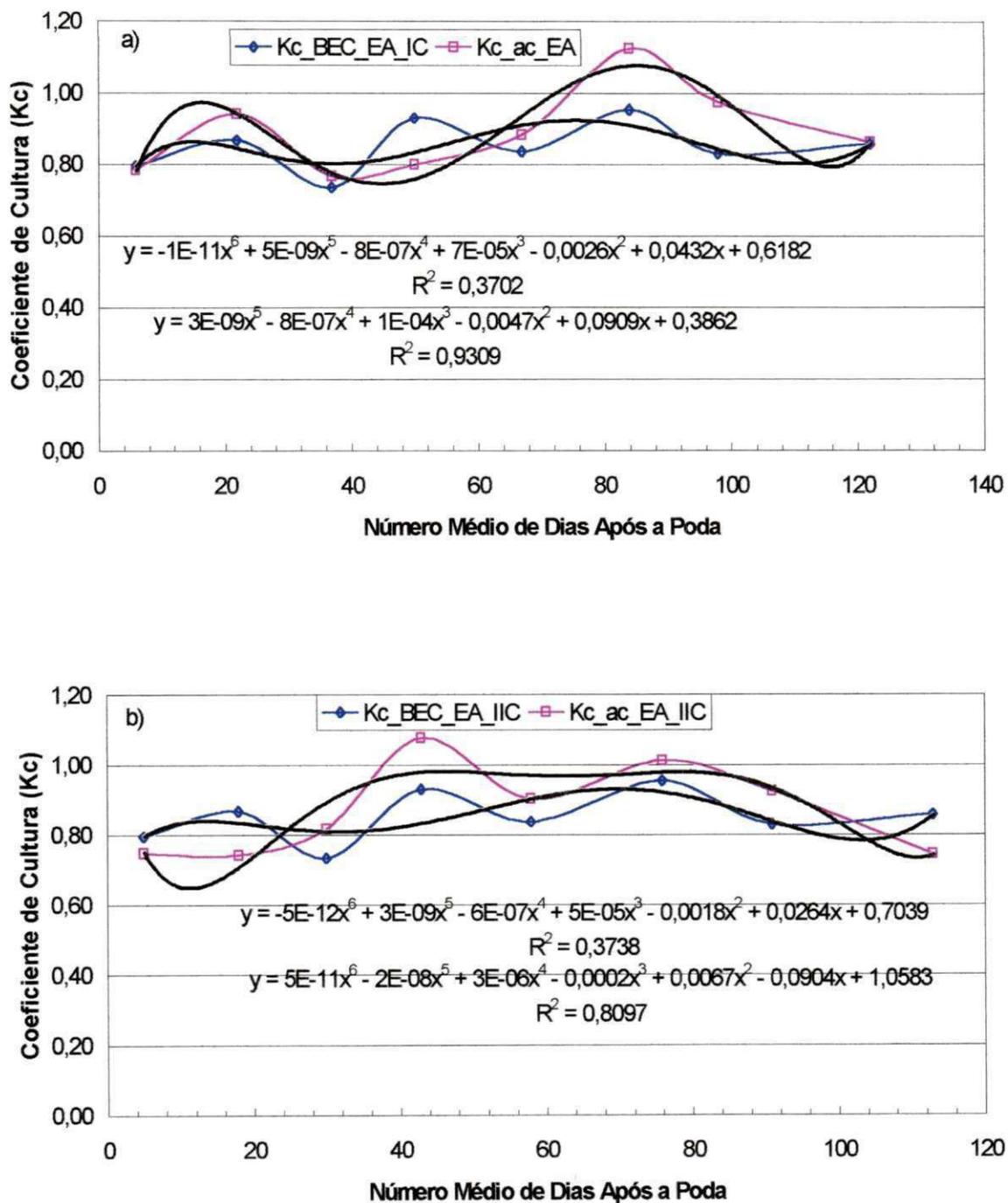


Fig. 4.66. Curvas de coeficiente de cultura correspondente ao: a) balanço de energia pela razão de Bowen clássico - Kc_BEC_EA e balanço de energia pela razão de Bowen modificado de Kc_ac_EA, em relação a uma estação agrometeorológica automática, com respectivas equações polinomiais, para o 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

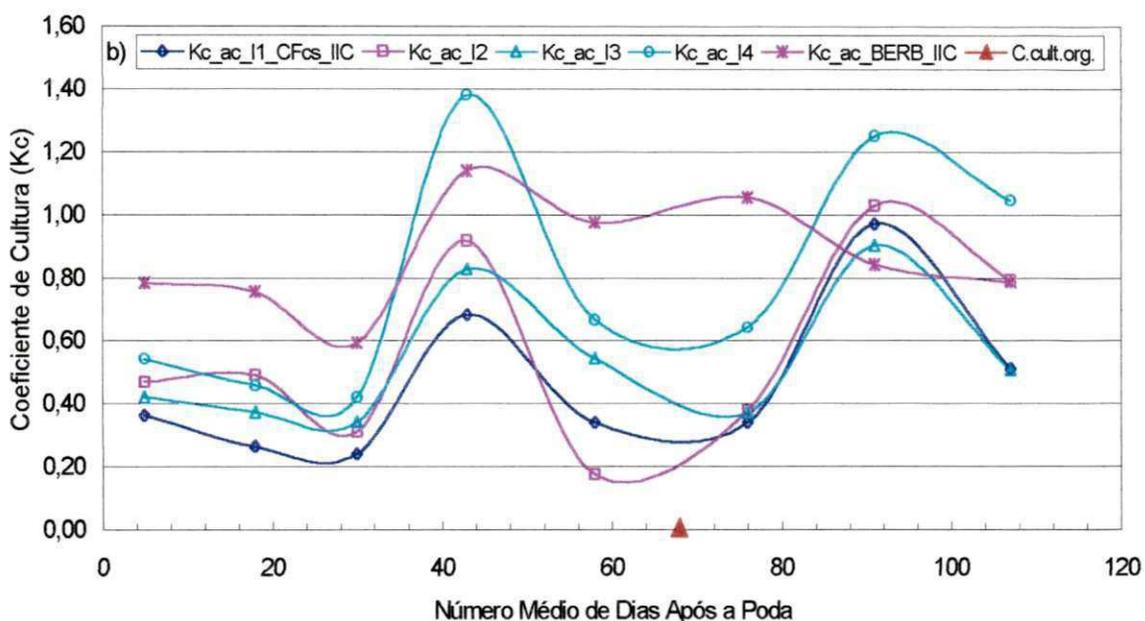
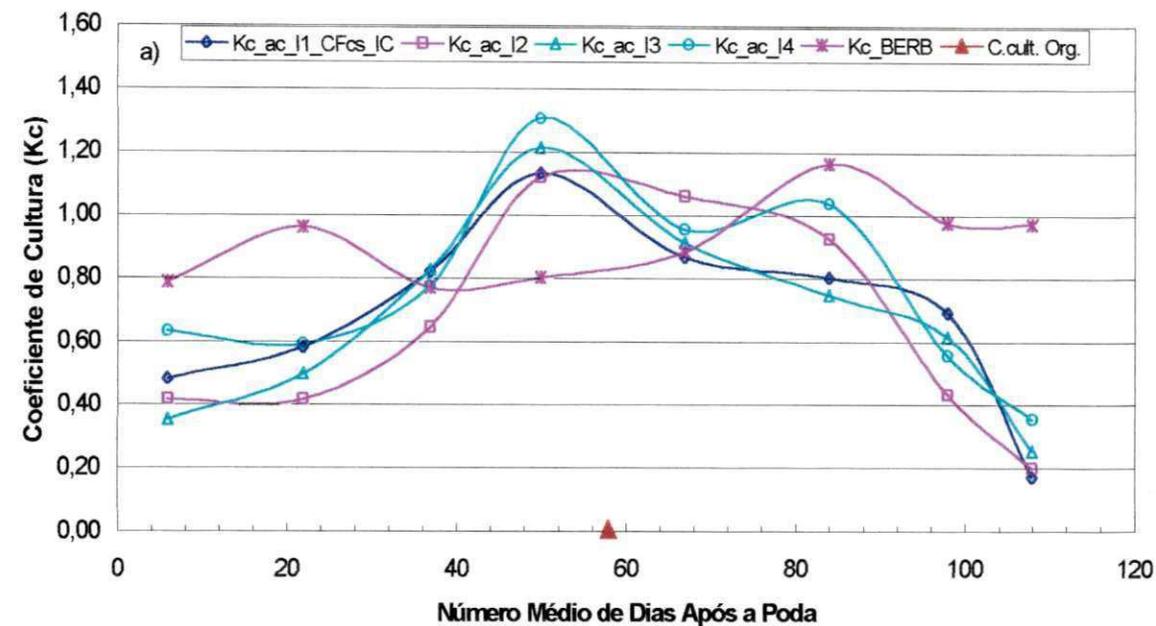


Fig. 4.67. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço hídrico no solo correspondente a: a) intermitência I-1 com fator de do solo – $Kc_{ac_I1_IC_CFcs}$, intermitência I-2 – Kc_{ac_I2} , intermitência I-3 – Kc_{ac_I3} e intermitência I-4 – Kc_{ac_I4} e com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

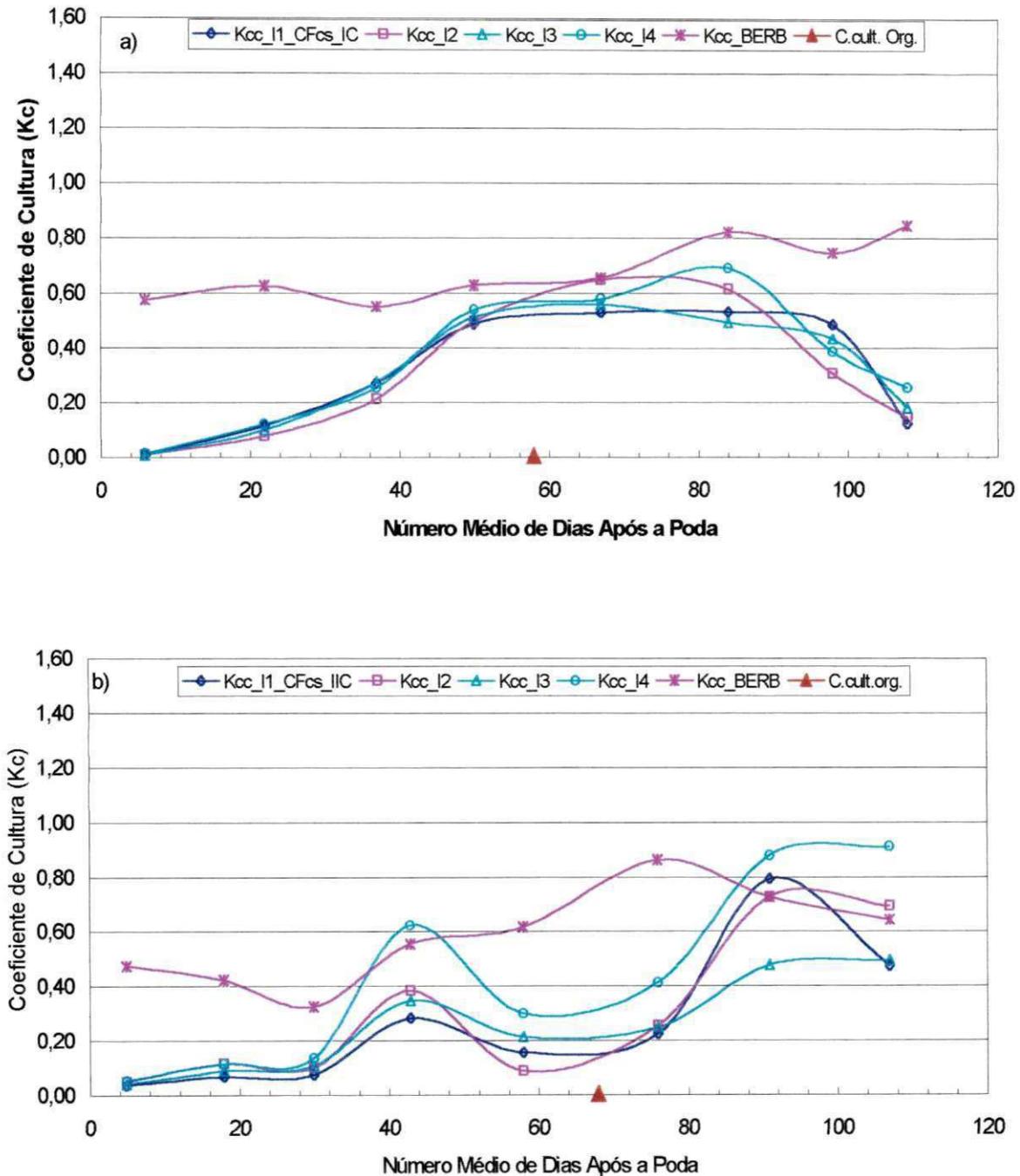


Fig. 4.68. Valores médios de coeficiente de cultura obtidos pelo balanço hídrico no solo correspondente a: a) intermitência I-1 – Kcc_I1_IC_SFcs, intermitência I-2 – Kcc_I2, intermitência I-3 – Kcc_I3 e intermitência I-4 – Kcc_I4 e com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

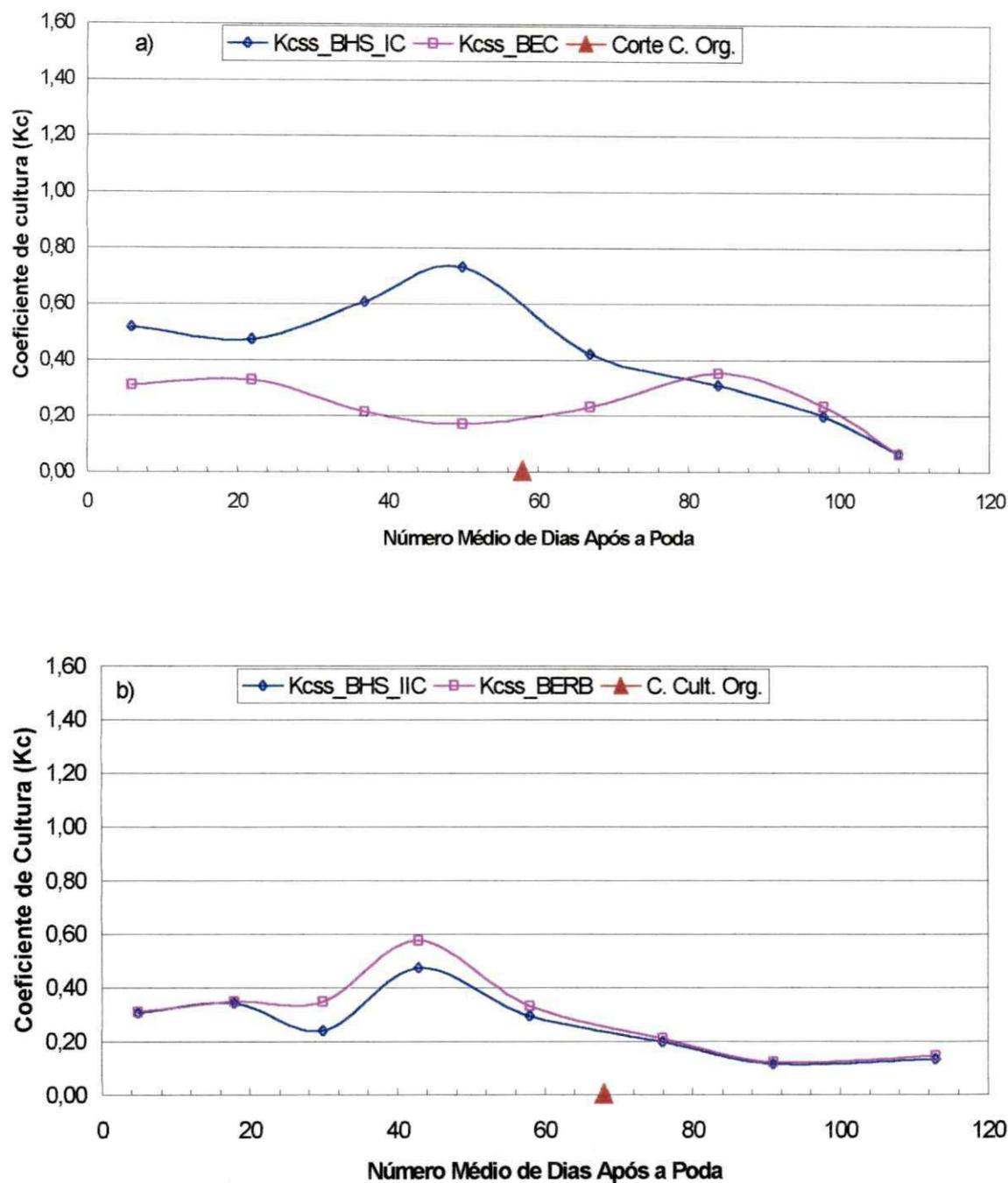


Fig. 4.69. Valores médios de coeficiente de cultura correspondentes ao: a) balanço hídrico no solo – Kcss_BHS_IC e balanço de energia pela razão de Bowen – Kcss_BERB_IC e em dados coletados numa estação agrometeorológica automática relativos ao 1º ciclo e b) idem para o 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

De um modo geral, pode-se constatar que os valores de $(Kc)_{ac_BHS}$ aumentaram acentuadamente, a partir do estágio de PB do 1º ciclo até a 1ªFCF (Figura 4.67a), cujos valores médios, relativos às quatro modalidades de intermitências de irrigação, passaram de $0,54 \pm 0,50$ para $1,19 \pm 0,69$. A partir daí, tenderam a decrescer gradualmente até o RF, cujos valores situaram-se entre $0,14 \pm 0,18$ e $0,25 \pm 0,18$. Quando se consideraram os valores de $(Kc)_{ac_BHS}$ relativos a cada uma das intermitências de irrigação, observou-se que os da intermitência I-4 mostraram-se ligeiramente mais elevados que os das demais, ao longo de quase todos os estádios fenológicos da videira, mas tenderam a diminuir, à medida que se reduzia o número de intermitências. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.67b), pode-se verificar que os valores de $(Kc)_{ac_BHS}$ para as quatro modalidades de intermitências tenderam a decrescer entre os estádios de PB e de PFF, cujos valores médios passaram de $0,45 \pm 0,27$ para $0,33 \pm 0,37$. No estágio seguinte, aumentaram de maneira brusca, alcançando valores máximos médios da ordem de $0,95 \pm 0,78$, que também voltaram a diminuir acentuadamente, em relação ao estágio da PCF, quando foram alcançados os valores mais elevados de $(Kc)_{ac}$, deste ciclo. Daí em diante, tenderam a elevar-se novamente, de modo brusco, tendo alcançado um segundo ponto de máxima, por ocasião da MFF, com valores oscilando entre $0,90 \pm 0,25$ e $1,25 \pm 0,79$, sendo que na seqüência passaram a decrescer novamente. Os valores de $(Kc)_{ac}$ obtidos com base na intermitência I-4 superaram os das demais intermitências para todos os estádios fenológicos da videira, enquanto os obtidos para a intermitência I-1 apresentaram-se como os menores, exceto durante os estádios da 2ªFCF e de RF, em que se mostraram iguais aos de I-3.

Quando se analisa os valores de $(Kc)_{BHS}$ correspondentes ao 1º ciclo produtivo, determinados sem a inclusão do fator de cobertura do solo, o que corresponde ao Kc da copa da videira, ou $(Kc)_{c_BHS}$ (Figura 4.68a), observa-se que eles aumentaram gradualmente até o estágio da 2ªFCF, alcançando o valor máximo médio de $0,58 \pm 0,41$, quando, então, tenderam a decrescer, também de modo gradual até o RF. Para o 2º ciclo (Figura 4.68b), observou-se, também, que os valores de $(Kc)_{c_BHS}$ apresentaram um pequeno aumento entre os estádios de PB e de PFF, mas cresceram acentuadamente durante a 1ªFCF, voltando a decrescer no estágio seguinte, quando, então, aumentaram de maneira brusca, alcançando o valor máximo médio de $0,72 \pm 0,37$, durante a MFF, que se manteve ao longo do repouso fenológico da videira. Pode-se constatar, ainda, que os valores de $(Kc)_{c_BHS}$ correspondentes à intermitência de irrigação I-4 mostraram-se mais elevados do que os das demais modalidades.

Calculando-se as diferenças entre os valores de Kc extraídos da Figura 4.67a, que correspondem ao $(Kc)_{ac_BHS}$ e os valores da Figura 4.68a, que se referem ao $(Kc)_{c_BHS}$, para cada uma das categorias de intermitência de irrigação e em seguida, tomando-se a média dos valores obtidos, para cada um dos estádios fenológicos, obtiveram-se os valores de Kc relativos à superfície do solo ou $(Kc)_{ss_BHS}$, conforme Figura 4.69a, correspondente ao 1º ciclo de cultivo. Procedimento similar foi adotado para as Figuras 4.67b e 4.68b, para se determinar os valores de $(Kc)_{ss_BHS}$, referentes ao 2º ciclo, (Figura 4.69b).

Deste modo, verificou-se que o valor médio de $(Kc)_{ss_BHS}$ para os estádios do PB e de DV do 1º ciclo (Figura 4.69a) manteve-se em torno de $0,50 \pm 0,42$, quando, então, aumentou acentuadamente até a 1ªFCF, alcançando $0,73 \pm 0,42$, sendo que daí em diante passou a decrescer acentuadamente até o início do RF, cujo valor foi da ordem de $0,06 \pm 0,08$. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.69b), o valor de $(Kc)_{ss_BHS}$ situou-se em torno de $0,32 \pm 0,33$, durante os dois primeiros estádios, decresceu para $0,24 \pm 0,35$ no estádio de PFF e aumentou de maneira brusca, alcançando valor máximo médio da ordem de $0,47 \pm 0,57$, sendo que daí em diante, tendeu a decrescer gradualmente até o RF, cujo valor médio foi de $0,13 \pm 0,14$.

Os valores de Kc também foram determinados usando dados tabelados, seguindo-se os procedimentos recomendados pelo manual 56 da FAO (Allen *et al.*, 1998), utilizando-se dados coletados numa estação agrometeorológica automática. Ou seja, os valores de Kc foram da ordem de 0,58, 1,1 e 0,45, correspondentes aos Kc_{in} , $Kc_{méd}$ e Kc_{fin} , referentes ao 1º ciclo de cultivo e de 0,65, 1,1 e de 0,46 referentes ao 2º ciclo.

Portanto, verifica-se que os valores de Kc obtidos utilizando as metodologias do BERB e do BHS podem refletir, integralmente, as exigências hídricas de cada um dos distintos estádios fenológicos da videira, o que não acontece com aqueles determinados com base na metodologia recomendada pelo manual 56 da FAO (Allen *et al.*, 1998). Isto significa, pelo menos para a cultura da videira, que os valores de Kc devem mesmo ser determinados por meio de estudos realizados no local considerado, como sugerido por Doorenbos & Pruitt (1977).

Mohan & Arumugan (1994), determinando o valor de Kc para as culturas de algodão, sorgo e milho em lisímetros, verificaram que as variações obtidas relativas às diferentes estações climáticas foram atribuídas às mudanças naturais do clima entre cada estação, que, também, eram bastante diferentes daqueles obtidos pelo manual 24 da FAO. Quando compararam os valores obtidos para estas culturas com os recomendados pelo

manual 24 da FAO, constataram que os valores de K_c diferiram marcadamente entre si, tornando-se superiores a 40%, no estágio de desenvolvimento inicial, e inferiores a 38%, no estágio de maturação do grão, enquanto que para a cultura do milho, esta diferença superou 67 %, durante a maturação do grão.

Silva *et al.* (2000), estudando o consumo hídrico de duas variedades de videira com seis anos de idade, por meio do balanço hídrico no solo, obtiveram valores de K_c variando entre 0,18 e 1,17, excluindo os valores relativos ao estágio de repouso fenológico.

