

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua  
relação com a evapotranspiração de referência**

**Shiguekazu Karasawa**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente  
Agrícola

Piracicaba  
2006

**Shiguekazu Karasawa**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. LUIZ ROBERTO ANGELOCCI**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Física do Ambiente Agrícola**

**Piracicaba**  
**2006**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Karasawa, Shiguekazu

Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência / Shiguekazu Karasawa. - - Piracicaba, 2006.  
95 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.  
Bibliografia.

1. Café 2. Evapotranspiração 3. Irrigação por gotejamento 4. Transpiração vegetal  
I. Título

CDD 633.73

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

Aos meus pais, MASARU e KAZUE,  
e minha irmã HIROYO, com  
muito amor, gratidão e respeito

OFEREÇO

À amada MARINES, e a nossa  
filha ELIANE,

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e presença constante, guiando-me em meu caminho.

Ao professor Luiz Roberto Angelocci, pela orientação e ensinamentos, amizade, incentivo e contribuição para o meu crescimento profissional.

Aos professores Jarbas Honório de Miranda, Paulo César Sentelhas, Quirijn de Jong van Lier, Sérgio Oliveira Moraes, Sonia Maria de Stefano Piedade, Valter Barbieri e Nilson Augusto Villa Nova pela amizade e colaboração.

Aos amigos do Departamento de Ciências Exatas José Eduardo Monteiro (“Pinhão”), Ricardo Wanke e Pilau, pelo convívio amigo e colaboração.

Aos amigos de Departamento de Engenharia Rural, Juan, Cláudio, Tonny e Roberto Atarassi (“Pelé”) que auxiliaram muito nas dúvidas que obtive com os lisímetros e programações de “dataloggers” e multiplexadores.

Aos colegas de curso Adriano, Alexandre, Beatriz, Cristiane, Derblai, Eduardo, Evandro, Gustavo, Jones Santiago pela amizade e momentos de descontração.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, e ao Curso de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola, por proporcionar crescimento pessoal e profissional a seus alunos.

A CNPq/CT-Hidro-Brasil pela concessão da bolsa.

À FAPESP e ao CNPq, pelo suporte financeiro para instalação e condução do experimento.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Exatas, Edivaldo, Expedita, Fernando, Francisco, Robinson, Solange e Vanderlino pelo auxílio e serviços prestados.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ pela manutenção da área experimental e auxílio em todos os serviços ligados a campo.

A prefeitura do Campus “Luiz de Queiroz” e ao Departamento de Engenharia Rural da ESALQ pelo auxílio realizado no transplante das plantas, sem a qual seria impossível obter medidas lisimétricas.

Aos demais amigos e pessoas que de uma forma ou outra estiveram ao meu lado, auxiliando e incentivando para a conclusão desse trabalho.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1 INTRODUÇÃO .....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 Cafeeiro: importância, necessidades hídricas e necessidades de irrigação .....	11
2.2 Metodologia para determinação do consumo de água por cafezais .....	16
2.2.1 Método de balanço de energia – razão de Bowen na determinação da evapotranspiração do cafezal .....	17
2.2.2 Lisimetria na determinação da evapotranspiração da linha de cafeeiro ( <i>ETlin</i> ) .....	19
2.2.3 Determinação do fluxo de seiva .....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	24
3.1 Caracterização da área experimental e manejo do cafezal .....	24
3.2 Determinação da evapotranspiração do cafezal pelo método de balanço de energia .....	25
3.3 Evapotranspiração da linha de cafeeiros .....	29
3.4 Transpiração do cafeeiro .....	31
3.5 Evapotranspiração de referência .....	33
3.6 Determinação das relações entre evapo(transpi)ração do cafezal e evapotranspiração de referência ( <i>ETo</i> ) .....	35
3.7 Área foliar dos cafeeiros .....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
4.1 Condições meteorológicas e de água no solo .....	37
4.2 Condições de cobertura vegetal e de crescimento do cafezal .....	44
4.3 Avaliação do desempenho dos métodos de determinação dos fluxos de água no cafezal .....	48
4.3.1 Método do balanço de energia – razão de Bowen .....	48
4.3.2 Lisimetria; efeito da área foliar dos cafeeiros na evapotranspiração .....	56
4.3.3 Sonda de dissipação térmica e fluxo de seiva .....	64
4.4. Evapotranspiração global, sua partição nos componentes constituintes do cafezal e relações com a evapotranspiração de referência .....	72
4.4.1 Evapotranspiração global do cafezal .....	72
4.4.2 Partição da evapotranspiração do cafezal em seus fluxos componentes .....	78
5 CONCLUSÕES .....	87