4.6.3. Comparação entre os Valores de Coeficiente de Cultura da Videira Estimados pelo Balanço de Energia pela Razão de Bowen e pelo Balanço Hídrico no Solo

Quando se faz uma análise comparativa entre as curvas de $(K_c)_{ac_BHS}$ e de $(K_c)_{ac_BERB}$ nas Figuras 4.67a e 4.68b, pode-se observar, para o 1º ciclo produtivo, que os valores de $(K_c)_{ac_BERB}$ apresentaram-se bem mais elevados do que aqueles estimados por meio do BHS, durante os dois primeiros e os três últimos estádios fenológicos da videira. Entretanto, para os estádios de PFF e de PCF, os valores de $(K_c)_{ac_BERB}$ mostraram-se praticamente iguais aos de $(K_c)_{ac_BHS}$. Por ocasião da 1ªFCF, constatou-se que o valor de $(K_c)_{ac_BERB}$ apresentava-se bastante inferior ao de $(K_c)_{ac_BHS}$. Com relação ao 2º ciclo (Figura 4.67b), verificou-se que os valores de $(K_c)_{ac_BERB}$ apresentaram-se, também, bem mais elevados do que os determinados pelo BHS, para os três primeiros estádios fenológicos da videira. Verificou-se, ainda, que os valores de $(K_c)_{ac_BERB}$ mostraram-se praticamente iguais aos $(K_c)_{ac_BHS}$, nos estádios de 1ªFCF, MFF e de RF, sendo que durante a 1ªFCF, ele estava compreendido entre os coeficientes de $(K_c)_{ac}$ correspondentes às intermitências I-2 e I-4, enquanto na MFF situou-se entre os valores das intermitências I-2 e I-3. Para os estádios de PCF e da 2ªFCF, os valores de $(K_c)_{ac_BERB}$, em termos médios, eram até cinco vezes superiores aos de $(K_c)_{ac_BHS}$.

Com relação ao coeficiente de cultura relativo à copa da videira, observou-se, durante o 1º ciclo (Figura 4.68a), que a superioridade dos valores de $(K_c)_c_BERB$ destacava-se ainda mais, quando comparado com os de $(K_c)_c_BHS$ para todos os estádios, exceto para o estágio da PCF, em que estas modalidades de coeficientes tornaram-se praticamente iguais. Quando se considera ao 2º ciclo (Figura 4.68b), observa-se o mesmo nível de supremacia dos valores de $(K_c)_c_BERB$ em relação aos de $(K_c)_c_BHS$, exceto para os estádios da 1ªFCF, MFF e RF, em que seus valores tornaram-se praticamente iguais, situando-se

entre os valores de K_{cc} correspondentes às intermitências de irrigação I-2 e I-4, durante a 1ªFCF e bastante próximos aos da intermitência I-2, durante a MFF e RF.

Quando se compararam os coeficientes de cultura correspondentes à superfície do solo para o 1º ciclo (Figura 4.69a), constatou-se que os valores de $(Kc)_{ss_BERR}$ mostraram-se bastante inferiores aos de $(Kc)_{ss_BHS}$, principalmente nos estádios de PFF e da 1ªFCF. No entanto, tornaram-se bastante próximos ao longo dos três últimos estádios fenológicos da videira. No que se refere ao 2º ciclo (Figura 4.69b), as diferenças encontradas entre essas duas modalidades de coeficiente de cultura tornaram-se desprezíveis ao longo de todos os estádios fenológicos da videira.

Além das explicações apresentadas no item 4.4.2.2, referentes à obtenção destes resultados, pode-se constatar que as maiores discrepâncias estão associadas aos coeficientes de cultura relativos à copa da videira, especialmente nos estádios com menores valores de IAF, o que pode ser uma grande falha da metodologia do balanço de energia pela razão de Bowen, proporcionando a obtenção de elevados valores de Kc , pelo menos, para os estádios de PB e de DV da videira.

Portanto, verifica-se que os valores de Kc estão intrinsecamente relacionados com as peculiaridades específicas de cada metodologia, com a precisão dos instrumentos utilizados, com o manejo de água e as práticas culturais adotadas e com as condições ambientais reinantes no período em que os ciclos de produção da videira são conduzidos.

Diante disto, para obtenção de um manejo de água otimizado de uma cultura considerada, sob irrigação por gotejamento, recomenda-se a potencialização da eficiência de irrigação, a adoção da técnica da intermitência do tempo de irrigação em solos de textura arenosa, bem como o monitoramento das perdas de água por percolação abaixo da profundidade efetiva da raiz.

Doorenbos & Pruitt (1977), estudando o consumo hídrico da videira variedade Concord (*Vitis labrusca*), por meio do balanço hídrico no solo, em relação à evapotranspiração da grama, obtiveram coeficientes de cultura variando entre 0,35 e 0,90 para o período de abril a meados do verão, para áreas com inverno frio. James *et al.* (1982), citados por Evans *et al.* (1993), recomendaram, basicamente, estes mesmos coeficientes para os parreirais de *Vitis labrusca* e *Vitis vinifera* localizados na região Sul-Central de Washington.

Evans *et al.* (1990), citados por Evans *et al.* (1993), apresentaram coeficientes de cultura semanais baseados no tanque classe A, para a região de Washington, que variaram de 0,03, no início da primavera, a 0,62 na fase de maturação da uva.

Soares & Costa (2000) mencionam que os valores mais elevados de Kc para a cultura da videira *Itália*, ocorrem nos estádios da 1^aFCF e 2^aFCF e que oscilam em torno de 0,74 e de 0,90, intercalados por uma redução significativa durante a PCF, que varia entre 0,50 e 0,60. Isto reforça o formato senoidal obtido para a curva de Kc, que está de acordo com Mathews & Anderson (1989), que mencionam que a 1^aFCF é caracterizada pela divisão celular, enquanto a 2^aFCF pelo aumento do volume das células, e que ambas são extremamente sensíveis ao déficit de água no solo.

4.7. Produtividade

A produtividade média de uva obtida compreendendo as quatro modalidades de intermitências de irrigação foi da ordem de $5,16 \pm 0,63 \text{ t.ha}^{-1}$, relativa ao 1^o ciclo de produção da videira, que corresponde a uma produtividade anual da ordem de $10,32 \text{ t.ha}^{-1}$. Considerando que a idade das videira neste ciclo era de 2,5 anos, a produtividade obtida está dentro do padrão esperado para o 1^o ciclo de produção. No entanto, durante o 2^o ciclo, a ocorrência de chuvas contínuas coincidentes com estágio de plena floração, condicionou a perda total dos frutos, em decorrência do abortamento das flores e da incidência de doenças fúngicas. A produtividade esperada era, pelo menos, duas vezes maior do que aquela obtida no 1^o ciclo.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Com base nos resultados obtidos a partir do estudo de campo realizado em um parreiral com a variedade de uva *Festival*, com três anos de idade, localizado no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina - PE, chegaram-se às seguintes conclusões:

- A subdivisão do sistema “copa-solo” em dois subsistemas distintos - “copa” e “superfície do solo” - proporcionou a obtenção de valores de coeficientes de cultura praticamente iguais aos obtidos por meio do balanço de energia pela razão de Bowen clássico, além da vantagem de fornecer valores de coeficientes de cultura específicos para a copa da videira, bem como para a superfície do solo;
- Verificou-se que os valores dos coeficientes de cultura da videira, determinados com base no balanço hídrico no solo para a intermitência de irrigação de nível quatro, superaram os estimados para as demais intermitências, em quase todos os seus estádios fenológicos e tenderam a diminuir, à medida que se reduzia o número de intermitências, tendo os valores obtidos para intermitência de nível um, apresentado-se como os menores;
- Constatou-se que os valores dos coeficientes de cultura da videira estimados, por meio do balanço de energia modificado pela razão de Bowen, apresentaram-se bem mais elevados do que aqueles estimados por meio do BHS, apenas durante os

estádios fenológicos com menor cobertura do solo e praticamente iguais em quase todos os demais estádios;

- Constatou-se que o aumento do número de intermitências de irrigação condicionou uma redução significativa das perdas de água por percolação profunda. Ou seja, as reduções obtidas em relação à testemunha foram da ordem de 20,46, 46,26 e de 79,80%, correspondentes às intermitências de níveis dois, três e quatro, respectivamente, para dois ciclos de produção;
- Verificou-se que os valores da ETC acumulados da videira, determinados pelo balanço de energia modificado, foram da ordem de 496,87 e de 472,81 mm, correspondentes ao 1º e 2º ciclos, respectivamente, enquanto o valor médio estimado pelo balanço hídrico no solo para o 1º ciclo oscilou em torno de $435,35 \pm 32,06$ mm. Porém, no 2º ciclo, este tipo de comparação foi severamente prejudicada pela ocorrência excessiva de chuvas.

5.2. Recomendações

- A aquisição de equipamentos do tipo Time Domain Reflectometry –TDR, visando o monitoramento do conteúdo de água no solo com maior nível de precisão;
- A realização da segunda etapa deste trabalho, que contempla a aplicação dos valores de Kc obtidos, levando-se em consideração as quatro modalidades de intermitências de irrigação, visando a quantificação das perdas de água de drenagem e dos nutrientes lixiviados;
- Realização de estudos específicos relativos à razão de Bowen, principalmente em áreas irrigadas, visando a eliminação de problemas que têm afetado os resultados do balanço de energia pela razão de Bowen..

ABSTRACT

This study was carried out at Bebedouro Experiment Station of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa Semi-Arid), Petrolina, Pernambuco State, Brazil, with the objectives of determining daily water requirement and crop coefficient of a three-year old seedless grapevine (*Vitis vinifera* L.), cv. Festival, during eight phenological stages: 1. budding period; 2. vegetative development; 3. pre and full flowering; 4. first phase of fruit growth; 5. pause of fruit growth; 6. second phase of fruit growth; 7. final fruit ripening, and 8. phenological rest, throughout two productive cycles, using two different methodologies: Bowen Ratio Energy Balance (BREB), applied to the "canopy-soil", "canopy" and "soil-surface" systems, and Soil Water Balance (SWB), involving four levels of irrigation intermittences (I1, I2, I3 and I4). The results showed that: a) the subdivision of the "canopy-soil" system into two distinct subsystems, "canopy" and "soil-surface", gave crop coefficient values about the same as those obtained by the BREB method, besides furnishing crop coefficient values specific for grape canopy and soil evaporation; b) the crop coefficient values for grapes, determined by SWB, for the intermittence I4, overcame the values for the other intermittences in almost all the phenological stages, tending to decrease as the number of intermittences was reduced, being the coefficients for intermittence I1 the smallest ones; c) the crop coefficient values for grapes, estimated using the modified energy balance by Bowen Ratio, were much higher than those estimated by SWB only during the phenological stages with less soil cover and almost the same in the other stages; d) increasing the number of irrigation intermittences resulted in a significant reduction of water losses through deep percolation, i.e., the reductions compared to control were 20.46%, 46.26% and 79.80%, corresponding, respectively, to intermittences I2, I3 and I4 for the two productive cycles; e) the accumulated evapotranspiration values for grapes, determined by the modified energy balance, were 496.87 and 472.81 mm, corresponding, respectively, to first and second cycles, while the mean value estimated by SWB for the first cycle was around 435.35+32.06 mm. However, for the second cycle, this kind of comparison was impossible due to excessive rainfall.

6. LITERATURA CITADA

ABENNEY-MICKSON, S.; YOMOTA, A ; MIURA, T. water balance of field plots planted soybean and pumpkin. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 899-909, 1997.

ABDULMUMIN, S.; MISARI, S. M. Crop coefficients of some major crops of the Nigerian semi-arid tropics. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 18, p. 159-171, 1990.

AGRIANUAL. São Paulo: FNP, p. 424-435, 1997.

AGRIANUAL. São Paulo: FNP, p. 524-536, 2002.

AL-KHAFRAF, S.; WIERENGA, R. J. WILLIAMS, B. C. Evaporation flux from irrigated cotton as related to leaf area index, soil water and evaporative demand. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, p. 912-917, 1978.

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

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

ALLEN, R. G.; SMITH, M. ; PERIER, A. et al. An Update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43 n. 2, p. 1-31, 1994b.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Roma FAO, 1998. 300p. il (FAO. Irrigation and Drainage. Paper; 56).

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

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

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

ASSIS, J. S.; BASSOI, L. H.; LIMA FILHO, J. M. P.; RIBEIRO, H. A.; SILVA, M. R. da **Suspensão da irrigação na pré-colheita da uva Itália e sua conservação pós-colheita**. Petrolina, PE: [s.n.], 1996. 9 p.

AVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. da; SOARES, J. M.; TEIXEIRA, A. de C. Exigências hídricas da videira na região do Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1559-1566, ago. 2000.

AZEVEDO, P. V.; RAMANA RAO, T. V.; AMORIM NETO, M. S.; PEREIRA, J. R. C.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. & MACIEL, G. F. Necessidades hídricas da cultura do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28. n.7, p. 863-870, julho 1993.

BAKER, J. M.; ALLMARAS, R. R. System for automating and multiplexing soil moisture measurement by time domain reflectometry. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 1-6, 1990.

BAUSCH, W. C. and BERNARD, T. M. Spatial avering Bowen ratio system: description and lysimeter calibration. **Transactions ASAE**, St. Joseph, v 35, p. 121-128, 1992.

BERLINER, P. R.; OOSTERHUIS, D. M. Effect of root and water distribution in lisimeters and in the field on the onset of crop water stress. **Irrigation Science**, New York, v. 8, p. 245-255, 1987.

BERTUZZI, P.; BRUCKLER, L.; BAY, D.; CHANZY, A. Sampling strategies for soil water content to estimate evapotranspiration. **Irrigation Science**, New York, v. 14, p. 105-115, 1994.

BLAD, B. L.; ROSEMBERG, N. J. Lisimetric calibration of the Bowen Ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation in the Central Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 13, p. 227-236, 1974.

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.

BRAKKE, T. W.; VERMA, S. B.; ROSENBERG, N. J. Local and regional components of sensible heat advection. **American Meteorological Society**, Boston, v. 17, p. 955-963, 1978.

BURBA, G. G.; VERMA, S. B.; KIM, J. Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 94, p. 31-51, 1999.

BURROUGH, P. A. Matching spatial databases and quantitative models in land resource assessment. **Soil Management**, v. 5, p. 3-8, 1989.

BRAVDO, B.; HEPNER, Y.; LOINGER, C.; COHEN, C.; TABACMAN, H. Effect on irrigation and crop level on growth yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 36, p. 132-139, 1985.

CELLIER, P.; BRUNET, Y. Flux-gradient relationships above tall plant canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 58, p. 93-117, 1992.

CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 66, p. 81-92, 1993.

CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 173-179, 1997.

CESARACCIO, C.; SNYDER, R. L.; SPANO, D.; DUCE, P. A new method for estimating hourly temperature and degree-days. In. CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 24th; CONFERENCE ON BIOMETEOROLOGY AND AEROBIOLOGY, 14th, 2000. Davis, **Proceedings...**, Davis. American Meteorological Society, 2000. p. 34-35.

CHIEW, F. H. S.; KAMALADASA, N. N.; MALANO, H. M. et al. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 28, p. 9-21, 1995.

CLARK, G. A.; ALBREGTS, E. E.; STANLEY, C. D. et al. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n.3, p. 905-912, 1996.

COSTA, S. N. da. **Desenvolvimento de um modelo computacional para simular o transporte de água e solutos no solo sob condições de escoamento não-permanente na vertical**. 1998. 145f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CRAGO, R.; BRUSTSAERT, W. Daytime evaporation and the self-preservation of the evaporative fraction and the Bowen ratio. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 178, p. 241-255, 1996.

CULF, A D.; ALLEN, J. H. C. GASH, C. R. et al. Energy and water budgets of an area of patterned woodland in the Sahel. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.66, p. 65-80, 1993.

CUNHA, G. R; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. et al. Balanço de energia em cultura de milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14, 1996.

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, p. 171-183, 1999.

DENMEAD, O. T.; McLLROY, I. C. Measurements of non-potential evaporation from wheat. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 7, p. 285-302, 1970.

DENMEAD, O. T. Plant physiology methods for studying Evapotranspiration: problems of telling the forest from the trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 167-189, 1984.

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO. 1979. 193p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 33).

DOORENBOS, J; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2 ed. Rome: FAO, 1977. 156p. (Irrigation and Drainage. Paper, 24).

DUGAS, W. A.; FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W.; HELD, A. A.; MATTIAS, A. D.; REICOSKY, D. C.; STEDUTO, P.; STEINER, J. L. Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent flux over irrigated spring wheat. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam. v. 56, p. 1-20, 1991.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária. **SIARCS 3.0 para windows**: manual do usuário. São Carlos, [s.d.]. 30 p. il.

EVANS, R. G.; SPAYD, S. E.; WAMPLE, R. L; KROEGER, M. W.; MOHAM, M. O. Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 109-124, 1993.

FELTON, G. K.; NIEBER, J. L. Four soil moisture characteristic curve functions evaluated for numerical modeling of sand. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 34, n. 2, p. 417-422, 1991.

FRITSCHEN, L. J.; SIMPSON, J. R. Surface energy and radiation balance systems: general description and improvements. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 28, p. 680-689, 1989.

FUCHS, M.; TANNER, C. B. Error analysis of Bowen ratios measured by differential psychrometry. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 7, p. 329-334, 1970.

GARDNER, W. R.; MIKLICH, F. J. Unsaturated conductivity and diffusivity measurements by a constant flux method. **Soil Science**, Maryland, v. 93, p. 271-274, 1962.

GARRAT, J. R. The measurement of evaporation by meteorological methods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 8, p. 99-117, 1984.

GAY, L. W. A portable Bowen ratio system for evapotranspiration measurements. In: **Proceeding National Conference of Irrigation and Drainage Division**. American Society Civil Engineering. New York, p. 625-632, 1988.

GRIMES, D. W.; WILLIAMS, L. E. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. **Crop Science**, Madison, v, 30, p. 255-260, 1990.

HAM, J. M.; HEILMAN, J. L. Aerodynamic and surface resistances affecting energy transport in a sparse crop. **Agricultural and Forest meteorology**, Amsterdam, v. 53, p. 267-284, 1991.

HAWLEY, M. E.; McCUEN, R. H.; JACKSON, T. J. Volume accuracy relationship in soil moisture sampling. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York. v. 108, n. 1, march, p. 1-11, 1982.

HEILMAN, J. L.; BRITTIN, C. L.; NEALE, C. M. U. Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 4, p. 261-273, 1989.

HEILMAN, J. L.; McINNES, K. J.; SAVAGE, M. J.; GESCH, R. W.; LASCANO, R. J. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, p. 99-114, 1994.

HEIMOVAARA, T. J.; BOUTEN, W. A computer-controlled 36-channel time-domain reflectometry system for monitoring soil water contents. **Water Resource Research**, Washington, v. 26, n.10, p. 2311-2316, 1990.

HENDRICKX, J. M. H.; WIERENGA, P. J.; NASH, M. S. Variability of soil water tension and water content. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.18, p. 135-148, 1990.

HERKELRATH, W. N.; HAMBURG, S. P.; MURPHY, F. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time-domain reflectometry. **Water Resource Research**, Washington, v. 27, p. 857-864, 1991.

HUTSON, J. L.; CASS, A. A retentivity function for use in soil-water simulation models. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 38, p. 105-113. 1987.

IRVINE, M. R.; GARDINER, B. A.; MORSE, A. P. Energy partitioning influenced by tree spacing. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 39, p. 211-224, 1998.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York. American Society of Civil Engineers, 332p. 1990.

KARMELI D.; PERI, G. Basic principles of pulse irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 100, n. 3, set., p. 309-319, 1974.

KEISLING, T. C.; DAVIDSON, J. M.; WEEKS, D. L.; MORRISON, R. D. Precision with which selected soil physical parameters can be estimated. **Soil Science**, Maryland, v. 124, n. 4, p. 241-248, 1977.

KLIEWER, W. M.; FREEMAN, B. M.; HOSSOM, C. Effect of irrigation, crop level and potassium on Carignane vines. I. Degree of water stress, and effect on growth and yield. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 34, p. 186-196, 1983.

KONZELMANN, T.; CALANCA, P.; MÜLLER, G. et al. Energy balance and evapotranspiration in a high mountain area during summer. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 36, n. 1, p. 966-973, 1997.

LANG, A. R. G. Measurement of evapotranspiration in the presence of advection, by means of a modified energy balance procedure. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 75-81, 1973.

LASCANO, R. J.; BAUMHARDT, ...; LIPE, W. N. Measurement of water flow in young grapevines using the stem heat balance method. **American Journal Enology and Viticulture**. Davis, v. 43, n. 2, p.159-165, 1992.

LEENHARD, D.; VOLTZ, M.; BORNAND, M. Propagation of the error of spatial prediction of soil properties in simulating crop evapotranspiration. **European Journal Soil Science**. v.45, p. 303-310, 1994.

LEVIN, I.; VAN ROOYEN, P. C.; VAN ROOYEN, F. C. The effect of discharge rate and intermittent water application by point-source irrigation on the soil moisture distribution pattern. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 43, p. 8-16, 1979.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Física e Meteorologia, 1995. 497 p.

LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. 1999. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. B. da; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. da; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; SOBRINHO, J. E. Balanço de Energia num pomar de mangueira irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n.1, p. 1-8, 2001.

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

MALEK, E.; BINGHAM, G. E.; McCURDY, G. D. Evapotranspiration from the margin and moist playa so closed desert valley. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 120, p. 15-34, 1990.

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

MARTIN, E. C.; LOUDON, T. L.; RITCHIE, J. T.; WENER, A. Use of drainage lisimeters to evaluate nitrogen and irrigation management strategies to minimize nitrate leaching in maize production. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 1, p. 79-83, 1994.

MASSMAN, W. J. A surface energy method for partitioning evapotranspiration data into plant and soil components for a surface with partial canopy cover. **Water Resources Research**, Washington, v. 28, n. 6, p. 1723-1732, 1992.

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

MATHEUS, M. A.; ANDERSON, M. M. Pipping in *Vitis vinifera* L.: Response to seasonal water deficits. **American Journal Enology and Viticulture**, Davis, n. 1, v. 40, p. 52-60, 1989.

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

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

MOHAN, S.; ARUMUGAM, N. Crop coefficients of major crops in south India. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 26, p. 67-80, 1994.

MOURA, M. S. B. de. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guajava* L.) irrigada**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MUALEM, Y. A conceptual model of hysteresis. **Water Resource Research**, Washington, v. 10, n.3, p. 514-520, 1974.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, Washington, v. 12, n.3, p. 513-522, 1976.

MUALEM, Y. A modified dependent-domain theory of hysteresis. **Soil Science**, Maryland, v. 137, p. 283-291, 1984.

NIE, D.; FLITCROFT, I. D.; KANEMASU, E. T. Performance of Bowen ratio systems on a slope. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 165-181, 1992.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W.; ERH, K. T. Spatial variability of field-measured soil-water properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 42, n. 7, p. 215-260, 1973.

OHMURA, A. Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 21, n. 4, p. 595-598, 1982.

OLIVEIRA, G. M. **Adveção sobre um cultivo de amendoim irrigado**. 1998. 111 f il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

OLIVER, H. R.; SENE, K. J. Energy and water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, p. 167-185, 1992.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; ENGLISH, M. et al. Hourly grass evapotranspiration in modified maritime environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 121, n. 6, p. 369-373, 1995.

PAULETTO, E. A.; LIBARDI, P. L.; MANFRON, P. A. et al. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 189-195, 1988.

PEACOCK, W. L.; CHRISTENSEN, L. P.; ANDRIS, H. L. Development of drip irrigation schedule for average-canopy vineyards in San Joaquin Valley. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 38, p. 113-119, 1987.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118-143. jun. 1997.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M. et al. Assessment of reliability of Bowen ratio partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. **Análise de coeficientes de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1991. 24p. (EMBRAPA-CPATSA, Boletim de Pesquisa, 41).

PLAUBORG, F. Evaporation from bare soil in a temperate humid climate-measurement using micro-lysimeters and time domain reflectometry. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 1-17, 1995.

POLISELI, P. C.; PREVEDELLO, C. L. Avaliação experimental de um modelo numérico para o processo de redistribuição da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 203-210, 1999.

PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L.; KRISTIAN AASE, J; PIKUL JUNIOR, J. L. Agroclimatology: Bowen ratio comparisons lysimeters Evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 730-736, 1997.

RANA, G.; LOSAVIO, N.; VENEZIAN SCARASCIA, M. Crop evapotranspiration measured by two energy balance methods under Mediterranean climate. **Acta Horticulturae**. n. 278, p. 517-524, 1990.

RANA, G.; KATERJI, N. Measurement and estimation of actual Evapotranspiration in the field under Mediterranean climate. a review. **European Journal of Agronomy**. v. 13, p. 125-152, 2000.

RAWLINS, S. L. Principles of managing high frequency irrigation. **Soil Science Society of the America Journal**, Madison, v. 37, p. 626-627, 1973.

REEDY, 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. EMBRAPA-CPATSA, 1983. 280p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo. Fundação Cargill, 1985. 445p.

REYNOLDS, A. G. E.; NAYLOR, A. P. Pinot noir and Reselling grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity. **Hortscience**, Alexandria, n. 12, v. 29, p. 1505-1510, 1994.

RICHARDS, L. A. Capillary conduction of liquids through porous medium. **Physics**, v. 1, p. 318-333, 1931.

ROGOWSKI, A. S.; JACOBY, E. L. Assessment of water loss patterns with microlysimeters. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 419-424, May/June, 1977.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L. ; VERMA, S. B. Microclimate: The biological environment. 2. ed. Lincoln J. Wiley, 1983. 495 p.

ROSSET, M.; RIEDO, M.;GRUB, A. et al. Seasonal variation in radiation and energy balances of permanent pastures at different altitudes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 86, n. 1, p. 245-258, 1997.

ROTH, K; SCHULIN, R; FLUEHLER, H.; ATTINGER, W. Calibration of time domain reflectometry for water content measurements using a composite dielectric approach. **Water Resource Research**, Washington, v. 26, p. 2267-2273, 1990.

SADDIQ, M. H.; WIERENGA, P. J.; HENDRICKX, J. M. H.; HUSSAIN, M. Y. Spatial variability of soil-water tension in an irrigated soil. **Soil Science**, Maryland, v. 140, n. 2, p. 126-132, 1985.

SAMMIS, T. W.; MAPEL, C. L.; LUGG, D. G.; LANSFORD, R. R.; MCGUCKIN, J. T. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 28, p. 773-780, 1985.

SENE, K. J. Parameterizations for energy transfers from a sparse vine crop. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 71, p. 1-18, 1994.

SEPASKHAH, A R.; KASHEFIPOUR, S. M. Evapotranspiration and crop coefficient of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water management**, Amsterdam, v. 27, p. 331-340, 1995.

SILANS, A. P.; MONTENY, B. A.; LHOMME, J. P. The correction of soil heat flux measurements to derive an accurate surface energy balance by the Bowen ratio method. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 1/4, p. 453 – 465, 1997.

SILVA, B. B. da; SLACK, D. C.; KILBY, M. W.; HLA, A K. Water requirements of table grapes in arid site. In: CONFERENCE ON AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY, 24th, 2000, Davis. **Proceedings...** Davis: American Meteorological Society, 2000. p. 20-21.

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 129 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

SINCLAIR, T. R.; ALLEN, L. H.; LEMON, E. R. An analysis of errors in the calculation of energy flux densities above vegetation by Bowen-ratio profile method. **Boundary-Layer Meteorology**, Dorecht, v. 8, p. 19-139, 1975.

SINGH, R. V.; CHAUHAN, H. J. irrigation scheduling in wheat under shallow water table conditions. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1996, San Antonio, Texas. **Evapotranspiration and irrigation scheduling: proceedings**. San Antonio, Texas: American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, 1996. p. 104 – 109,

SINGH, B.; TAILLEFER, R. The Effect of synoptic-scale advection on the performance of the Priestly-Taylor Evaporation Formula. **Boundary-Layer Meteorology**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 267-282, 1986.

SMART, R. E.; COOMBE, B. G. Water relations of grapevines. In: **KOLLOWSKI, T.T. (ed.) Water deficits and plant growth**. v. VII New York: Academic Press, 1983. p. 137-196.

SMITH, M.; ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1996, San Antonio, Texas. **Evapotranspiration and irrigation scheduling: proceeding**. San Antonio, Texas: American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, 1996. p. 116-123.

SOARES, J. M.; LIMA, M. I.; CORDEIRO, G. G.; PEREIRA, J. R.; NASCIMENTO, T.; BARRETO, D. S. B. Monitoramento do manejo de água e nutrientes em videira sob irrigação por gotejamento na Fazenda Boa Esperança. In: Soares, J. M. et al. **Rede de Cooperação Técnica entre a EMBRAPA-CPATSA/Fazenda Boa Esperança: relatório técnico de atividades de pesquisas desenvolvidas na cultura da videira e da mangueira**. Petrolina, PE. EMBRAPA-CPATSA, 1997. Não paginado. Não publicado.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F da. Irrigação da cultura da videira. In: SOUZA LEÃO, P. C. de ; SOARES, J. M. (Ed.). **A Viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 147-212.

SOUZA LEÃO, P. C. Principais variedades. In: SOUZA LEÃO, P. C. de SOARES, J. M. (Ed.). **A Viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p.58.

SPANO, D.; SNYDER, R. L.; DUCE, P.; PAW U, K. T. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam. v. 104, p. 171-183, 2000.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C. Maize canopies under two soil water regimes IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 215-228, 1998.

TANNER, C. B. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v. 24, p. 1-9, 1960.

TAYLOR, S. A. Field determination of soil moisture. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 35, n. , p. 654-659, 1955.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LIMA FILHO, J. M. P. Relações entre o índice de área foliar e radiação solar na cultura da videira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.2, p. 143-146, 1997.

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B da; SOARES, J. M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n. 2, p. 137-141, 1997.

TEIXEIRA, A. H. de C. Relação entre a radiação solar global e insolação no município de Petrolina – PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. p. 198-802.

TODD, R. W.; EVETT S. R.; HOWELL, T. A. Latent heat flux of irrigated alfalfa measured by weighing lysimeter and Bowen ratio-energy balance. In: ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 1998, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE. p. 1-19, 1998.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L. Measurement of soil water using time-domain reflectometry (TDR). **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, p. 19-24, 1985.

TRAMBOUZE, W.; BERTUZZI, P.; VOLTZ, M. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 91, p. 193-208, 1998.

UNLAND, H. E.; HOUSER, P. R.; SHUTTEWORTH, W. et al. Surface flux measurement and modeling at a semi-arid sonoran desert site. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 82, p. 119-153, 1996.

van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p.892 - 898, 1980.

VAUCLIN, M.; HAVERKAMP, R. VACHAUD, G. Error analysis in estimating soil water content from neutron probe measurements. 2. Spatial standpoint. **Soil Science**, Maryland, v. 137, n. 3, p. 141-148, 1984.

VERMA, S. B.; ROSEMBERG, N. J.; BLAD, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 17, p. 330-338, 1978.

VIEIRA, S. R.; CASTRO, O. M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 87-90, 1987.

VILLAGRA, M. M.; BACCHI, O. O. S.; TUON, R. L. et al. Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, n. 1, p. 317-325, 1995.

WALLACE, J. S.; LLOYD, C. R.; SIVAKUMAR, M. V. K. Measurements of soil, plant and total evaporation from millet in Niger. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 63, p. 49-169, 1993.

WALLACE, J. S. Calculating evaporation: resistance to factors. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 73, p. 353 - 366, 1995.

YEH, T. C.; GELHAR, L. W.; GUTJAHR, A. J. Stochastic analysis of unsaturated flow in heterogeneous soils. II. Statistically anisotropic media. **Water Resource Research**, Washington, v. 21, p. 457-464, 1985.

ZEGELIN, S. J.; WHITE, I.; JENKINS, D. R. Improved field probes for soil-water content and electrical conductivity measurement using time-domain reflectometry. **Water Resource Research**, Washington, v. 25, n.11, p. 2367-2376, 1989.

ZANG, L.; LEMEURE, R. Evaluation of daily evapotranspiration estimates from instantaneous measurements. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 74, p.139-154, 1995.

ZHANG, R.; van GENUCHTEN, M.T. New models for unsaturated soil hydraulic properties. **Soil Science**, Maryland, v. 58, n. 2, p. 77-85, 1994.

ZHAO, W. G.; BERLINER, P. R.; ZANGVIL, A. CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; YODER, R. E. Heat storage terms in evapotranspiration estimation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1996, san Antonio, Texas. **Evapotranspiration and irrigation scheduling**: proceedings. San Antonio, Texas, 1996. p. 34-41.

ZUR, B. The pulsed irrigation principle for controlled soil wetting. **Soil Science**, Maryland, v. 122, n. 5, p. 282-291, 1976.

7. ANEXOS

7.1. Balanço de Energia pela Razão de Bowen

Nas Figuras 7.1.1a a 7.1.6b são mostrados os comportamentos dos componentes do BERB aplicado ao sistema “copa-solo”, referentes ao 1º e 2º ciclos de produção da videira. Nas Figuras 7.1.7a a 7.1.12b estão representados os comportamentos dos componentes do BEM aplicado ao sistema “copa”, relativos ao 1º e 2º ciclos de produção da videira. Enquanto, nas Figuras 7.1.13a a 7.1.18b são apresentados os comportamentos dos componentes do BERB aplicado ao sistema “superfície do solo”, correspondentes ao 1º e 2º ciclos produtivos da videira.

A Tabela 7.1.1 apresenta os valores do desvio absoluto percentual médio (DAPM) da relação entre $(LE)_{cor}$ e $(R_n - G)_{cor}$ para cada um dos sistemas “copa-solo”, “copa” e “superfície do solo”, levando-se em consideração os oito estádios fenológicos, durante o 1º e 2º ciclos produtivos da videira, obtidos com base na metodologia proposta por Daamen *et al.* (1999).

Nas Figuras 7.1.13a a 7.1.16b estão representadas as análises dos comportamentos diurnos médios diários da razão de Bowen correspondente à copa da videira, relativos aos modelos da Razão de Bowen M I, M II, M III e M IV, para o 2º ciclo produtivo da videira.

Nas Figuras 7.1.17a a 7.1.20b são mostradas as análises comparativas entre as curvas da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, correspondentes aos oito estádios fenológicos da videira para o 2º ciclo de cultivo.

A Tabela 7.1.2 apresenta os parâmetros das equações de regressão sequencial para estimativa da temperatura úmida, obtidas com base na temperatura do ar, velocidade do vento e radiação global, relativa a cada um dos oito estádios fenológicos da videira, para o 2º ciclo de cultivo.

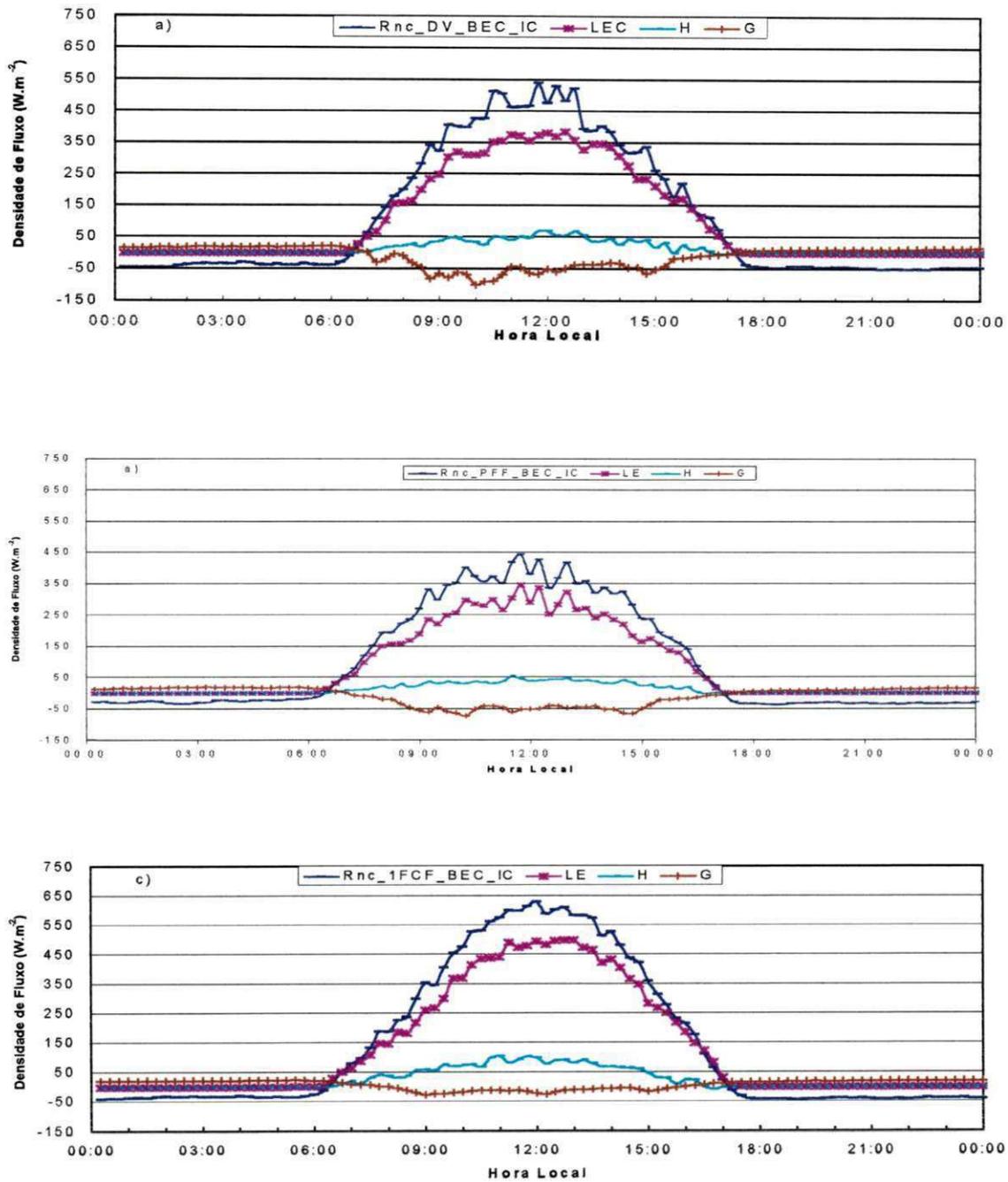


Fig. 7.1.1. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo” para o saldo de radiação – Rnc_BEC_IC, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, para o 1^o ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) DV, b) PFF e c) 1^oFCF, Petrolina – PE.

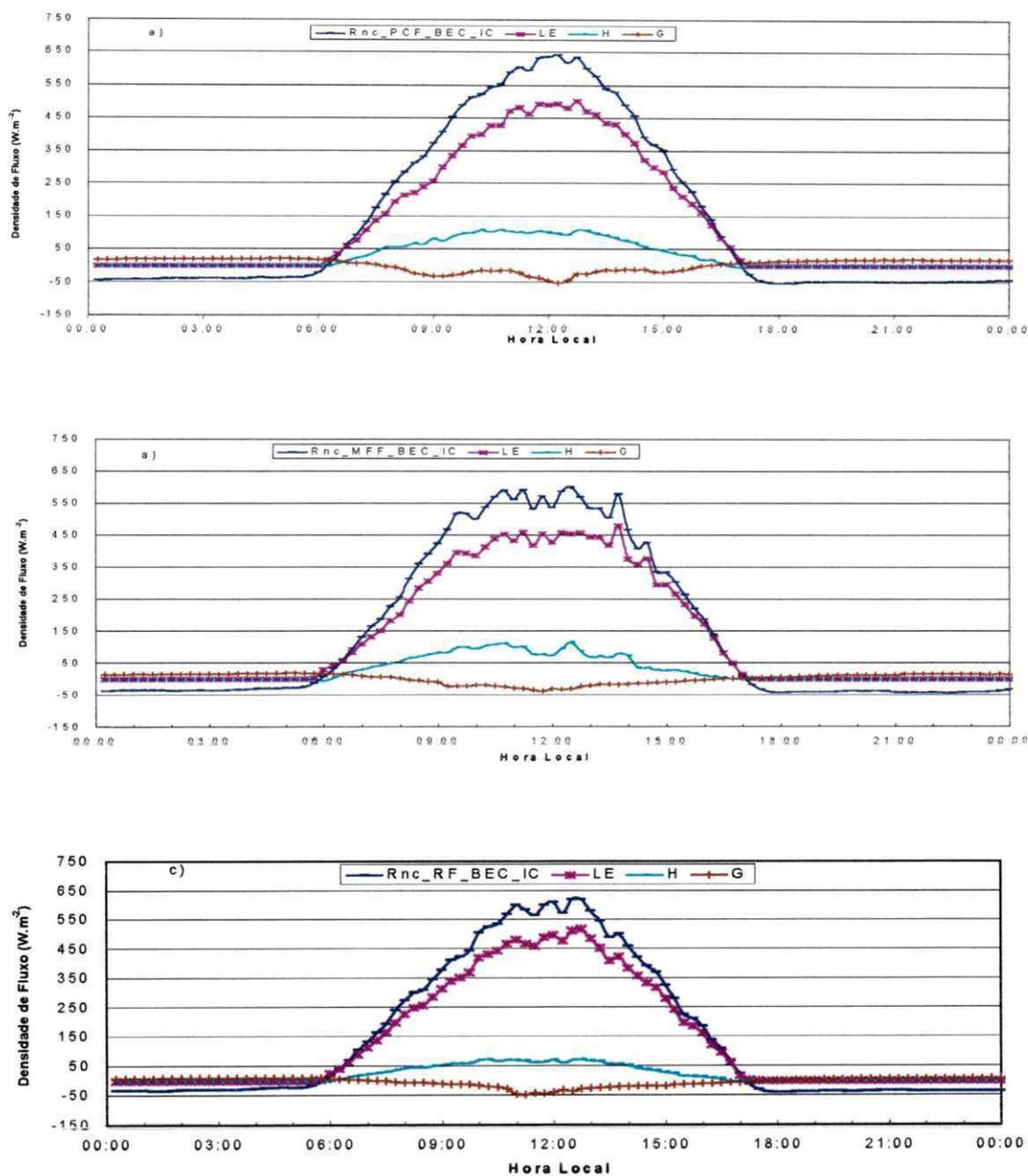


Fig. 7.1.2. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo” para o saldo de radiação – Rnc_BEC_IC, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, para o 1º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) PCF, b) MFF e c) RF, Petrolina – PE.

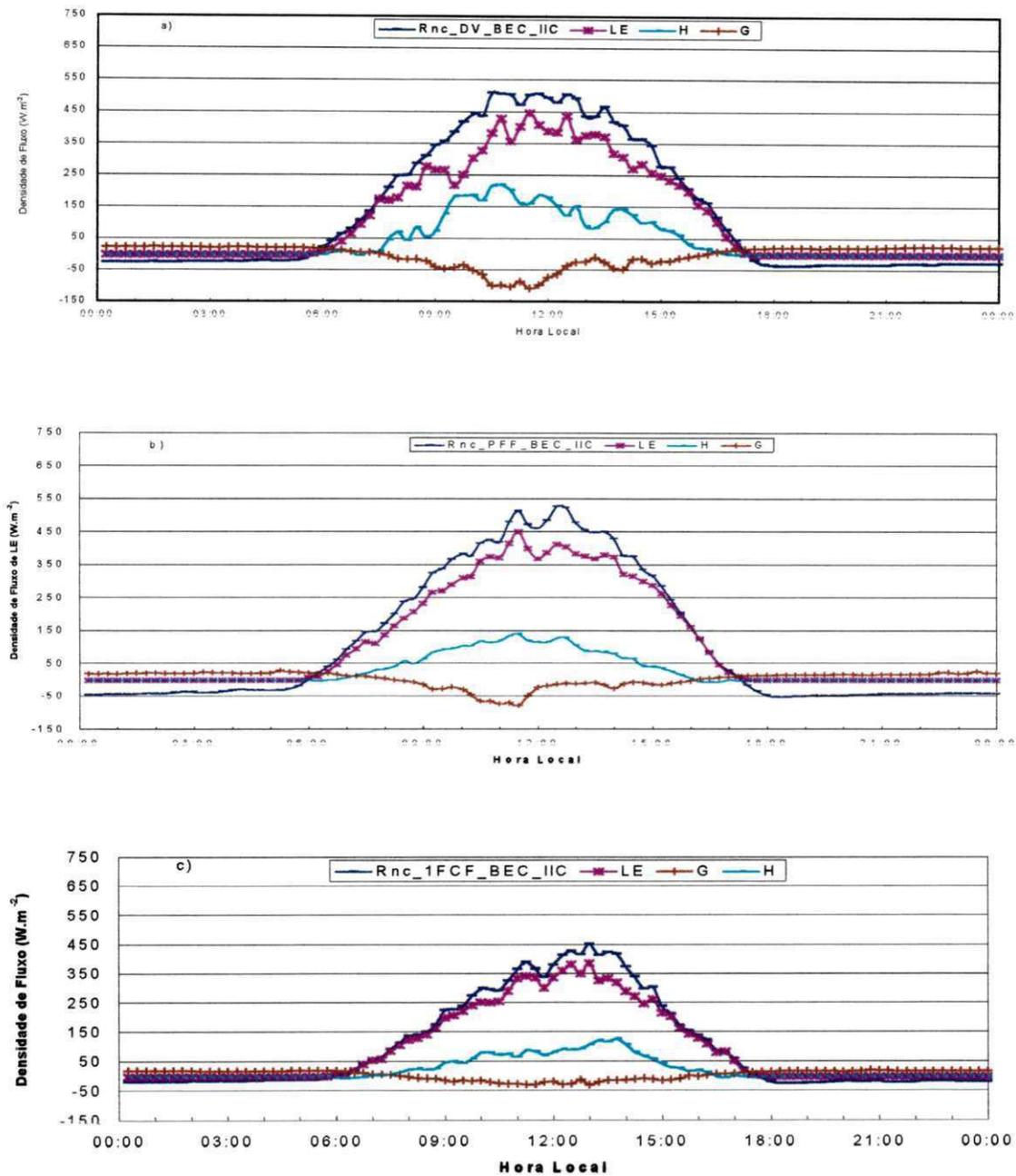


Fig. 7.1.3. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-solo” para o saído de radiação – Rnc_BEC_IIC, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, para o 2º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) DV, b) PFF e c) 1ªFCF, Petrolina – PE.