REFERÊNCIAS ..... 89

## RESUMO

### Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência

O uso crescente de irrigação na cafeicultura devido ao cultivo em áreas com maior deficiência hídrica exige conhecimento sobre o consumo de água da cultura. Para contribuir para esse conhecimento, a evapotranspiração global do cafezal ( $ET_c$ ) e sua partição nos fluxos componentes evapotranspiração das linhas de cafeeiros ( $ET_{lin}$ ), evapotranspiração das entrelinhas ( $ET_{el}$ ) e a transpiração dos cafeeiros ( $T$ ) foram determinadas em um cafezal de *Coffea arabica* cv. Obatã IAC-1669-20, cultivado em Piracicaba, SP, em espaçamento de 3,50 m x 0,90 m, irrigado por gotejamento e idade entre 3 a 4 anos, com medidas de setembro/04 a maio/05 e em setembro e outubro de 2005.  $ET_c$  foi determinada pelo método de balanço de energia-razão de Bowen,  $ET_{lin}$  por lisímetros de células de carga, sendo estes usados em vários períodos com o solo coberto com plástico para determinação direta da transpiração e para calibrar o método da sonda de dissipação térmica, usado na determinação do fluxo de seiva ( $FS$ ) dos cafeeiros. Em abril-maio/05,  $FS$  foi usado como uma estimativa de  $T$  diária.  $ET_c$  e componentes foram relacionados com a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith ( $ET_o$  1) e do tanque classe A ( $ET_o$  2). O calor latente de vaporização ( $LE$ ) representou a maior fração na partição da energia disponível (saldo de radiação menos fluxo de calor no solo), com variação de 73 a 80 % ao longo dos meses, não se podendo descartar a contribuição de calor advectivo para os valores encontrados nos meses secos.  $ET_c$  cresceu a partir de setembro/04 a fevereiro/05 (2,75 a 4,58 mm d<sup>-1</sup>), refletindo principalmente o incremento de área foliar e diminuindo, posteriormente, até maio/05 (3,13 mm d<sup>-1</sup>) com a diminuição da demanda atmosférica. Em setembro-outubro/05 os valores foram maiores (2,93 e 4,29 mm d<sup>-1</sup>) do que os observados no mesmo período em 2004, sendo o aumento da área foliar uma das responsáveis pelo fato. A relação  $ET_c/ET_o$  (“ $K_c$  global da cultura”) foi maior quando calculada com  $ET_o$  1 do que com  $ET_o$  2, sendo os valores crescentes até janeiro/05 (1,20 com  $ET_o$  1 e 1,21 com  $ET_o$  2) mas com o menor valor em setembro/04 (0,67 e 0,54) e com diminuição da tendência de acréscimo em fevereiro/05 (1,17 e 0,73), provavelmente pela regulação estomática dos cafeeiros devido à alta demanda atmosférica nesses meses. A contribuição de  $ET_{lin}$  para a  $ET_c$  variou pouco entre setembro/04 e fevereiro/05 (24 % a 31 %), aumentando em março e abril (35 % e 40 %), valores esses próximos da proporção entre a área de solo coberta pelos cafeeiros e a área total (linhas+entrelinhas). A relação  $ET_{lin}/ET_o$  variou entre 0,20 (uso de  $ET_o$  1) e 0,16 (com  $ET_o$  2) em setembro/04 a 0,36-0,47 (com  $ET_o$  1) e 0,25-0,49 nos outros meses. A  $T$  dos cafeeiros por unidade de área foliar diminuiu com o aumento da área foliar. A relação  $T/ET_{lin}$  variou de 72 % em fevereiro a 46 % em abril, sendo o valor de  $T/ET_o$  (“ $K_c$  basal”) variável entre 0,13 (com  $ET_o$  1) e 0,10 (com  $ET_o$  2) em setembro a 0,30 (independente do método de estimativa de  $ET_o$ ) em abril e maio/04, provavelmente refletindo a menor atividade fisiológica.

Palavras-Chave: evapotranspiração de cultura, fluxo de seiva, transpiração, coeficiente de cultura, *Coffea arabica*, lisimetria, sonda de dissipação térmica



## ABSTRACT

### Evapotranspiration in a drip-irrigated hedgerow-coffee plantation and its relationship with the reference evapotranspiration

The increasing use of irrigation in coffee plantations in Brazil, due to the displacement of the crop to areas where water deficit occurs, requires knowledge about crop water consumption. Aiming to know more about coffee plantation water consumption, daily crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) and its partition in row evapotranspiration ( $ET_{row}$ ), interrows evapotranspiration ( $ET_{int}$ ) and coffee plants transpiration ( $T$ ) were determined in a drip-irrigated coffee plantation (cv. Obatã IAC-1669-20), cultivated at 3.5 m between rows and 0.9m between plants, in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. The ET and wheater variables measurements were carried out from September 2004 to May 2005 and from September to October 2005.  $ET_c$  was determined by he Bowen ratio-energy balance method,  $ET_{row}$  by load cell lysimeters and  $T$  with lysimeters with soil surface covered with plastic or by sap flow determined with the thermal dissipation probe method (TDP). Lysimeters were also used to calibrate the TDP method. So, sap flow was adopted as representative of coffee plants transpiration for 24-h period. ET and its components were related to the reference evapotranspiration, determined by Penman-Monteith ( $ET_o 1$ ) and Class-A pan ( $ET_o 2$ ) methods. Latent heat of vaporization ( $LE$ ) represented the major fraction (73 a 80 %) of the available energy (net radiation less soil heat flux) along the months, but a contribution of advective heat flux in dry months must be considered for the observed values.  $ET_c$  increased from September 2004 to February 2005 (from 2.75 to 4.58 mm d<sup>-1</sup>), which is reflecting the increase of coffee plants leaf area. From March to May 2005,  $ET_c$  decreased according to the decrease of the atmospheric demand. In September and October 2005,  $ET_c$  were greater, respectively, 2.93 and 4.29 mm d<sup>-1</sup>, than those observed in the same months of 2004 and, again the increase of leaf area was the responsible for these differences.  $ET_c/ET_o$ , defined as a “global Kc”, was greater when determined with  $ET_o 1$  than when determined with  $ET_o 2$ , increasing with the leaf area. from September 2004 (0.67 with  $ET_o 1$  and 0.54 with  $ET_o 2$ ) to January 2005 (1,20 and 1,21). In February Kc decreased to 1.17 (with  $ET_o 1$ ) and 0.73 (with  $ET_o 2$ ), probably as a consequence of the coffee plants stomatal control due to the high atmospheric demand. The contribution of  $ET_{row}$  to  $ET_c$  varied between 25 % and 31 % for the period September 2004-February 2005, increasing in March and April 2005 (35 % and 40 %). These values were close to those observed for the ratio between the area of soil covered by coffee plants and the total area (rows+interrows).  $ET_{int}/ET_o$  changed from 0.20 or 0.16 (using  $ET_o 1$  and  $ET_o 2$ , respectively) in September 2004 to 0.36-0.47 (with  $ET_o 1$ ) or 0.25- 0.49 (with  $ET_o 2$ ) in the other months. Coffee plant transpiration per leaf area unit decreasead with the increase of leaf area.  $T/ET_{row}$  changed from 0.72 (February) to 0.46 (April).  $T/ET_o$  (“basal Kc”) ranged from 0.13 (with  $ET_o 1$ ) or 0.10 (with  $ET_o 2$ ) in September 2004 to 0.30 (for both  $ET_o 1$  or  $ET_o 2$ ) in February, but decreased in April and May 2005, probably reflecting the decrease in the physiological activity of coffee plants.