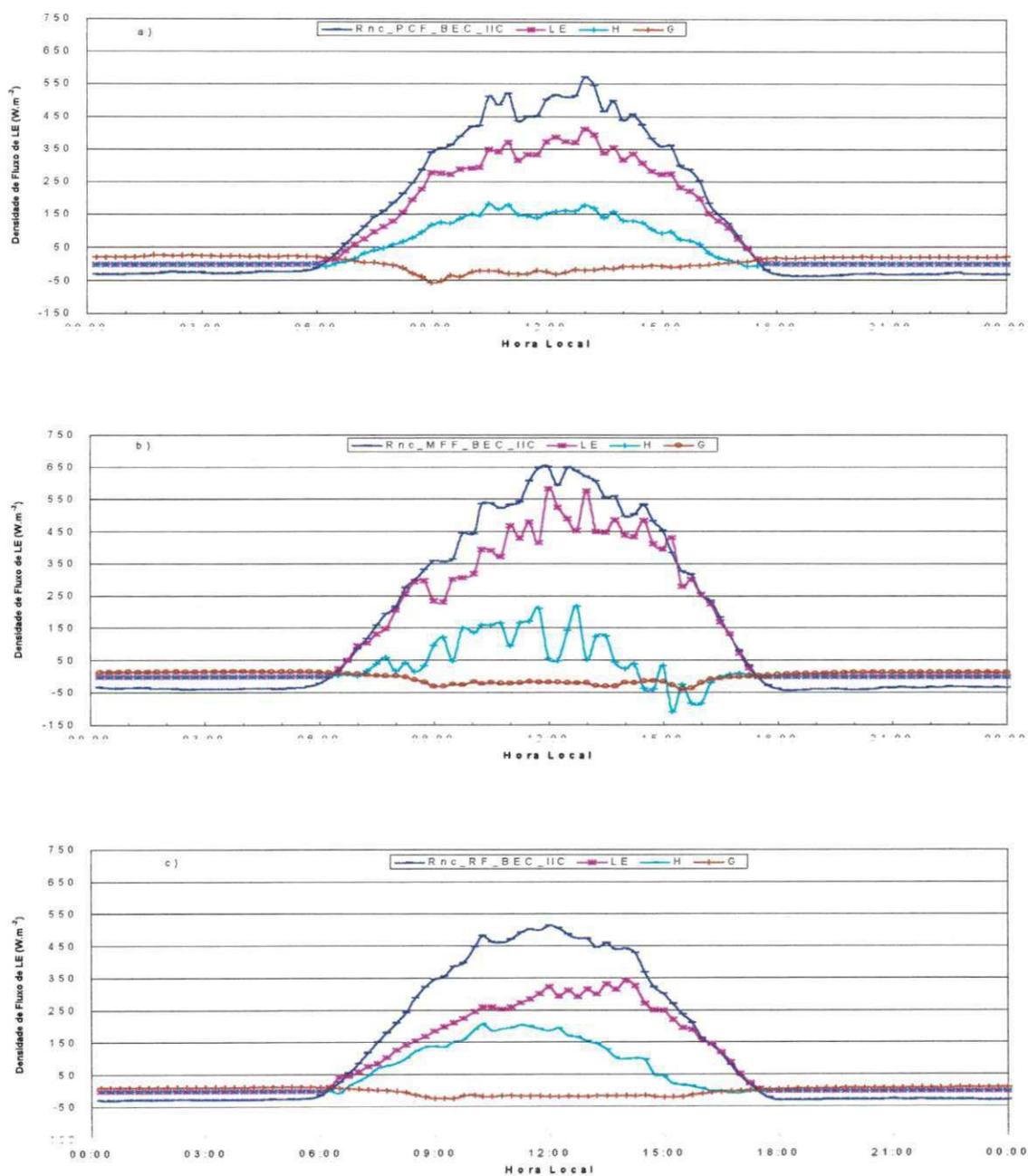


Fig. 7.1.4. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “copa-soito” para o saído de radiação – $R_{nc_BEC_IIC}$, fluxo de calor latente – LE, fluxo de calor no solo – G e fluxo de calor sensível – H, para o 2º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) FCF, b) MFF e c) RF, Petrolina – PE.

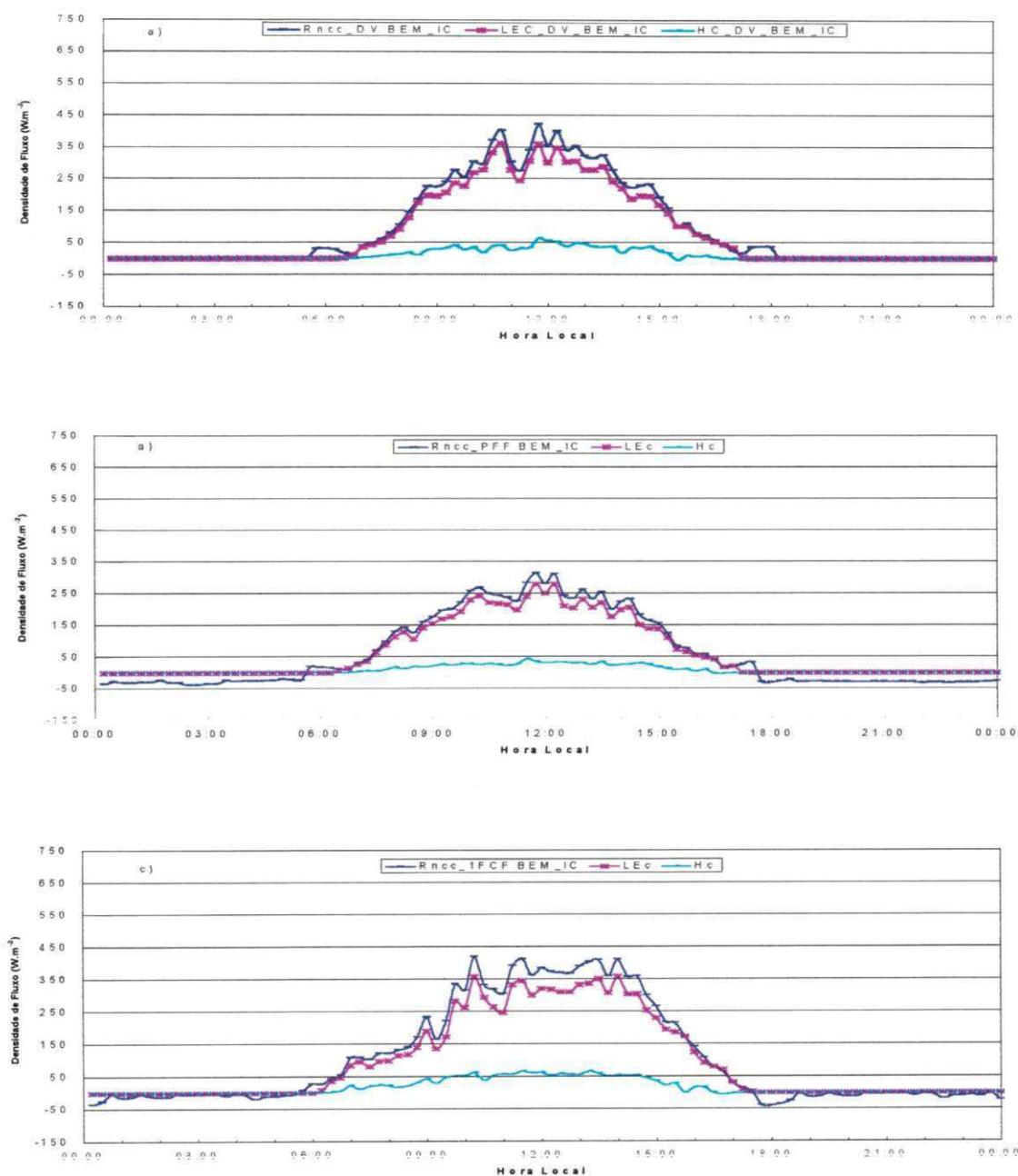


Fig. 7.1.5. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado para o sistema “copa” para o saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IC}$, fluxo de calor latente – LE e fluxo de calor sensível – H , para o 1º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) DV, b) PFF e c) 1ªFCF, Petrolina – PE.

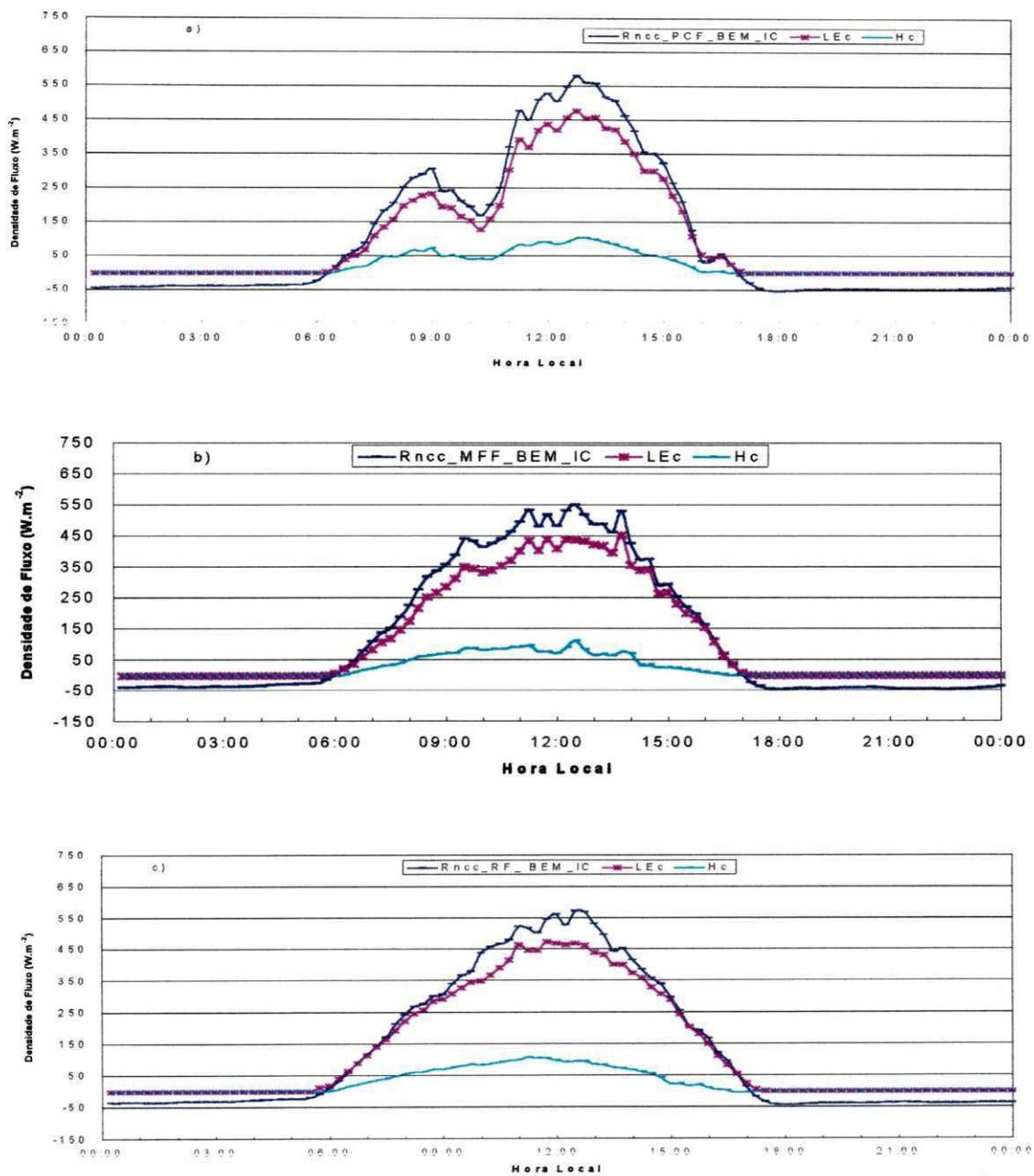


Fig. 7.1.6. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado para o sistema “copa” para o saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IC}$, fluxo de calor latente – LE e fluxo de calor sensível – H , para o 1º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) PCF, b) MFF e c) RF, Petrolina – PE.

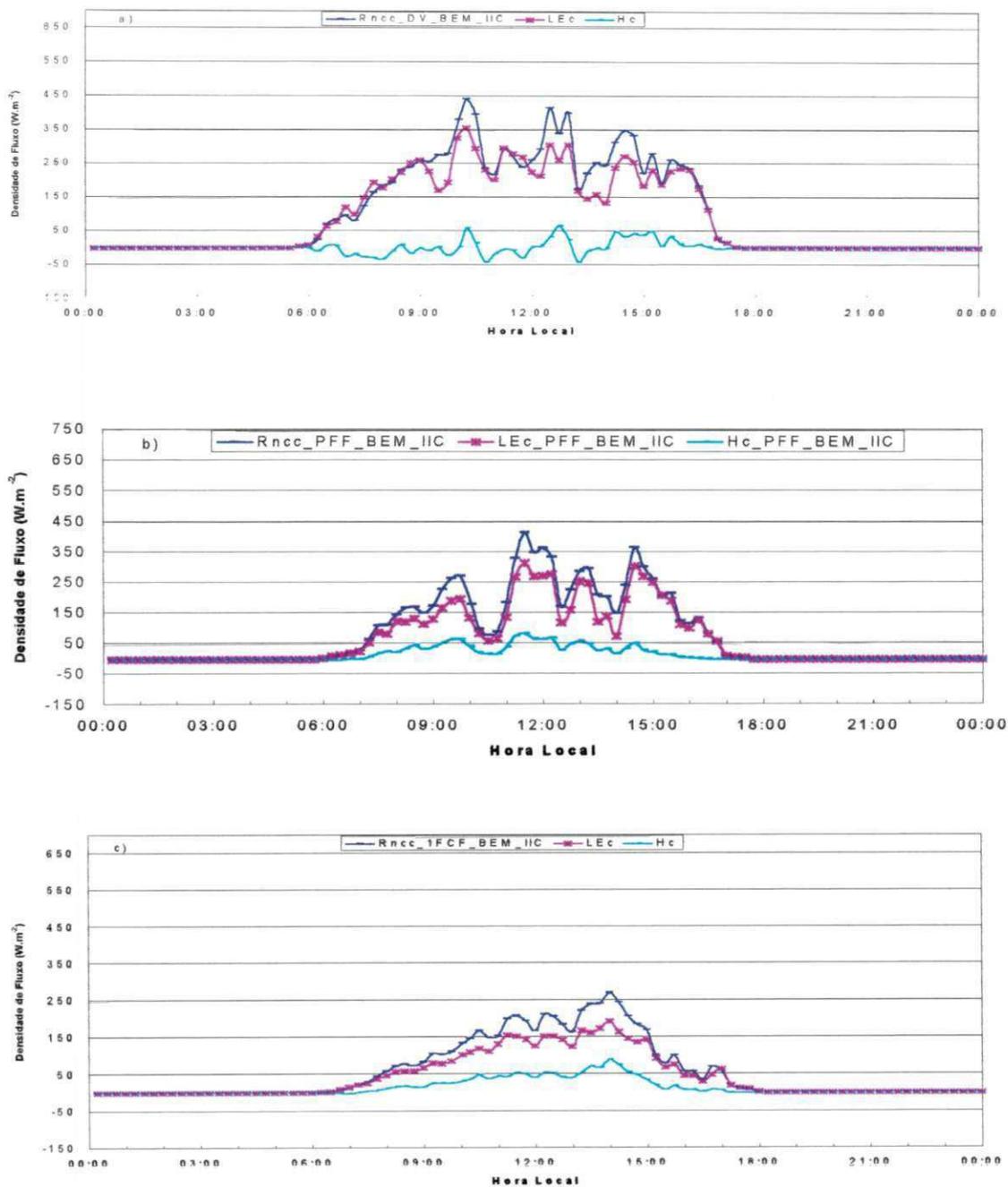


Fig. 7.1.7. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado para o sistema “copa” para o saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IIC}$, fluxo de calor latente – LE e fluxo de calor sensível – H , para o 2º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) DV, b) PFF e c) 1ªFCF, Petrolina – PE.

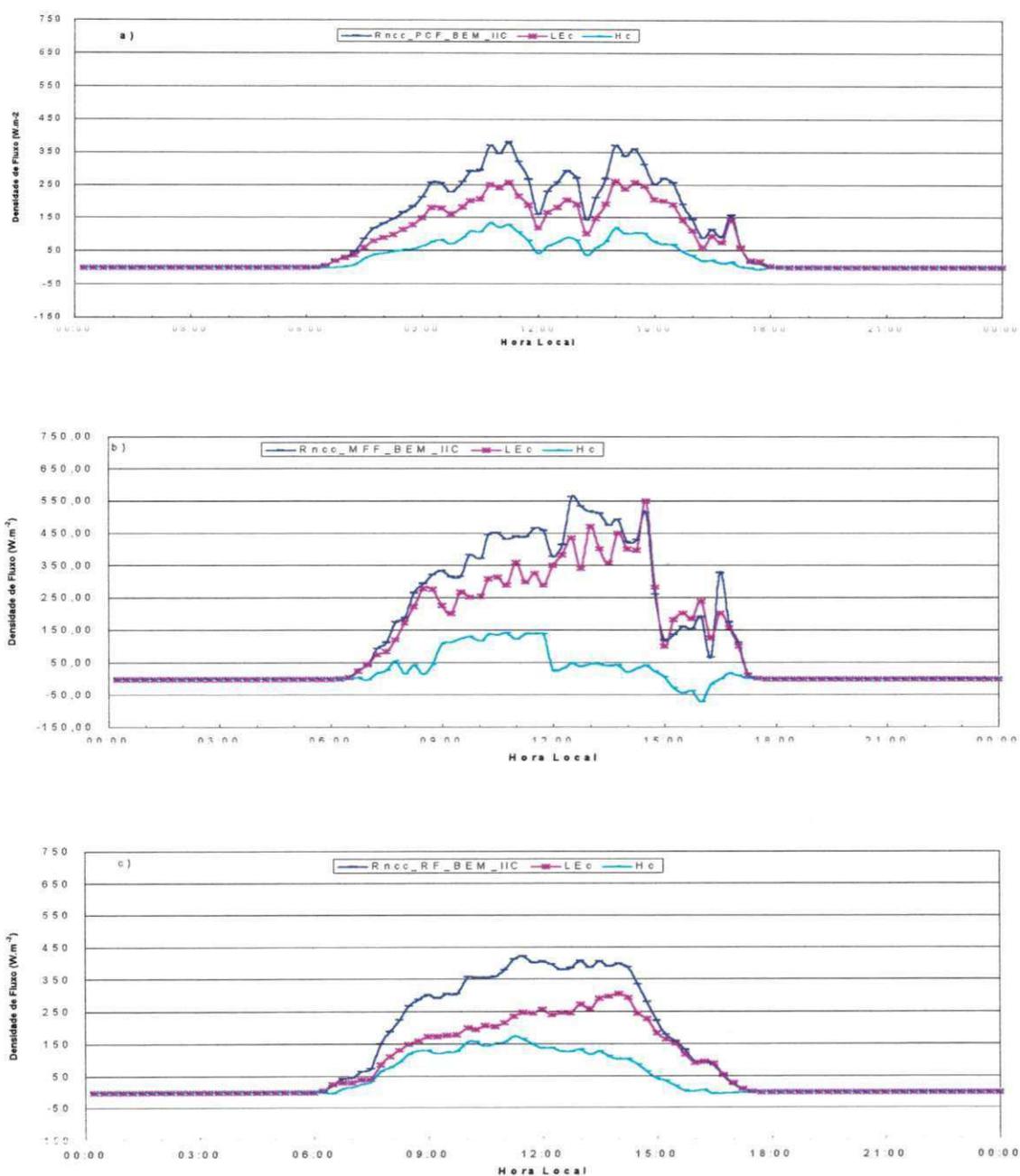


Fig. 7.1.8. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia modificado para o sistema “copa” para o saldo de radiação – $R_{ncc_BEM_IIC}$, fluxo de calor latente – LE e fluxo de calor sensível – H , para o 2º ciclo produtivo da videira, correspondentes aos estádios de: a) PCF, b) MFF e c) RF, Petrolina – PE.

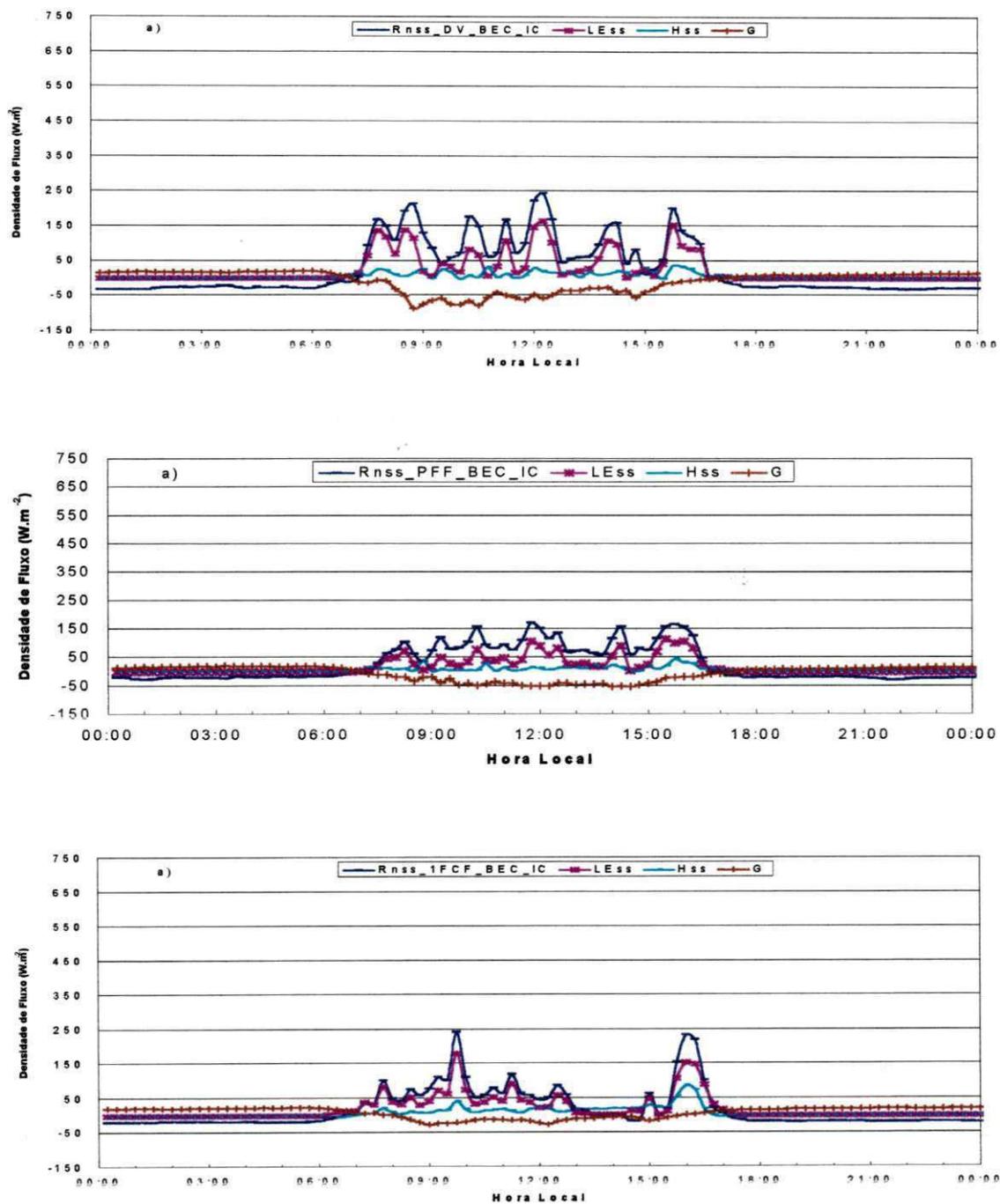


Fig. 7.1.9. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “superfície do solo” para o saldo de radiação – Rnss_BEC_IC, calor latente – LE, calor sensível – H e calor no solo, correspondentes aos estádios de: a) DV; b) PFF e c) 1^aFCF do 1^o ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

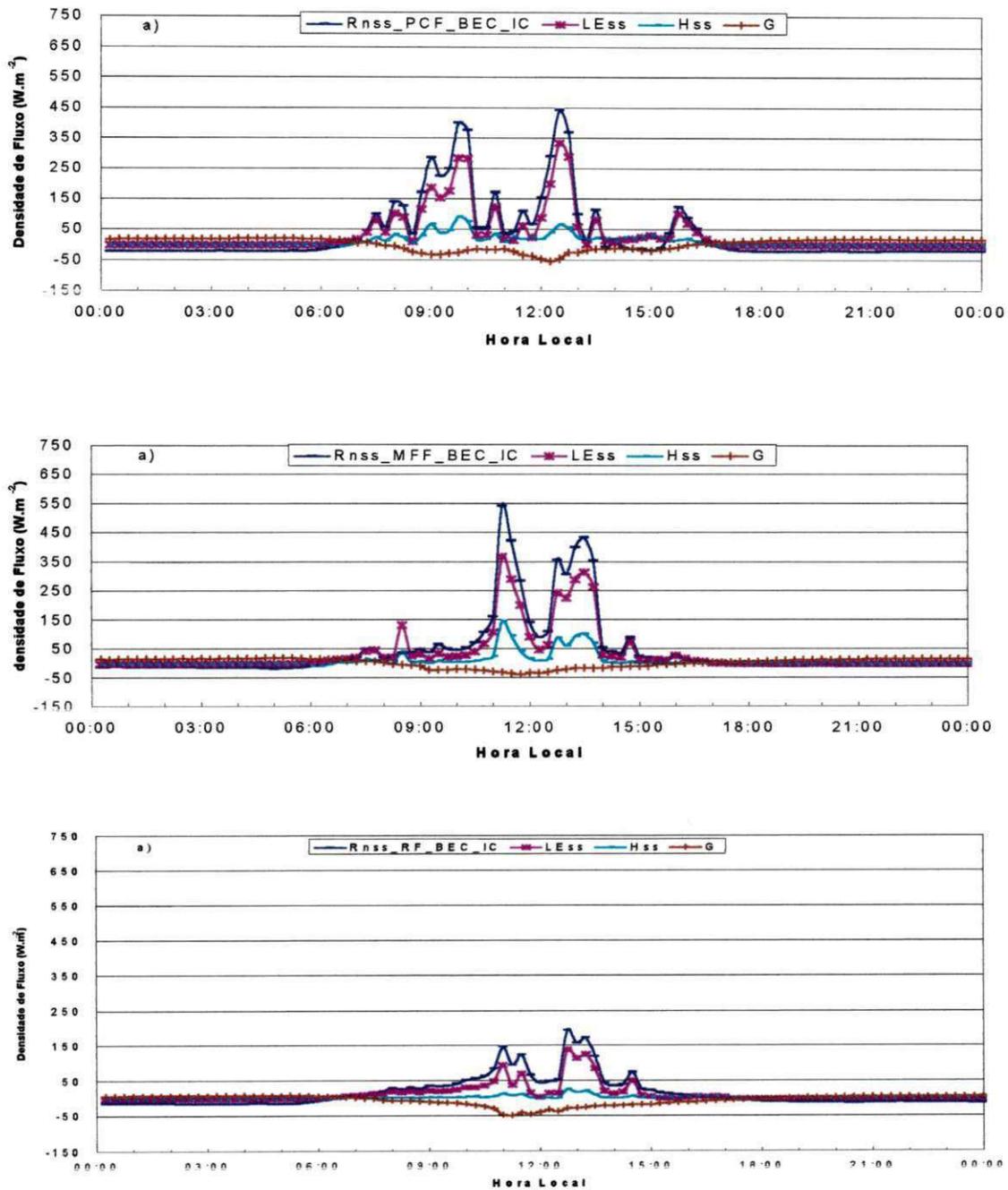


Fig. 7.1.10. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “superfície do solo” para o saldo de radiação – $R_{nss_BEC_IC}$, fluxo de calor latente – LE_{ss} , fluxo de calor sensível – H_{ss} e fluxo de calor no solo – G , correspondentes aos estádios de: a) PCF, b) MFF e c) RF do 1º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

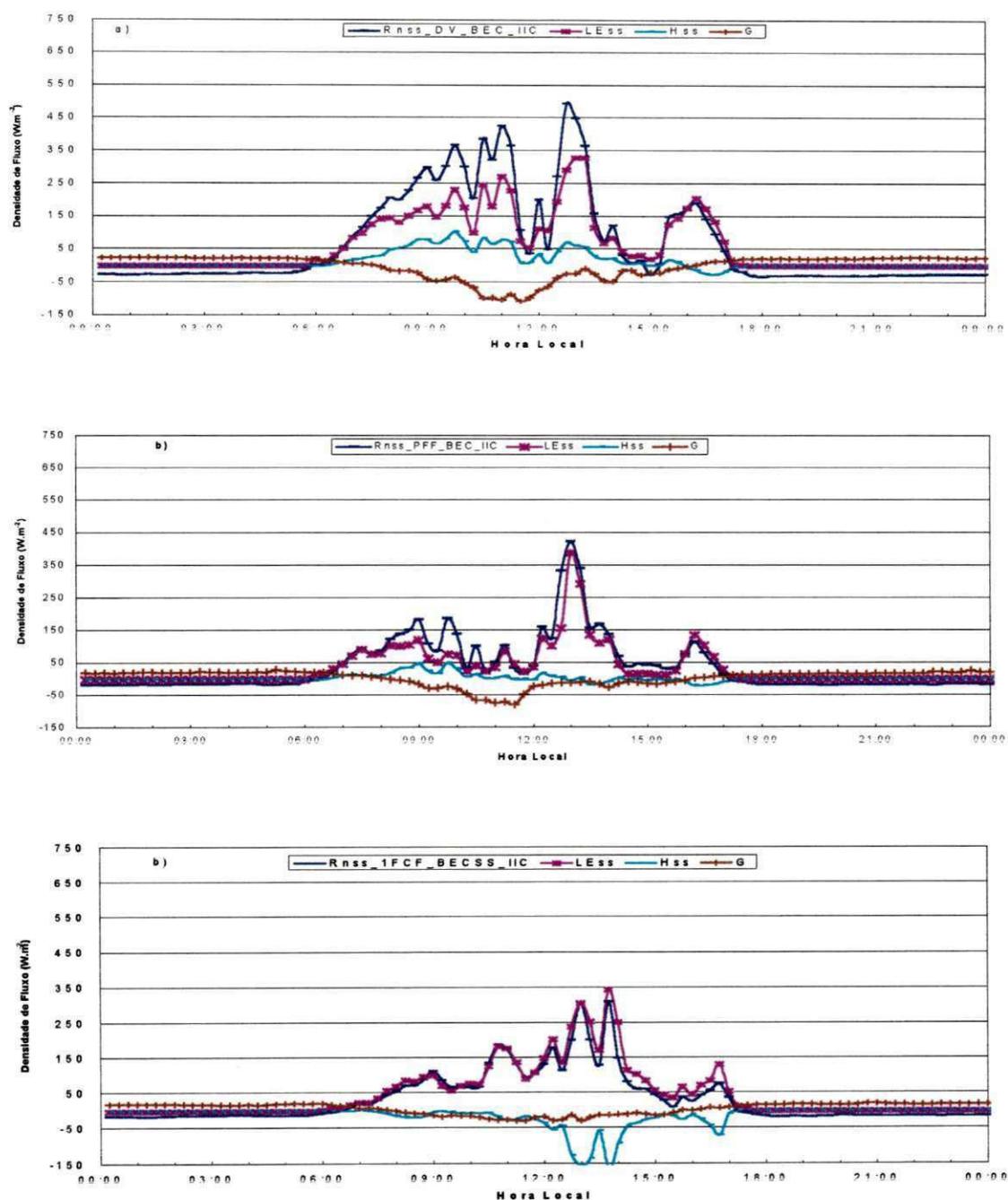


Fig. 7.1.11. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “superfície do solo” para o saldo de radiação – Rnss_BEC_IIC, calor latente – LEss, calor sensível – Hss e calor no solo – G, correspondentes aos estádios de: a) DV; b) PFF e c) 1FCf do 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

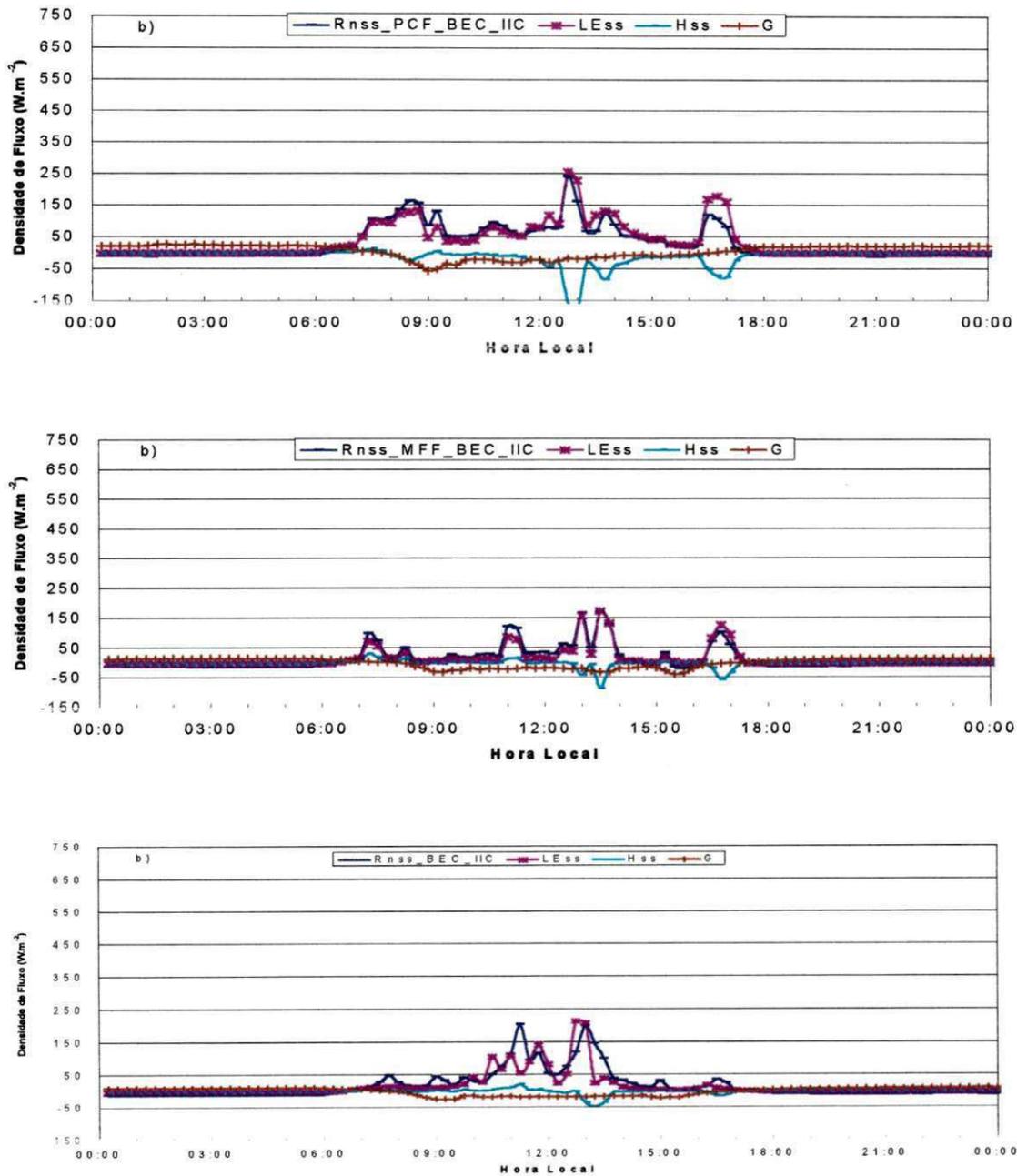


Fig. 7.1.12. Comportamento diário médio dos componentes do balanço de energia clássico para o sistema “superfície do solo” para o saldo de radiação – $R_{nss_BEC_IIC}$, fluxos de calor latente – LE_{ss} , calor sensível – H_{ss} e calor no solo - G , correspondentes aos estádios de: a) PCF; b) MFF e c) RF do 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Tabela 7.1.1. Valores do desvio absoluto percentual médio (DAPM) da relação entre LE corrigido e (Rn - G) para cada um dos sistemas “copa-solo”, “copa” e “superfície do solo”, levando-se em consideração os oito estádios fenológicos durante o 1º e o 2º ciclos produtivos da videira, Petrolina - PE.

Estádios fenológicos	Desvio absoluto percentual médio - DAPM - 1º ciclo		
	Sistema “copa-solo”	Sistema “copa”	Sistema “superfície do solo”
PBGV	22,74±15,51	78,83±86,56	59,02±12,74
DV	32,11±13,56	13,13±15,23	38,25±15,27
PFF	34,43±12,47	15,10±10,12	55,90±10,20
1ª FCF	21,05±12,63	14,26±4,98	32,03±19,82
PCF	23,60±15,70	19,63±10,19	34,88±25,81
2ª FCF	16,94±17,45	8,33±8,02	27,58±24,66
MFF	26,63±31,10	16,80±9,17	39,23±22,23
RF	22,90±15,98	13,81±8,77	73,18±19,78
Média	25,05±16,80	22,49±19,13	45,05±18,81
	Desvio absoluto percentual médio - DAPM - 2º ciclo		
PBGV	22,05±15,03	23,70±20,61	53,33±45,27
DV	22,60±12,75	9,83±8,67	45,62±20,94
PFF	17,06±8,07	20,96±12,11	39,78±36,53
1ª FCF	15,92±8,82	24,53±7,78	28,70±26,27
PCF	26,40±7,61	26,79±7,88	30,16±23,46
2ª FCF	23,10±27,60	14,36±11,72	38,88±24,66
MFF	25,45±24,97	21,57±14,72	74,05±27,43
RF	34,62±17,68	30,55±15,39	54,94±23,89
Média	23,40±15,32	21,54±12,36	45,68±28,56
Média Global	24,23±16,06	22,02±15,75	45,37±23,69

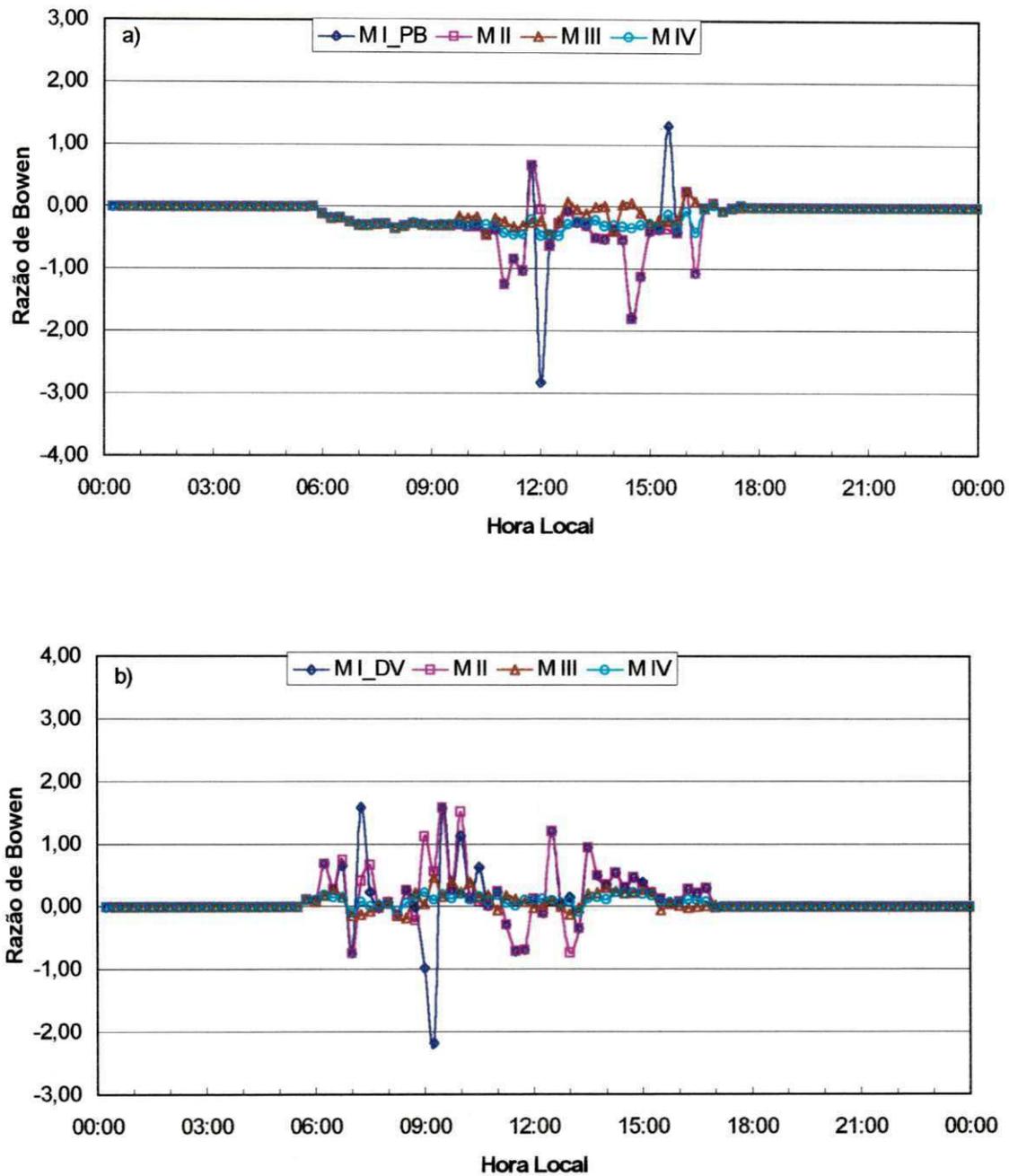


Fig. 7.1.13. Comportamento diurno médio diário da razão de Bowen correspondente à copa da videira, relativo aos modelos da Razão de Bowen M I, M II, M III e M IV, correspondentes aos estádios de: a) PB e b) idem para o DV, Petrolina – PE.

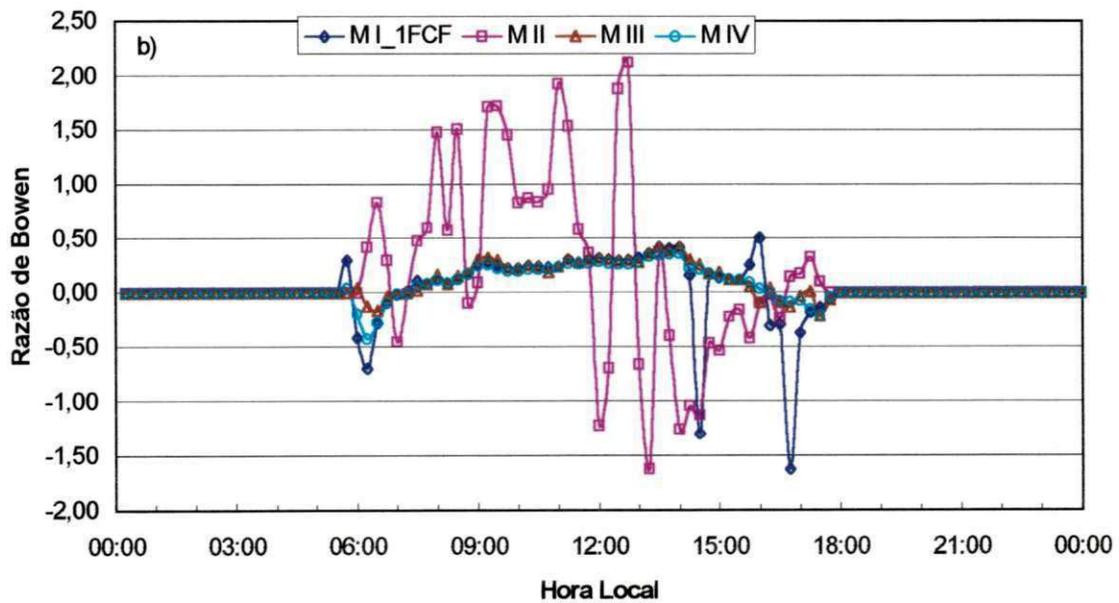
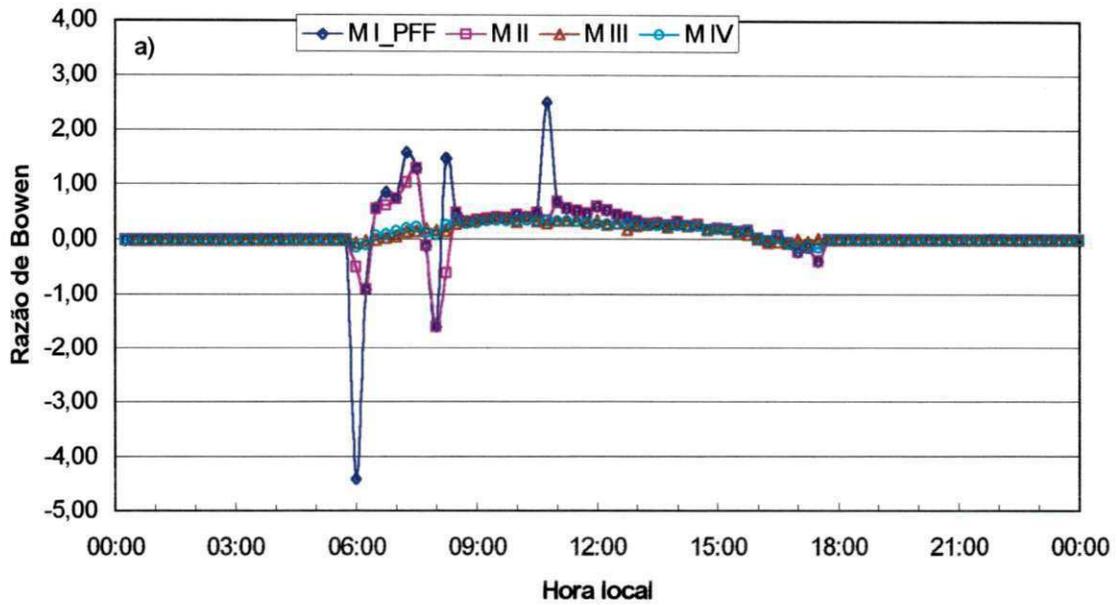


Fig. 7.1.14. Comportamento diurno médio diário da razão de Bowen correspondente à copa da videira, relativo aos modelos da Razão de Bowen M I, M II, M III e M IV, correspondentes aos estádios de: a) PFF e b) idem para o 1ªFCF, Petrolina – PE.

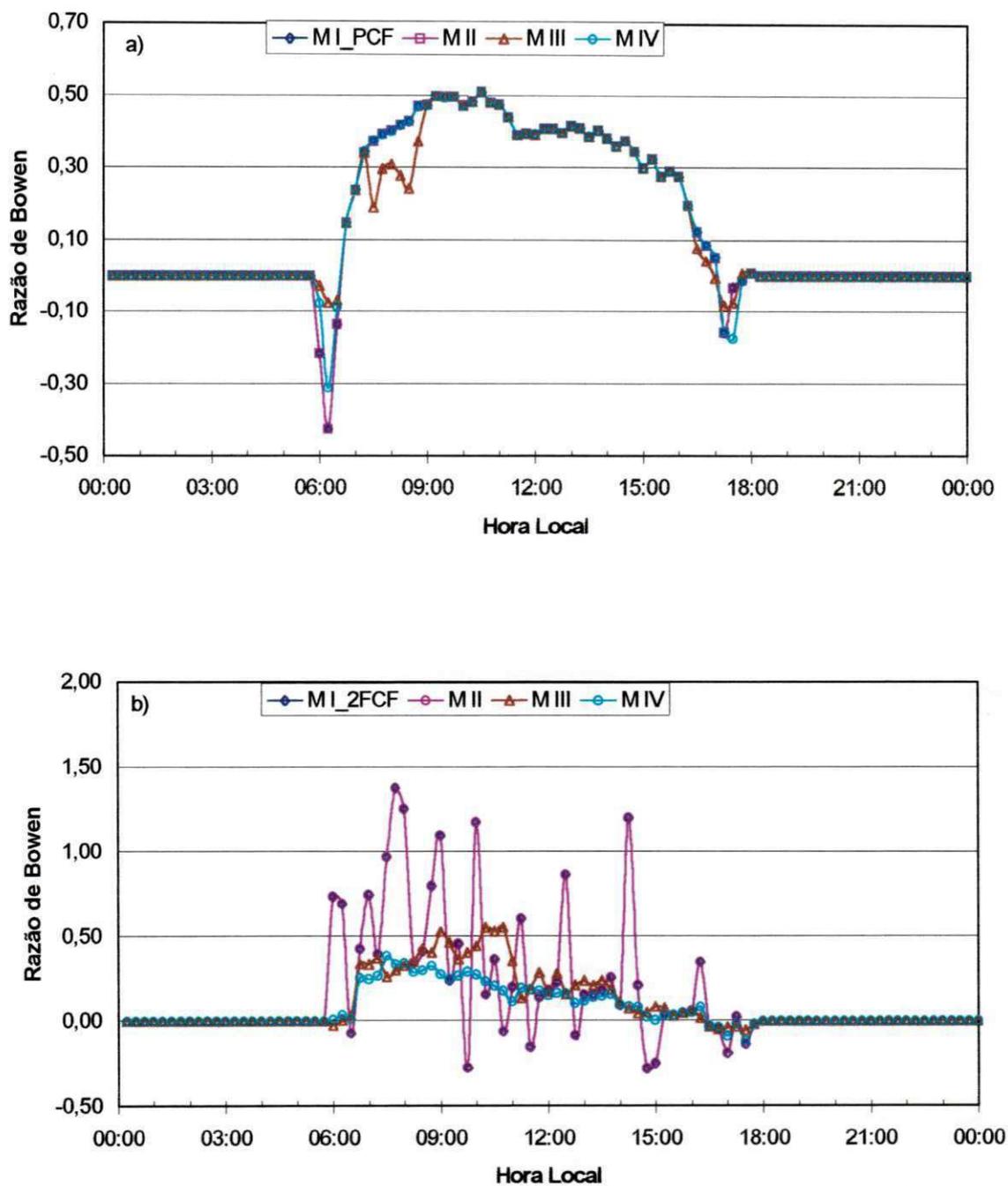


Fig. 7.1.15. Comportamento diurno médio diário da razão de Bowen correspondente à copa da videira, relativo aos modelos da Razão de Bowen M I, M II, M III e M IV, correspondentes aos estádios de: a) PCF e b) idem para a 2^a CF, Petrolina – PE.