Keywords: crop evapotranspiration, sap flow, plant transpiration, crop coefficient, *Coffea arabica*, lisimetry, thermal dissipation probe

## INTRODUÇÃO

O agronegócio do café é uma das atividades que mais gera empregos e recursos, sendo uma cadeia que contribui significativamente na formação do PIB e, portanto, de grande importância na agricultura brasileira.

O cafeeiro, originário de ambiente de sub-bosque na África, foi introduzido no Brasil no século XVIII, sendo que o percurso da sua expansão no país tem uma história. Iniciou-se o plantio na região norte, chegando até a região sudeste e norte do Paraná, expandindo-se nas últimas décadas ao nordeste e, atualmente, até o Estado de Rondônia. A cultura de *Coffea arabica* adaptou-se no cultivo a pleno sol e atualmente, devido ao clima propício, principalmente no período que antecede a colheita e preserva a sua qualidade extrema, aliada à possibilidade de mecanização desde o plantio a colheita, locais considerados marginais estão sendo hoje cultivados graças à avançada tecnologia na área de irrigação. Estima-se que as áreas irrigadas, já ultrapassem 300.000 hectares, sendo a regiões sul da Bahia e norte do Espírito Santo detentoras principais dessas áreas, seguidas do norte da Bahia e Minas Gerais. Devido à necessidade de garantia de entrega do produto ao comprador no prazo certo e na quantidade e qualidades pactuadas, muitas empresários utilizam a irrigação, mesmo não sendo em áreas marginais.

Os estudos sobre consumo de água de *Coffea arabica* originaram-se no Quênia com Nutman (1941), sendo que no Brasil Franco e Inforzato (1950), Franco e Inforzato (1951) parecem ter sido os primeiros a estudar a transpiração de cafeeiros tanto em condições a pleno sol como de sombreamento. Estudos de consumo de água continuaram a ser feitos no Quênia (PEREIRA, 1957; WALLIS, 1963) e tomaram impulso principalmente nos últimos 15 anos frente ao cenário descrito no parágrafo anterior, de aumento de interesse de irrigação dos cafezais. No Brasil, a determinação das necessidades hídricas da cultura do cafeeiro sob irrigação é uma das linhas de estudo proposta no Programa de Pesquisa de Desenvolvimento de Café (NACIF; MALAFAIA Jr., 2001). Além disso, as diferentes condições de crescimento encontradas (idade, densidade, formas de plantio – adensado ou não, em renques com diferentes orientações) afetam o consumo de água, tornando necessários estudos abrangentes que levem em conta esses aspectos.

Gutiérrez e Meinzer (1994) no Haváí, Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), Arruda et al. (2000) no Brasil, são exemplos de autores que trabalharam ou trabalham nessa linha de

pesquisa de consumo de água de cafezais nos últimos anos. Apesar da ampla informação trazida por seus trabalhos, há necessidade de outros estudos que a amplie.

Na ESALQ, os Departamentos de Ciências Exatas e de Produção Vegetal tem produzido trabalhos na linha de determinação da evapotranspiração de cafezais adensados (VILLA NOVA et al., 2002; MARIN, 2003; MARIN et al., 2004; RIGHI, 2004). O trabalho de Righi (2004) foi realizado em cafeeiro semi-adensado, irrigado por gotejamento e em crescimento (1 a 2 anos após o plantio), obtendo-se informações sobre a partição do balanço de energia e da evapotranspiração do cafezal e dos componentes de sua cobertura total (linha de plantio e entrelinhas), com uma detalhada análise de desempenho dos métodos e técnicas usadas.