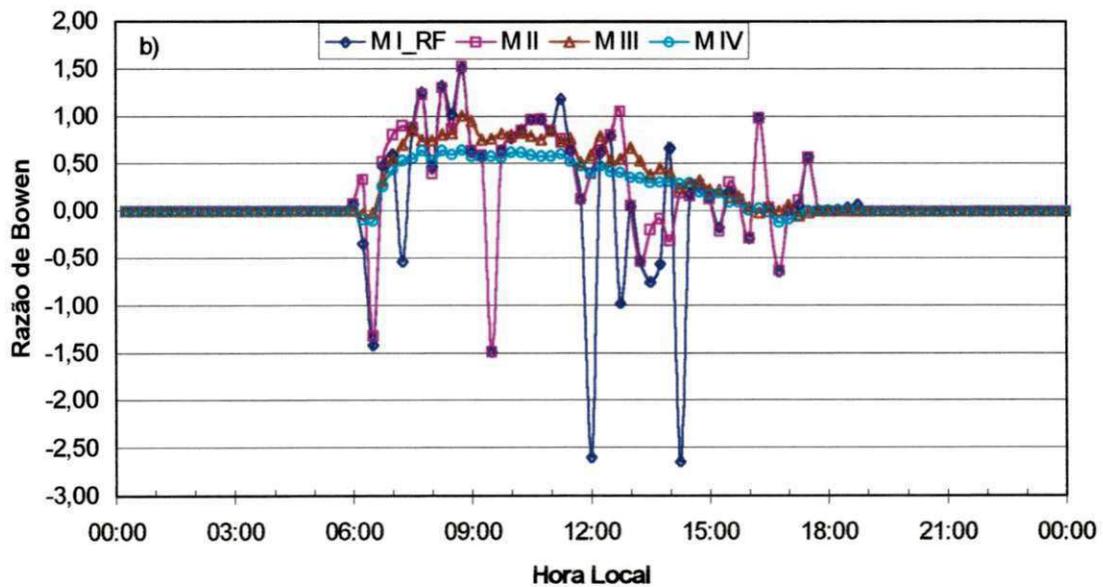
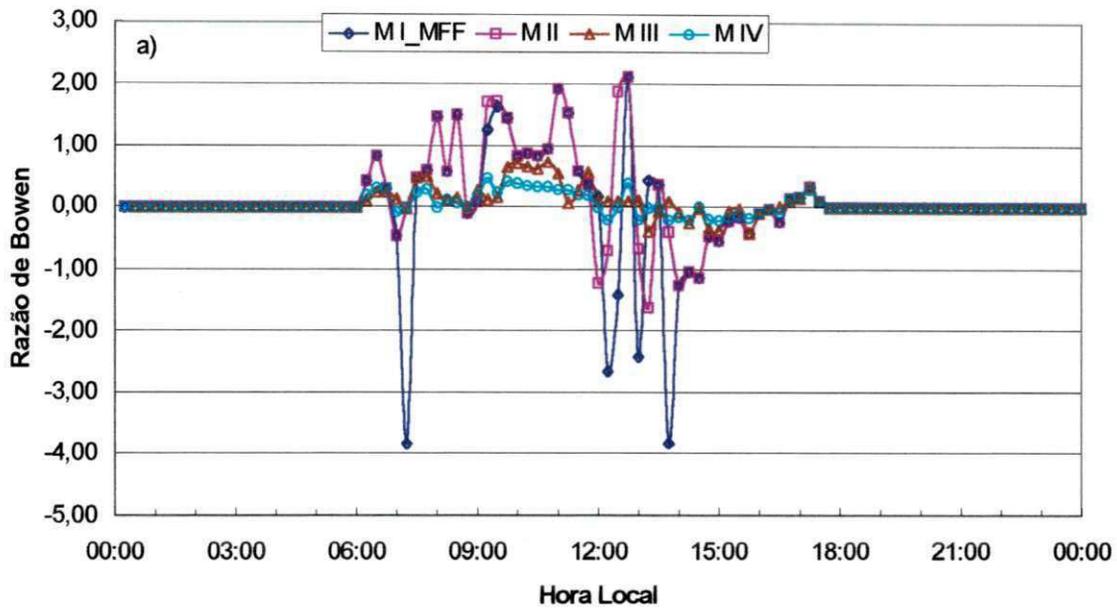


Fig. 7.1.16. Comportamento diurno médio diário da razão de Bowen correspondente à copa da videira, relativo aos modelos da Razão de Bowen M I, M II, M III e M IV, correspondentes aos estádios de: a) MFF e b) idem para o RF, Petrolina – PE.

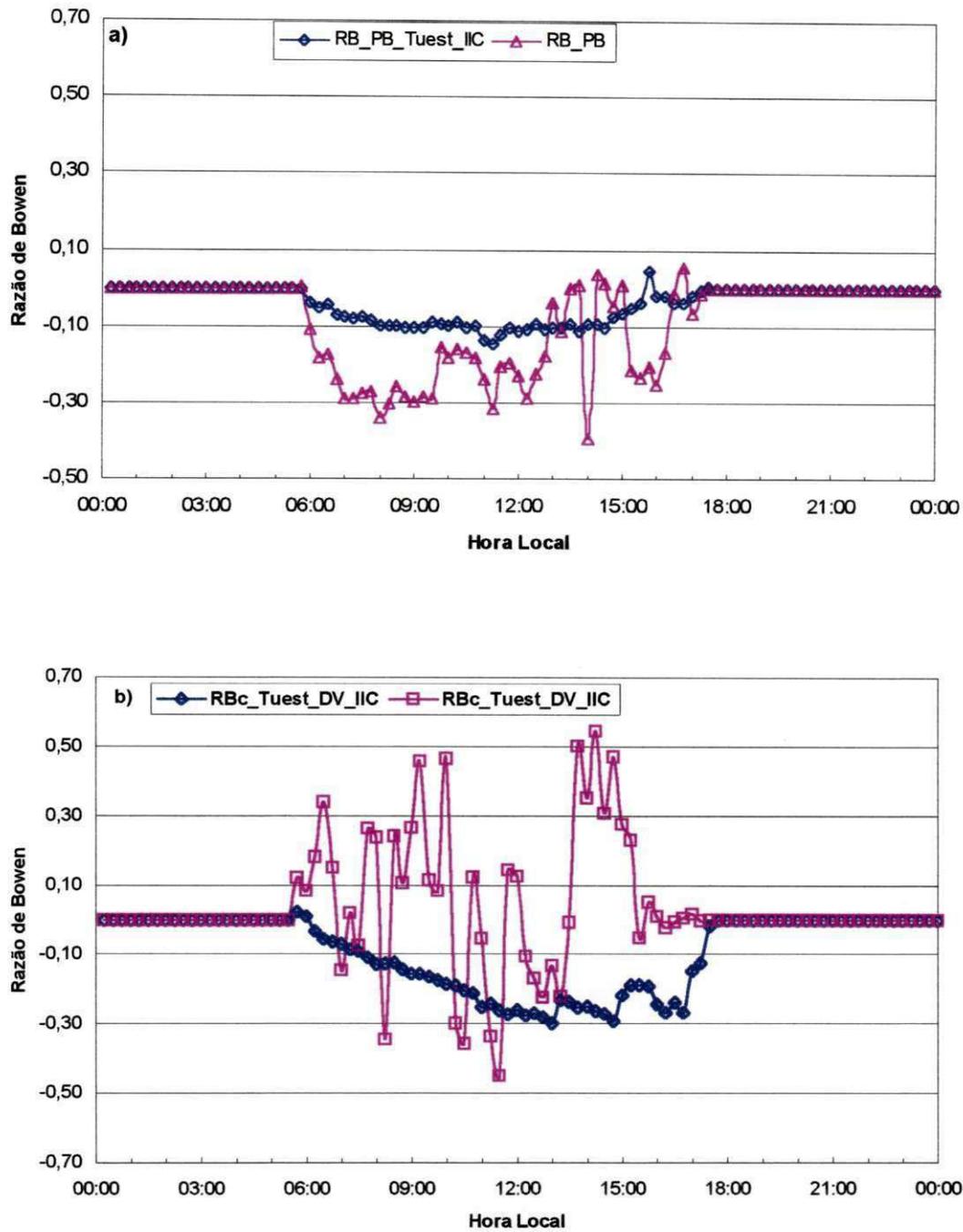


Fig. 7.1.17. Análise comparativa entre as curvas da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, correspondentes aos estádios fenológicos de: a) PB e b) DV para o 2º ciclo de cultivo, Petrolina-PE.

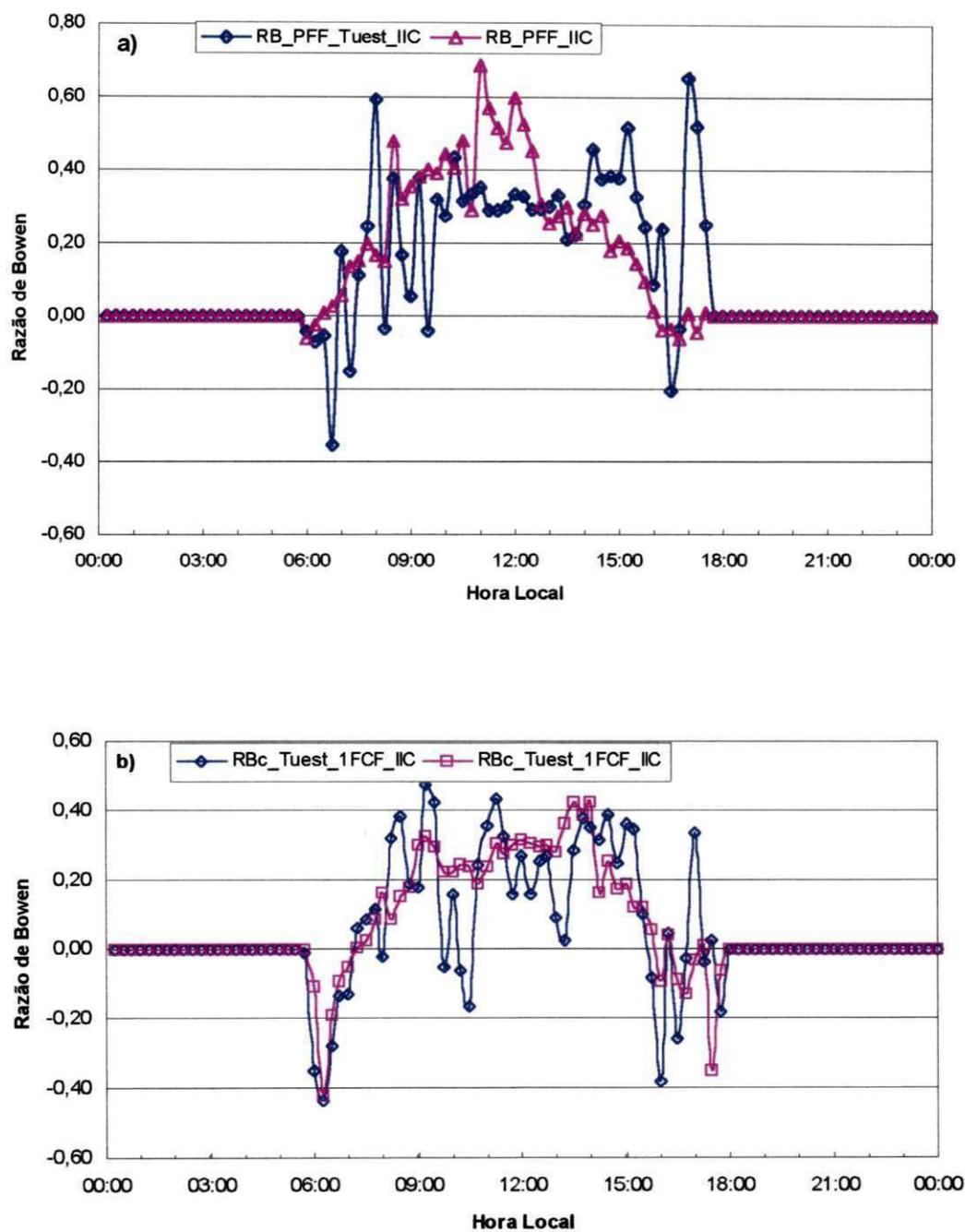


Fig. 7.1.18. Análise comparativa entre as curvas da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, correspondentes aos estádios fenológicos de: a) PFF e b) 1^aFCF para o 2^o ciclo de cultivo, Petrolina-PE.

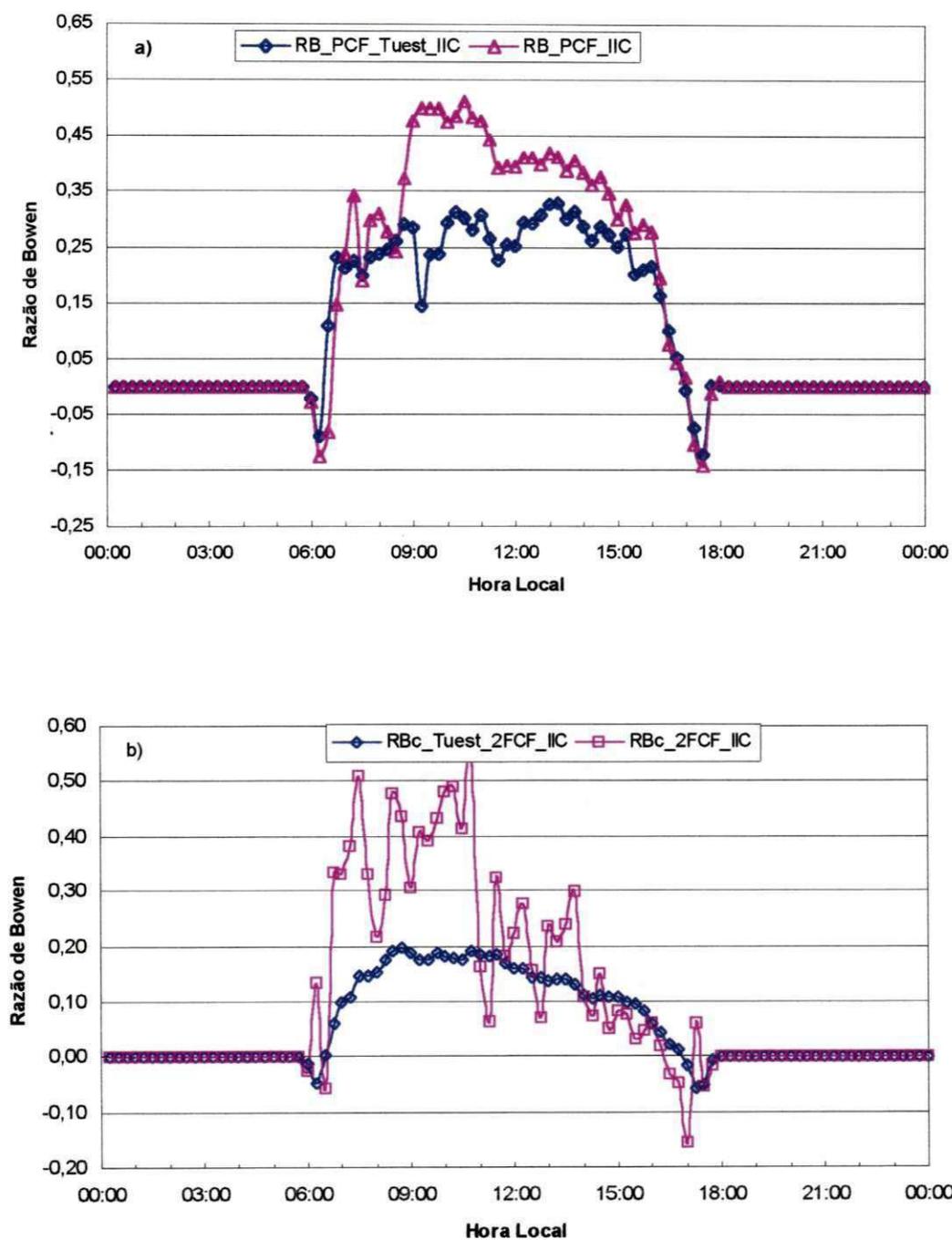


Fig. 7.1.19. Análise comparativa entre as curvas da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, correspondentes aos estádios fenológicos de: a) PCF e b) 2^aFCF para o 2^o ciclo de cultivo, Petrolina-PE.

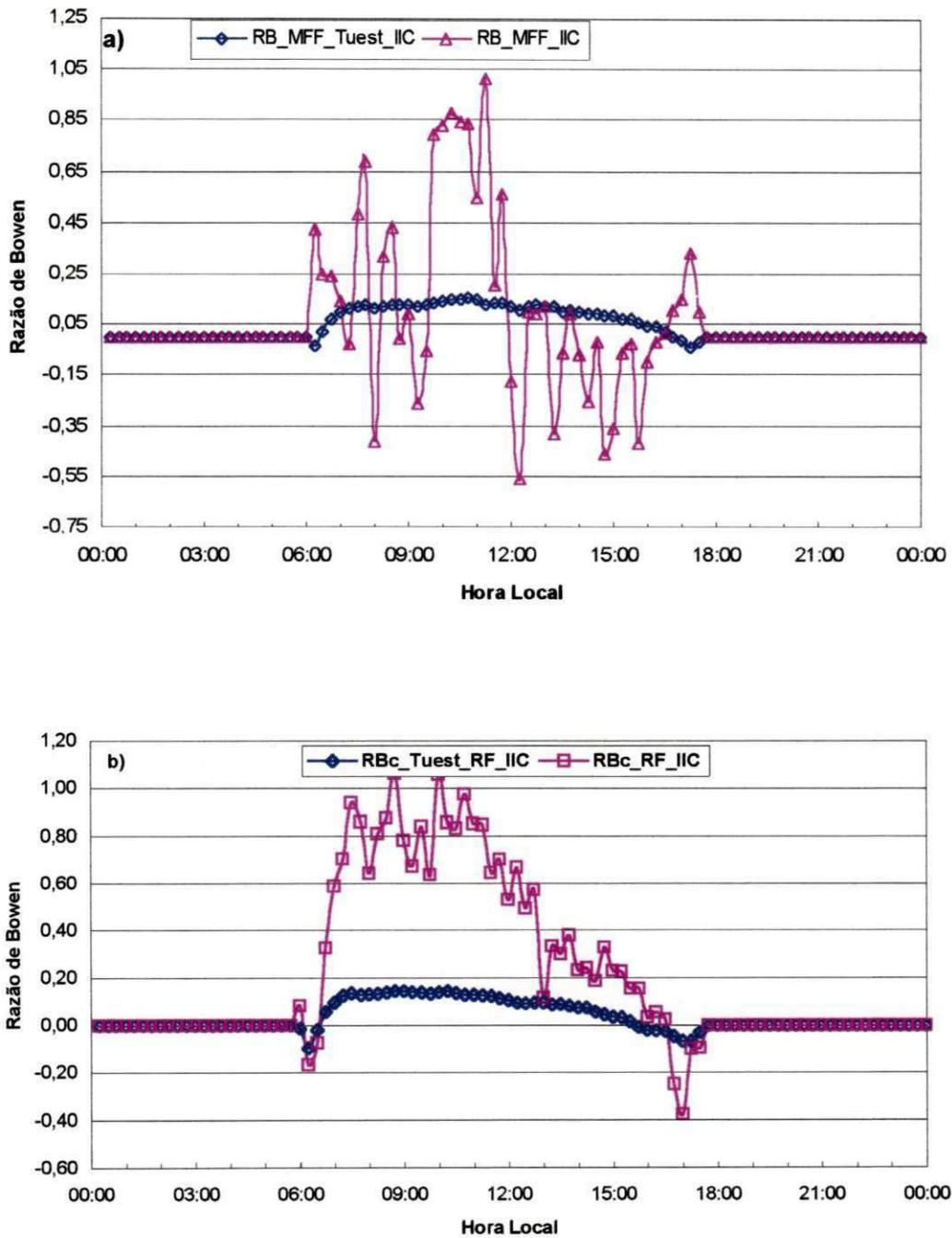


Fig. 7.1.20. Análise comparativa entre as curvas da razão de Bowen determinada com base na temperatura úmida medida e estimada para a copa da videira, correspondentes aos estádios fenológicos de: a) MFF e b) RF para o 2º ciclo de cultivo, Petrolina-PE.

Tabela 7.1.2. Parâmetros das equações de regressão multifatorial para estimativa da temperatura úmida obtidas com base na temperatura do ar, velocidade do vento e radiação global, relativas a cada um dos oito estádios fenológicos da videira, para o 2º ciclo de cultivo, Petrolina – PE.