O presente trabalho foi realizado no mesmo cafezal utilizado por Righi (2004), agora num outro estágio de crescimento (3 a 4 anos após o plantio), em situação de infra-estrutura de medidas ampliadas e em alguns pontos modificada, com seguintes objetivos:

- a) Determinar a partição do saldo de radiação do cafezal nessas condições em calor latente e calor sensível;
- b) Determinar a evapotranspiração global do cafezal pelo método de balanço de energia – razão de Bowen num período que envolve desde a retomada do crescimento (setembro 2004) até a fase de maturação (medidas até maio 2005), bem como nos primeiros meses de retomada do crescimento em 2005 (setembro-outubro);
- c) A partição dessa evapotranspiração nas suas componentes da linha de cafeeiros e das entrelinhas;
- d) Determinar a partição da evapotranspiração das linhas de plantio nas componentes transpiração dos cafeeiros e evaporação do solo;
- e) Relacionar a evapotranspiração e suas componentes com a evapotranspiração de referência.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cafeeiro: importância, necessidades hídricas e necessidades de irrigação

Existe quase uma centena de espécies de *Coffea* (FAZUOLI, 1986) sendo *C. arabica* L (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café canéfora) as únicas de expressão econômica no mercado mundial.

O café arábica é originário do continente africano, das regiões altas da Etiópia (Cafa, Enária), em altitudes de 1600 m a 2800 m, onde ocorre espontaneamente como planta de sub-bosque. O local é caracterizado por ter um clima ameno, sendo que a temperatura do ar pouco oscila, raramente ultrapassando 30°C e dificilmente caindo a valores inferiores a 5°C, com médias anuais em torno de 20°C, com boas distribuições pluviométricas, oscilando entre 1600 a 2000 mm, com período de seca de três a quatro meses, ocorrendo entre outubro a janeiro (MENDES; GUIMARÃES, 1998; CARR, 2001; DAMATTA; RENA, 2002; ANDRADE; SANTOS, 2004).

Já o café canéfora é, também, originário do continente africano, porém, das florestas equatoriais da bacia do rio Congo. A altitude desta região é predominantemente ao nível do mar, mas atingindo até 1200 m. Pelo fato da baixa altitude da região predomina, as temperaturas médias anuais giram em torno de 26 °C. Quanto às características pluviométricas, são semelhantes às do local de origem do café arábica (DAMATTA; RENA, 2002).

A variedade Obatã IAC 1669-20, usada no experimento, foi concebida no Centro Internacional das Ferrugens de Cafeeiro (CIFC), em Oeiras, Portugal. É resultado de cruzamento de ‘Villa Sarchi’ com ‘Híbrido de Timor’. O material introduzido no Brasil, inicialmente foi plantado em 1972 em Campinas, SP, sendo posteriormente lançado oficialmente pelo IAC em 2000. Sua principal característica é de porte baixo, portanto, de internódios curtos e resistentes ao agente causal da ferrugem. Apresenta maturação tardia, de frutos vermelhos, com boa produtividade, tendo-se conseguido a média de 42,5 sacas ha<sup>-1</sup> em seis colheitas consecutivas, num experimento em Garça, SP (FAZUOLI et al., 2002).

O Brasil é o maior produtor, consumidor e exportador de café do mundo, tendo exportado 84,9 milhões de sacas em 2003, totalizando cerca de US\$ 5,6 bilhões de dólares (VALE, 2004). A exploração é na maior parte a pleno sol, havendo cultivos desde o norte do Estado do Paraná até o Estado de Rondônia.

Segundo Camargo e Pereira (1994), a irrigação do cafeeiro é obrigatória em regiões na qual a deficiência hídrica anual determinada pelo balanço hídrico climatológico é superior a 200 mm, sendo complementar quando a deficiência anual fica na faixa de 150 mm a 200 mm. Nas últimas décadas, a cafeicultura nacional expandiu-se para regiões onde existe essa condição de deficiência e a irrigação passa a ser fundamental.