Estádio fenológico	Nível de instalação dos psicômetros	Parâmetros da equação de regressão			
		a	b	c	d
PBGV	4	13,1236	0,308384	0,152988	0,000469381
	5	11,468	0,386348	0,261819	0,000447734
DV	4	14,8486	0,268345	0,25370	0,0012213
	5	16,1566	0,227537	0,180881	0,00114656
PFF	4	11,6548	0,417310	0,268229	0,000520421
	5	11,6936	0,418123	0,394951	-0,00152161
1ºFCF	4	11,2224	0,486174	0,061750	-0,001161
	5	11,9939	0,449573	-0,018935	-0,00132355
PCF	4	11,3639	0,465127	-0,308709	0,000511687
	5	12,0758	0,429229	-0,347269	0,000459758
2ºFCF	4	6,69647	0,665761	-0,394763	-0,00091397
	5	3,905460	0,786039	-0,182067	-0,00124211
MFF	4	8,80858	0,552331	0,406987	0,00173326
	5	8,8565	0,555759	0,465898	0,00105866
RF	4	12,9852	0,352716	0,498874	0,000645032
	5	13,3868	0,337674	0,424925	0,000241995

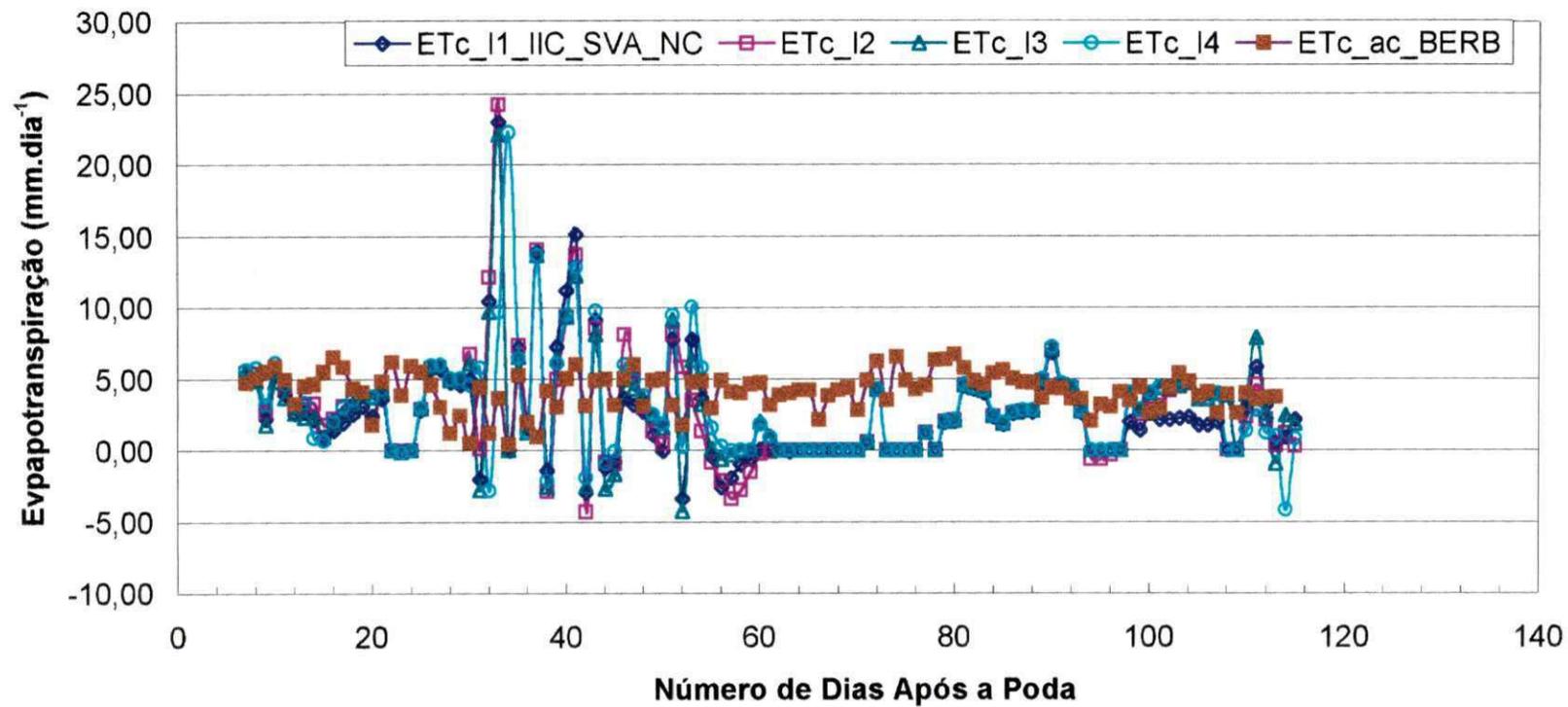


Fig. 7.2.5. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 no 2º ciclo de produção, sem variação do armazenamento do conteúdo de água no solo não corrigido (ETc_I1_IIC_SVA); idem para a intermitência I-2 (ETc_I2); idem para a intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.

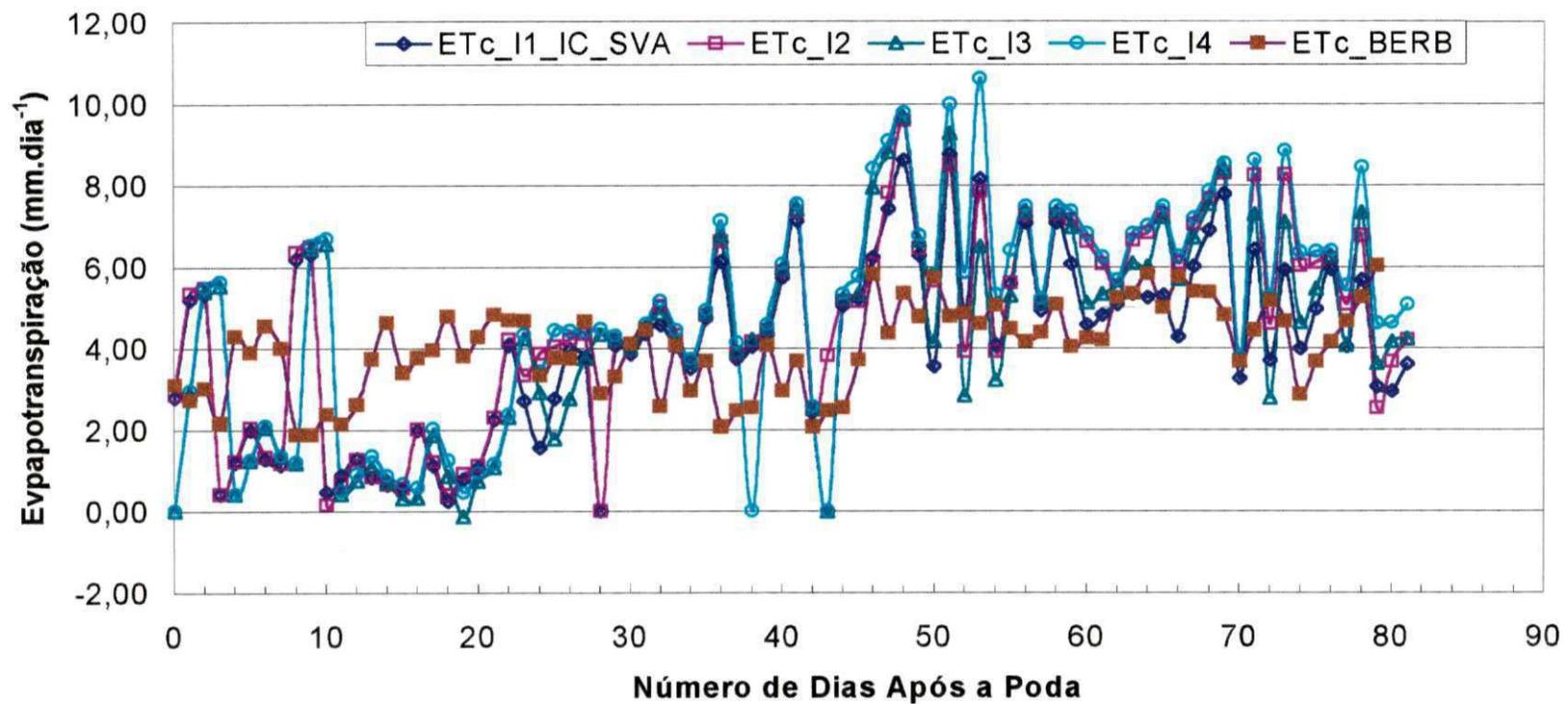


Fig. 7.2.6. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 no 1º ciclo de produção, sem variação do armazenamento do conteúdo de água no solo corrigido (ETc_I1_IC_SVA); idem para intermitência I-2 (ETc_I2); idem para a intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.

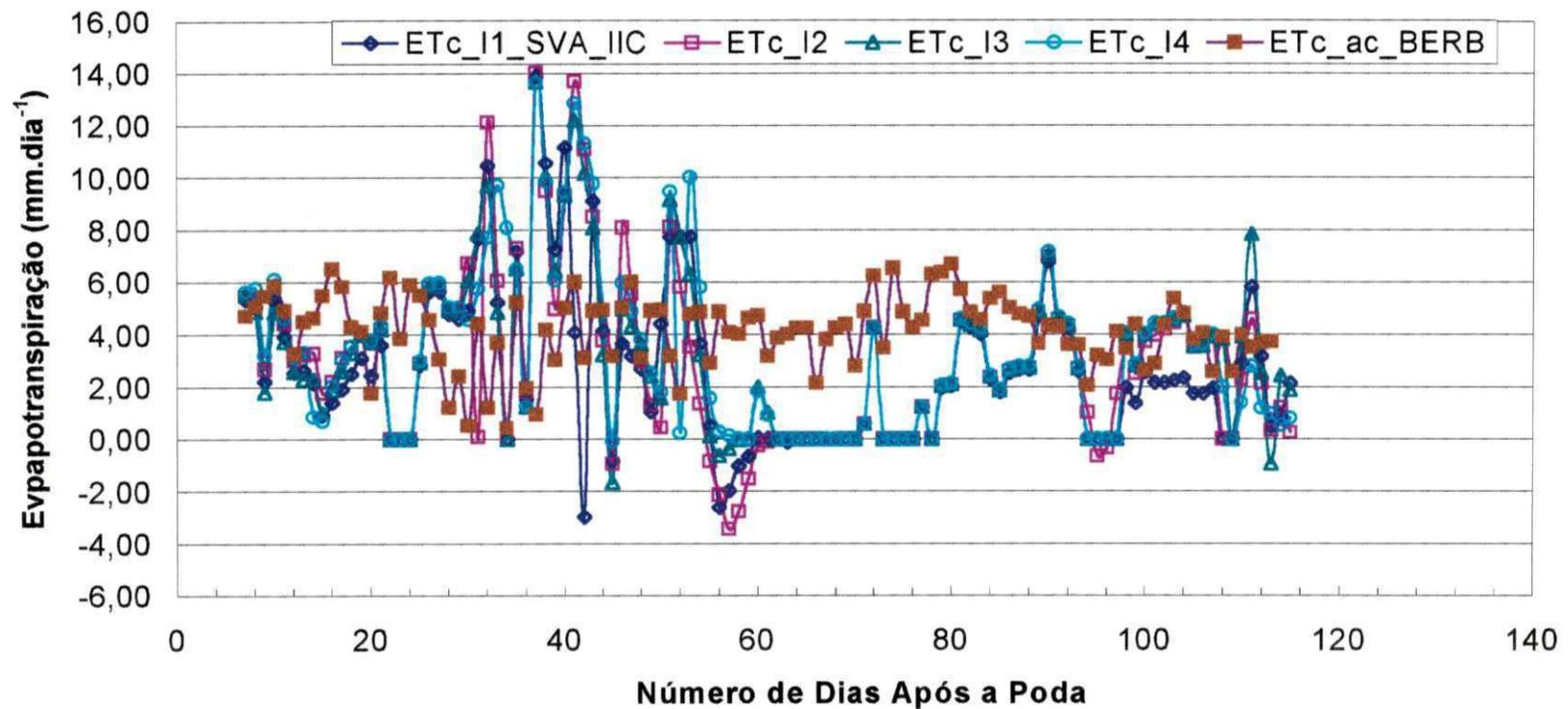


Fig. 7.2.7. Comportamento das curvas de evapotranspiração da videira para a intermitência I-1 no 2º ciclo de produção, sem variação do armazenamento do conteúdo de água no solo corrigido (ETc_I1_IIC_SVA); idem para a intermitência I-2 (ETc_I2); idem para a intermitência I-3 (ETc_I3); idem para a intermitência I-4 (ETc_I4); evapotranspiração da videira pela razão de Bowen (ETc_BERB), Petrolina - PE.

Tabela 7.2.1 Parâmetros da curva de retenção com base na equação de Zhang & van Genuchten (1994), umidade de saturação (θ_s), umidade residual (θ_r), (n) e (α) constantes empíricas, nos lisímetros de drenagem em alvenaria, Petrolina – PE.

Lisímetro de drenagem	Parâmetros da curva de retenção	Camadas (cm)			
		0 – 20	20 – 40	40 – 60	60 – 80
2	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,5019	0,5057	0,3790	0,3718
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0701	0,0897	0,1089	0,2024
	c_1	0,1021	0,0407	0,1157	0,1448
	c_2	0,0099	0,0023	0,0121	0,0173
	α	0,9811	0,6984	0,5280	0,1753
3	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4160	0,3862	0,3854	0,4390
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0642	0,1218	0,1666	0,1252
	c_1	0,1918	0,1665	0,1902	0,2101
	c_2	0,0294	0,0232	0,0313	0,0129
	α	0,6759	0,5680	0,3646	1,4413
4	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4335	0,4152	0,4156	0,4390
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0733	0,1086	0,1242	0,1252
	c_1	0,1269	0,1731	0,2532	0,2101
	c_2	0,0098	0,0105	0,0104	0,0129
	α	1,2508	1,1082	2,0337	1,4715
5	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4348	0,4283	0,3772	0,3645
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0842	0,1170	0,1329	0,1427
	c_1	0,0775	0,2813	0,1605	0,2670
	c_2	0,0391	0,0105	0,0132	0,0157
	α	0,4887	0,7598	0,4690	0,6770
8	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4171	0,3957	0,3854	0,3957
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,1872	0,2095	0,0933	0,1062
	C_1	0,1663	0,1602	0,2925	0,2204
	C_2	0,0172	0,0371	0,0334	0,0299
	α	0,5660	0,1486	1,4217	0,9013
9	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4214	0,4486	0,4181	0,4214
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0903	0,0989	0,1155	0,1061
	c_1	0,1846	0,1916	0,1747	0,2350
	c_2	0,0132	0,0095	0,0072	0,0184
	α	1,1138	2,3556	0,8535	1,2244
10	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4110	0,3726	0,4181	0,4185
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0901	0,1217	0,1129	0,1367
	c_1	0,0624	0,1204	0,1085	0,1576
	c_2	0,00	0,0075	0,0094	0,0117
	α	0,5125	0,3466	0,8001	0,9856
11	θ_s (cm ³ /cm ³)	0,4229	0,4005	0,3977	0,3915
	θ_r (cm ³ /cm ³)	0,0872	0,1194	0,1229	0,1397
	c_1				
	c_2				
	α				

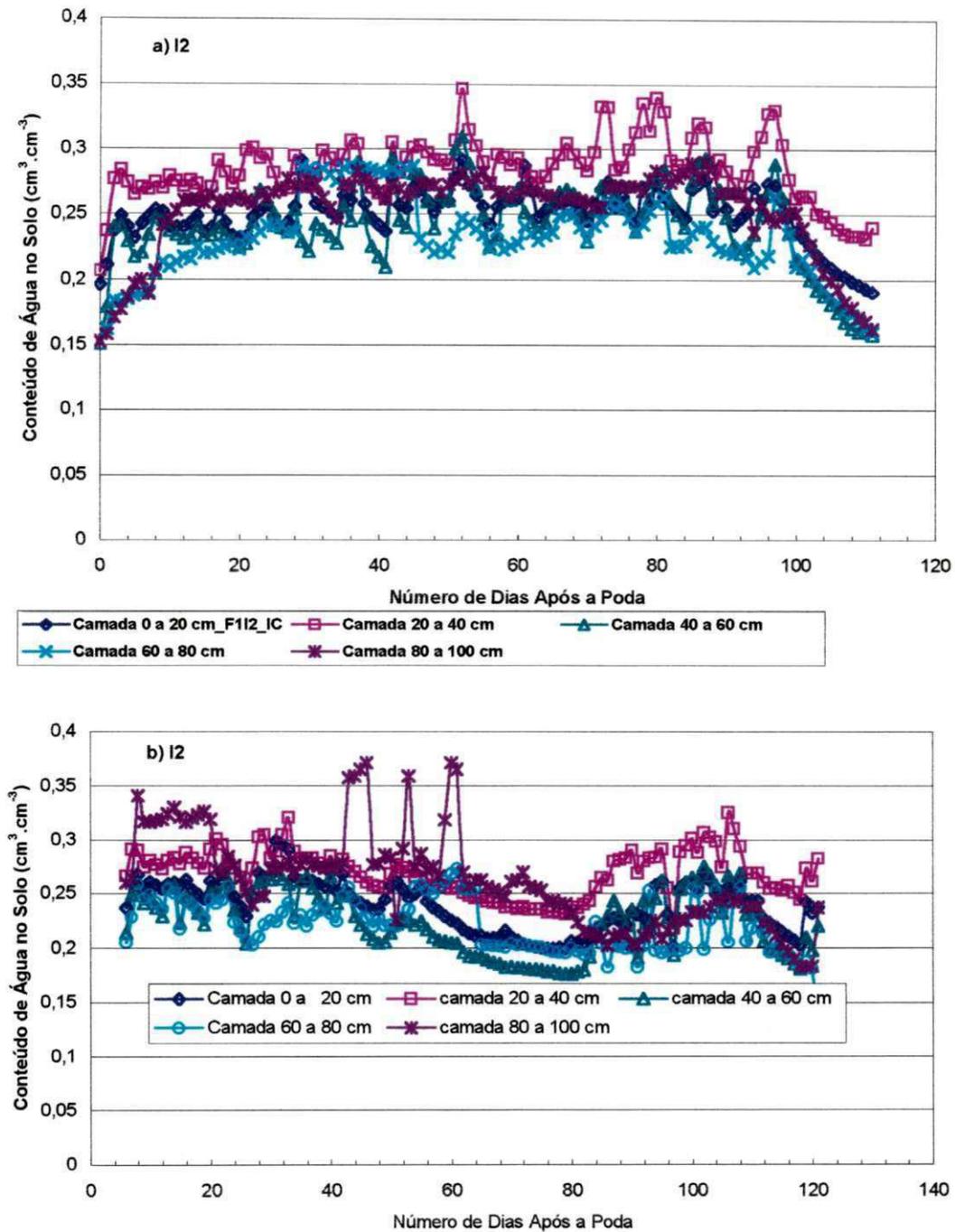


Fig. 7.2.1. Monitoramento do conteúdo de água no solo por tensiometria de mercúrio, referente à intermitência I-2 para a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

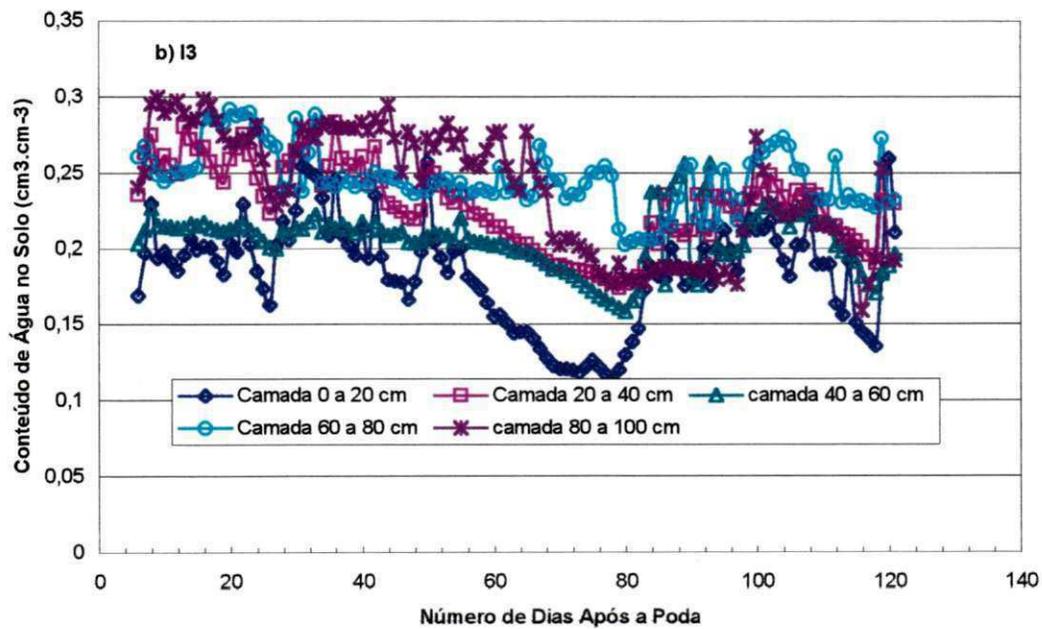
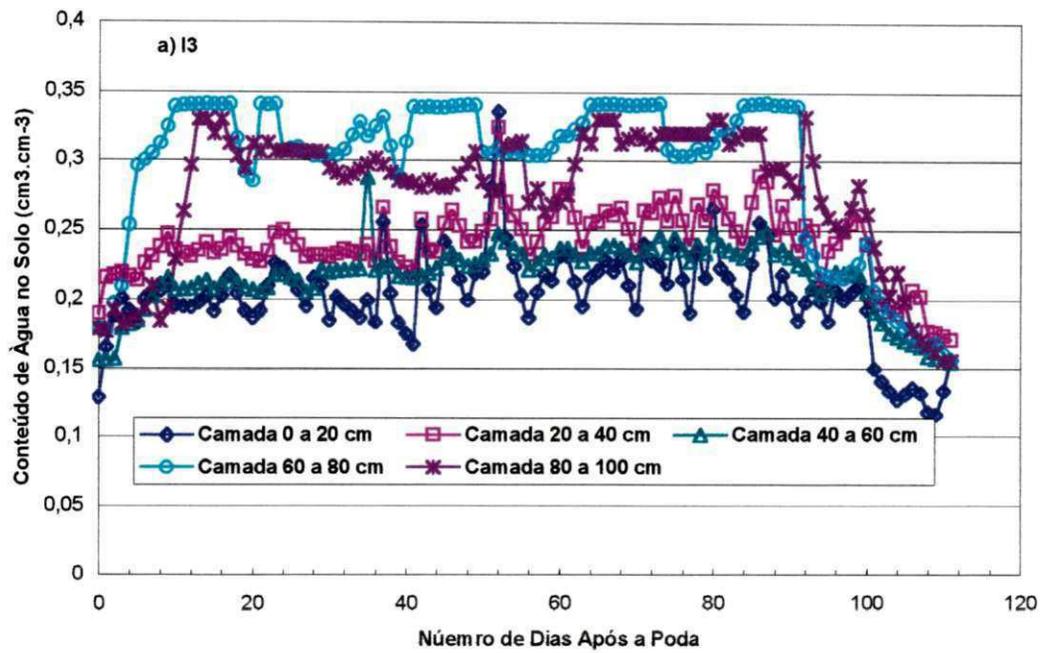


Fig. 7.2.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo por tensiometria de mercúrio, referente à intermitência I-3 para a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

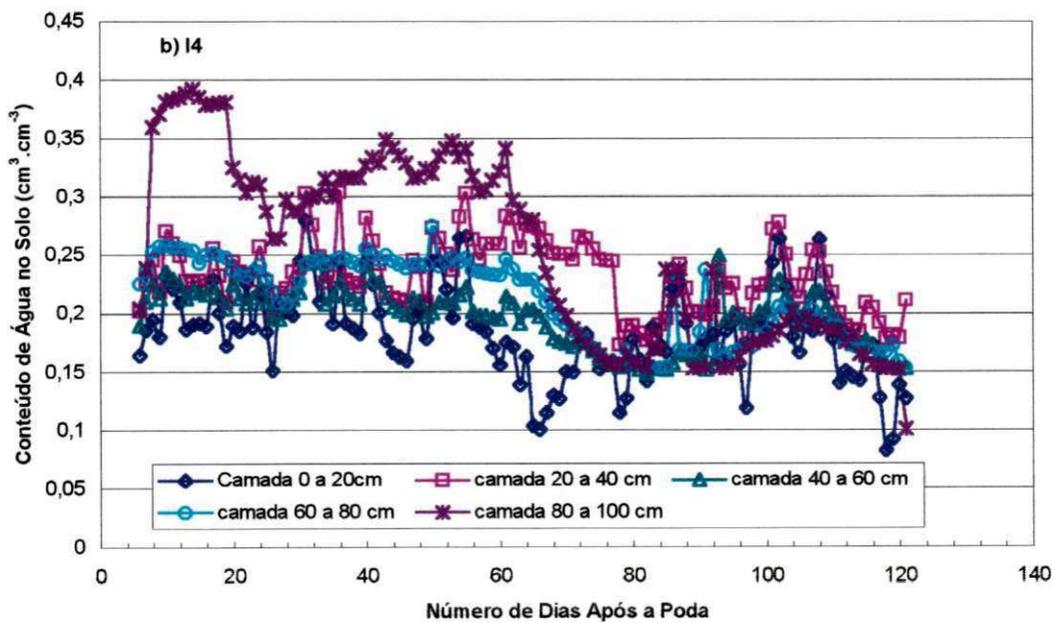
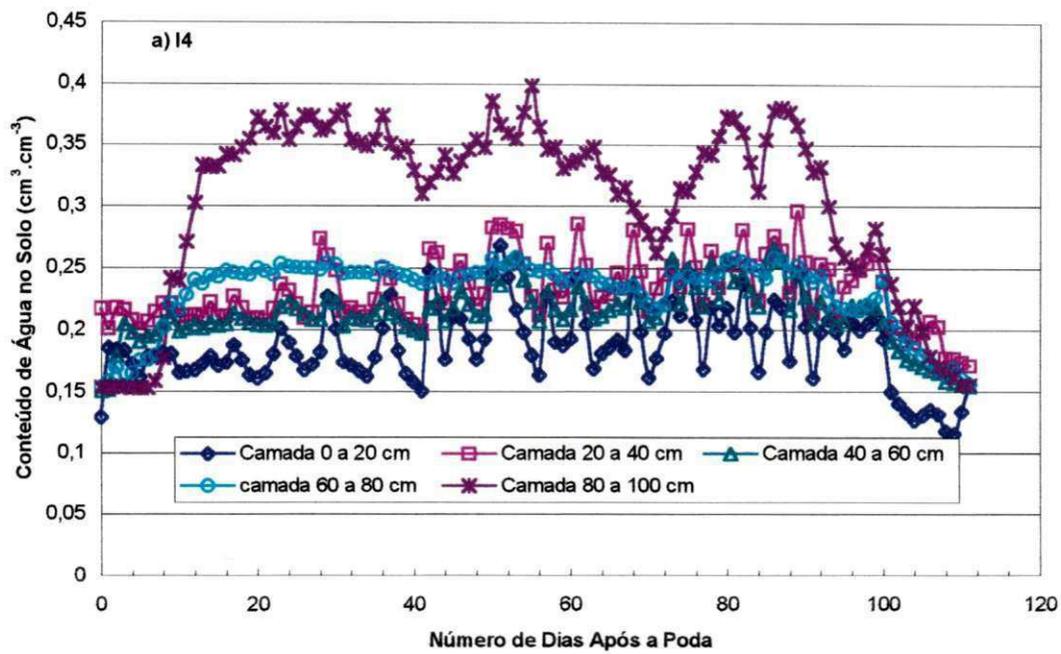


Fig. 7.2.3. Monitoramento do conteúdo de água no solo por tensiometria de mercúrio, referente à intermitência I-4 para a) 1º ciclo e b) 2º ciclo produtivo da videira, Petrolina – PE.

7.3 – Evapotranspiração – ETc

Nas Figuras 7.3.1 e 7.3.2 estão representadas as curvas do saldo de radiação (R_{nc}), déficit de pressão de vapor (DPV), velocidade do vento (V_2) e evapotranspiração da videira $(ETc)_{c-s_BERB}$, obtidos para a condição acima da copa da videira, correspondentes ao 1º e 2º ciclos produtivos da videira.

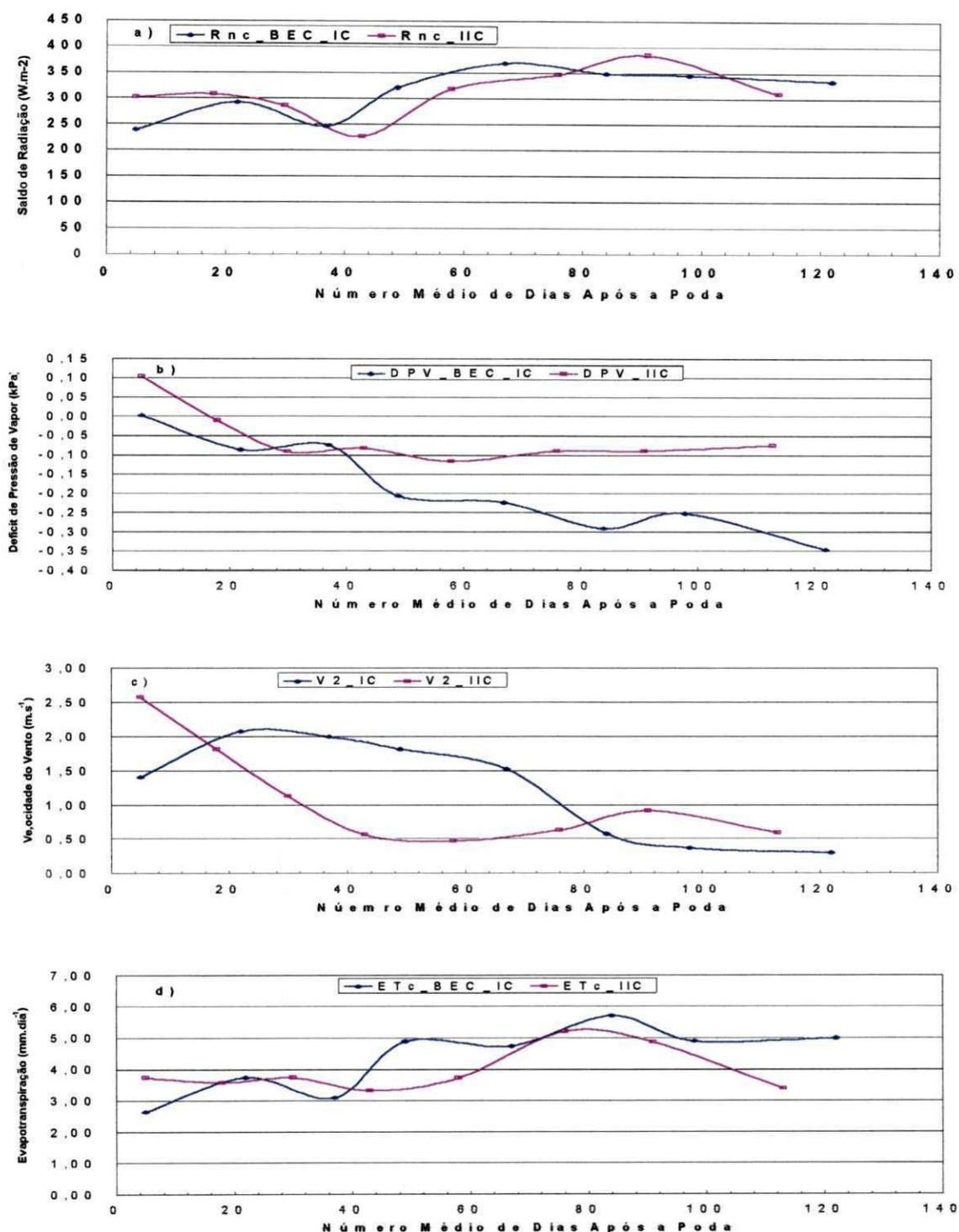


Fig. 7.3.1 – Comportamentos das curvas dos parâmetros utilizados no balanço de energia pela razão de Bowen para o sistema “copa-solo”, durante o 1º ciclo de cultivo para: a) saldo de radiação – Rnc; b) déficit de pressão de vapor - DPV; c) velocidade do vento – V2; d) evapotranspiração da videira -(ETc)_{c-s}_{BERB}, Petrolina – PE.

7.3. Análise Crítica da Evapotranspiração de Referência - ETo

As Tabelas 7.3.1 a 7.3.4 mostram os valores diários da evapotranspiração de referência - ETo, obtidos com base numa estação agrometeorológica convencional instalada no Campo Experimental de Bebedouro e numa estação agrometeorológica automática instalada na Fazenda Vale das Uvas, situada a 35 km de distância em relação ao Campo Experimental de Bebedouro, onde este estudo foi realizado, estando ambos os locais situados à margem esquerda do Rio São Francisco. Os valores diários de ETo foram calculados com base na metodologia proposta por Penman-Monteith (Allen *et al*, 1998).

As Figuras 7.3.1a e 7.3.1b apresentam uma análise comparativa entre os valores de ETo determinados pela metodologia de Penman-Monteith com base em dados coletados em estações agrometeorológicas convencional e automática, para os períodos compreendidos entre 01/07/01 e 05/11/01 e entre 04/12/01 e 31/03/02.

Pode-se verificar nas Figuras 7.3.1a e 7.3.1b, que tanto os valores de ETo_EC quanto os de ETo_EA oscilaram bastante ao longo dos períodos compreendidos entre 01/07/01 e 04/11/01 e entre 01/12/01 e 09/04/02. Verificou-se, também, que os valores de ETo_EC ora foram superiores aos de ETo_EA ora foram inferiores. Quando se fez uma análise comparativa entre ETo_EC e ETo_EA, em termos percentuais, verificou-se que as diferenças entre os valores de ETo obtidos com base em estação agrometeorológica convencional versus estação agrometeorológica automática oscilaram entre 0,00 e 35,01%, para o período compreendido entre os meses de julho/01 a nov/01 e entre 0,01 e 37,80% para o período entre 01/12/01 e 31/03/02, cujos parâmetros estatísticos foram da ordem de $7,55 \pm 6,10$, com CV = 80,80% e de $9,52 \pm 8,88$ com CV = 93,25%, respectivamente (Figura 7.3.2). As maiores diferenças foram obtidas para o período compreendido entre julho e novembro/2001, devido a erros, provavelmente ocorridos por ocasião da leitura e/ou do processamento dos dados coletados para a determinação dos coeficientes da equação de Angstron.

Fez-se, ainda, uma análise comparativa destes valores de ETo com base na metodologia recomendada por Spano *et al*. (2000), utilizando a Raiz Quadrada do Quadro Médio do Resíduo, cujos resultados foram da ordem de 67,30% e de 48,52% para o 1º e 2º ciclos, respectivamente.

Tabela 7.3.1. Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos com base em dados coletados numa estação agrometeorológica convencional para o 1º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Julho/2001		Agosto/2001		Setembro/2001		Outubro/2001	
Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)
01	3,73	01	5,09	01	5,67	01	6,74
02	4,44	02	5,18	02	5,53	02	6,99
03	4,17	03	4,81	03	4,39	03	6,68
04	4,43	04	4,46	04	5,49	04	6,79
05	4,30	05	4,34	05	6,13	05	7,59
06	3,00	06	4,81	06	5,68	06	6,15
07	3,28	07	4,00	07	5,91	07	6,42
08	3,58	08	4,50	08	6,41	08	6,17
09	3,12	09	2,91	09	5,62	09	5,71
10	4,53	10	4,76	10	5,71	10	6,63
11	4,18	11	2,82	11	5,88	11	6,23
12	4,52	12	2,71	12	5,43	12	5,08
13	4,20	13	3,53	13	6,45	13	5,31
14	4,35	14	4,11	14	4,99	14	6,51
15	3,33	15	3,96	15	5,61	15	6,11
16	3,86	16	5,41	16	5,55	16	3,63
17	3,14	17	4,88	17	5,22	17	4,10
18	4,40	18	5,07	18	4,49	18	6,19
19	3,06	19	4,84	19	3,79	19	6,22
20	4,66	20	4,42	20	4,72	20	5,04
21	4,29	21	5,44	21	4,53	21	5,85
22	4,41	22	4,93	22	5,87	22	5,96
23	4,55	23	5,05	23	5,84	23	5,98
24	4,73	24	4,82	24	6,77	24	5,66
25	4,49	25	6,16	25	5,99	25	6,85
26	4,24	26	5,51	26	5,85	26	6,96
27	5,31	27	5,65	27	6,01	27	6,06
28	5,18	28	5,41	28	6,27	28	6,30
29	4,77	29	5,21	29	5,54	29	5,95
30	4,97	30	5,95	30	6,24	30	5,97
31	5,59	31	4,84			31	7,30

Tabela 7.3.2. Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos com base numa estação agrometeorológica convencional para o 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Dezembro/01		Janeiro/02		Fevereiro/02		Março/02	
Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)
01	3,90	01	3,60	01	4,90	01	5,41
02	3,80	02	2,38	02	4,25	02	5,24
03	5,17	03	2,94	03	4,89	03	3,85
04	6,44	04	2,20	04	4,37	04	4,19
05	6,72	05	3,84	05	3,23	05	2,74
06	6,13	06	2,46	06	3,41	06	4,75
07	6,55	07	2,33	07	4,39	07	3,60
08	6,34	08	3,39	08	4,73	08	4,78
09	6,13	09	2,71	09	3,95	09	5,13
10	6,50	10	3,70	10	4,78	10	5,38
11	5,05	11	4,55	11	4,45	11	3,98
12	5,37	12	2,97	12	4,58	12	4,25
13	5,51	13	5,07	13	4,49	13	4,96
14	7,12	14	4,44	14	4,50	14	5,12
15	7,29	15	2,73	15	4,52	15	5,06
16	7,24	16	2,33	16	4,83	16	4,60
17	7,50	17	3,15	17	4,92	17	4,88
18	7,11	18	2,41	18	5,04	18	4,03
19	6,78	19	3,45	19	5,34	19	4,29
20	6,44	20	3,83	20	5,69	20	3,15
21	4,94	21	4,11	21	5,05	21	5,08
22	6,93	22	2,32	22	4,86	22	4,38
23	7,07	23	5,09	23	5,32	23	4,69
24	6,35	24	5,05	24	5,53	24	4,69
25	7,05	25	3,43	25	5,54	25	4,73
26	7,72	26	4,76	26	5,39	26	5,31
27	6,29	27	5,02	27	4,86	27	4,92
28	5,12	28	4,95	28	5,21	28	4,56
29	2,73	29	5,14	29		29	5,04
30	3,49	30	5,32	30		30	5,06
31	2,53	31	3,90	31		31	4,41

Tabela 7.3.3. Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos com base em dados coletados numa estação agrometeorológica automática para o 1º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Julho/2001		Agosto/2001		Setembro/2001		Outubro/2001	
Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)
01	3,20	01	4,68	01	5,08	01	6,58
02	4,09	02	5,30	02	5,97	02	6,61
03	4,00	03	5,13	03	5,34	03	6,58
04	4,10	04	3,98	04	5,42	04	6,59
05	4,66	05	4,32	05	5,41	05	6,46
06	2,89	06	5,53	06	6,12	06	6,15
07	4,43	07	4,49	07	5,72	07	6,00
08	3,99	08	4,31	08	6,46	08	5,68
09	3,27	09	3,52	09	5,43	09	5,06
10	4,49	10	4,64	10	5,85	10	6,43
11	4,41	11	3,52	11	5,61	11	6,41
12	3,90	12	3,51	12	6,75	12	5,31
13	4,64	13	4,19	13	6,20	13	5,73
14	4,55	14	3,90	14	5,03	14	6,43
15	3,55	15	4,26	15	5,39	15	5,36
16	3,45	16	5,06	16	5,23	16	3,45
17	3,58	17	5,05	17	6,11	17	3,71
18	4,27	18	5,24	18	5,04	18	5,21
19	3,21	19	4,84	19	4,59	19	6,04
20	4,26	20	4,64	20	4,79	20	4,65
21	4,13	21	5,44	21	4,88	21	5,84
22	4,16	22	4,61	22	5,18	22	5,64
23	4,82	23	5,68	23	6,43	23	6,00
24	4,43	24	4,70	24	6,76	24	5,28
25	4,16	25	5,43	25	6,49	25	6,18
26	4,58	26	5,27	26	5,42	26	6,09
27	4,69	27	5,13	27	5,99	27	6,30
28	4,45	28	4,77	28	6,58	28	5,94
29	5,06	29	5,55	29	5,73	29	6,24
30	4,48	30	5,97	30	6,42	30	6,10
31	5,00	31	5,01			31	6,91

Tabela 7.3.4. Valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) obtidos com base numa estação agrometeorológica automática para o 2º ciclo de produção da videira, Petrolina – PE.

Dezembro/01		Janeiro/02		Fevereiro/02		Março/02	
Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)	Data	ET _o (mm)
01		01	3,71	01	5,01	01	5,28
02		02	2,30	02	4,83	02	5,31
03		03	3,76	03	5,15	03	4,72
04	5,93	04	1,64	04	4,83	04	3,81
05	6,66	05	4,07	05	2,81	05	3,32
06	6,32	06	1,97	06	4,28	06	4,32
07	6,54	07	1,65	07	4,76	07	4,34
08	6,71	08	3,43	08	4,48	08	4,53
09	6,21	09	3,17	09	3,66	09	5,12
10	6,27	10	3,81	10	4,64	10	5,23
11	5,35	11	4,96	11	4,84	11	4,61
12	6,12	12	4,09	12	4,31	12	4,56
13	5,91	13	4,43	13	4,31	13	5,39
14	6,85	14	4,35	14	4,77	14	5,01
15	7,04	15	3,63	15	4,98	15	5,04
16	6,92	16	1,94	16	4,46	16	4,83
17	7,48	17	3,00	17	4,82	17	5,09
18	6,56	18	2,46	18	4,75	18	4,35
19	6,32	19	4,43	19	5,32	19	4,94
20	6,72	20	4,39	20	5,92	20	2,97
21	5,32	21	5,13	21	4,99	21	4,72
22	7,17	22	3,01	22	4,86	22	3,84
23	7,01	23	4,46	23	5,07	23	4,33
24	6,66	24	4,62	24	5,06	24	3,82
25	7,43	25	3,59	25	5,08	25	4,42
26	7,18	26	4,92	26	4,78	26	4,71
27	6,23	27	4,25	27	5,49	27	6,54
28	5,47	28	4,75	28	5,37	28	4,39
29	1,90	29	4,71	29		29	4,44
30	4,43	30	5,05	30		30	5,61
31	1,63	31	4,48			31	4,81

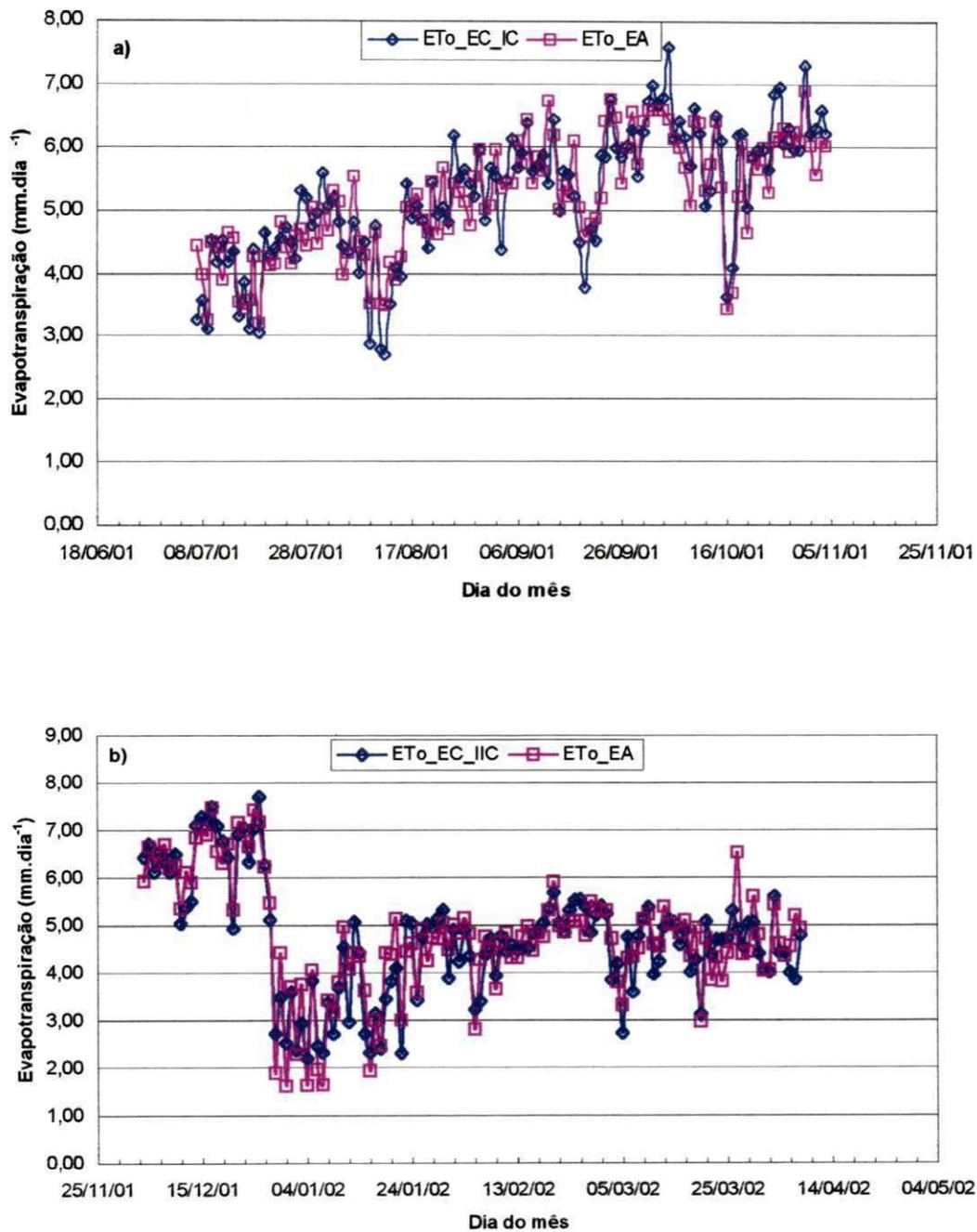


Fig. 7.3.1. Comparação entre os valores de ETo obtidos com base em dados coletados em estações agrometeorológicas convencional e automática, correspondentes aos períodos de: a) de 01/07 a 04/11/2001 e b) 01/12/2001 a 09/04/2002, Petrolina – PE.

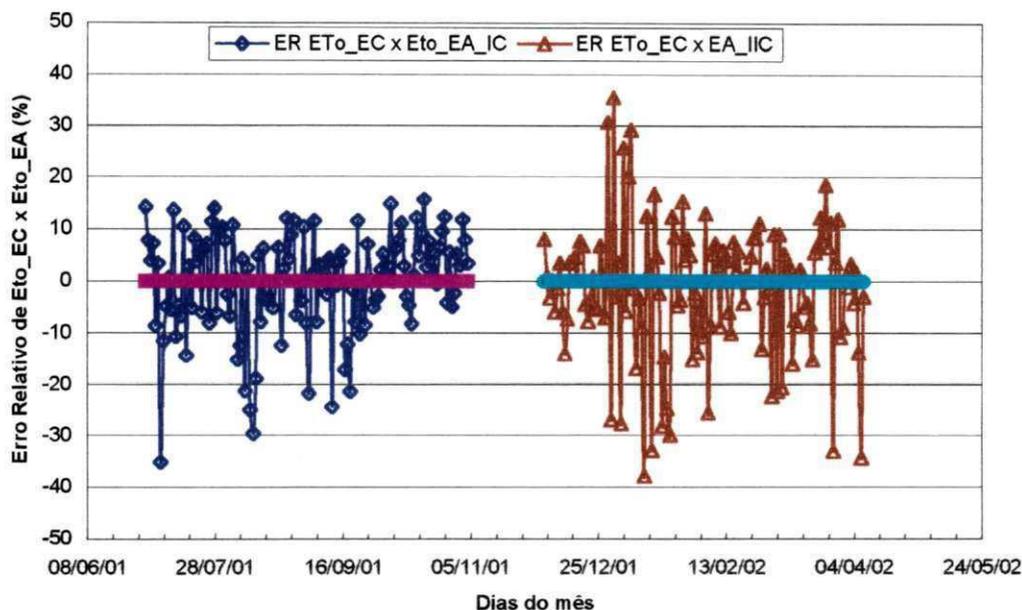


Fig. 7.3.2. Análise comparativa entre os valores de evapotranspiração de referência, em termos percentuais, obtidos com base em dados coletados em estações agrometeorológicas convencionais e automática relativa a dois períodos distintos do ano, Petrolina – PE.

Verifica-se, portanto, que os valores de ETo, mesmo obtidos por meio da metodologia proposta por Penman-Monteith, recomendada pelo manual 56 da FAO (Allen *et al.*, 1998), podem-se tornar sub ou superestimados para dias específicos do ano, quando se utilizam dados coletados em estações agrometeorológicas convencionais, mesmo que os coeficientes da equação de Angstron tenham sido determinados mês a mês para a região considerada. Recomenda-se, portanto, que mesmo quando se utilizem dados coletados em estações agrometeorológicas convencionais, usem-se os valores de radiação global medidos por meio de actinógrafos, ao invés de calculá-los por meio de equações empíricas.