Além disso, mesmo em regiões tradicionais de cultivo, a irrigação suplementar pode ser interessante em fases do ciclo, como na época do florescimento, cuja indução e maturação das gemas florais ocorrem de abril a agosto (CAMARGO; CAMARGO, 2001), período de máxima deficiência hídrica nas regiões produtoras no Brasil. Embora ocorra no período de restrição do desenvolvimento da cultura, a irrigação nesse período pode ser interessante para minimizar um estresse hídrico excessivo (CARR, 2001; RIGHI, 2004). Em períodos posteriores à indução ao florescimento, mesmo nas regiões onde a deficiência hídrica anual não atinge o valor citado por Camargo e Pereira (1994), a irrigação pode trazer benefícios, como no período de floração no início da primavera, pela quebra de dormência dos botões florais (CAMARGO; PEREIRA, 1994; CARR, 2001; RIGHI, 2004) ou, posteriormente, pela ocorrência de veranicos durante os estágios, por exemplo, de desenvolvimento dos frutos que coincidem com a produção. Com a irrigação é possível não somente obter maior produtividade, mas também o aumento da qualidade do produto.

O Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, sob coordenação da EMBRAPA e com participação de dezenas instituições de ensino e pesquisas brasileiras, definiu um subprograma de Cafeicultura Irrigada, dentro do qual encontra-se o item “Determinação das Necessidades Hídricas da Cultura do Café sob Irrigação” (4°. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 2001).

Esse item foi escolhido porque, embora estudos de consumo de água de cafeeiros tenham sido feitos a partir da década de 1930 na África (NUTMAN, 1941), e da década de 50 no Brasil (FRANCO; INFORZATO, 1950; FRANCO; INFORZATO, 1951), eles estavam dirigidos somente para a transpiração. A partir da década de 1980, com a expansão da cafeicultura para regiões fora daquelas de cultivo tradicional, a introdução de plantios adensados e de diferentes sistemas de distribuição de água na cultura, como pivô central e a irrigação localizada por mini-aspersão e gotejamento, exige pesquisa que responda à demanda dos cafeicultores irrigantes, a ponto de Santos et al. (1998) detectarem entre as principais dificuldades desses cafeicultores a

falta de informação sobre os aspectos técnicos da irrigação. Carr (2001) informa, também, que muitas das relações hídricas do cafeeiro não estão bem quantificadas e definidas para a prática irrigacionista.

Nos últimos anos tem havido esforço de pesquisa para atender a essa demanda, com uso de técnicas modernas de determinação do consumo de água, tanto no cafezal com um todo, como na parte dele onde se encontram os cafeeiros, ou seja, na linha de plantio quando se usa cafezais adensados ou semi-adensados. Gutiérrez e Meinzer (1994) determinaram no Havaí a evapotranspiração global e sua partição em transpiração dos cafeeiros (pela determinação do fluxo de seiva pelo método de balanço de calor no caule) e da evapotranspiração da vegetação intercalar em cafezais irrigados por gotejamento, em densidades de 4000 pl ha<sup>-1</sup> (3,50 m x 0,70 m) com diferentes idades e índices de área foliar (1,4 a 7,5), concluindo que com IAF acima de 3,0 a contribuição da transpiração para a evapotranspiração dos cafezais tornou-se preponderante, chegando à conclusão que para IAF de 6,8 a transpiração dos cafeeiros responderia por toda a evapotranspiração do cafezal. Encontraram valores de coeficientes de cultura (Kc) crescentes de acordo com a idade dos cafezais, desde 0,42 a 0,81.

Santinato, Fernandes e Fernandes (1996) propuseram coeficientes de cultura variáveis de acordo com as condições do cafezal, levando em conta a idade, a densidade e o espaçamento de plantio. Para as condições do presente estudo, enquadra-se na faixa de 3.333 pl ha<sup>-1</sup>, onde para as faixas de idade de 0 – 12, 12 – 36 e superior a 36 meses após o plantio, os valores de Kc ficaram nas faixas de 0,7, 0,9 a 1,1, respectivamente, sendo que Arruda et al. (2000) obtiveram valores de Kc entre 0,73 e 0,93 para cafezais com diferentes idades. Villa Nova et al. (2002) determinaram valores de Kc em cafezal ‘Mundo Novo’ com 4.000 pl ha<sup>-1</sup>, entre 15 e 40 meses após o plantio, irrigado por aspersão, considerando a contribuição para a evapotranspiração total do cafezal tanto da vegetação intercalar como dos cafeeiros.

Marin (2003) e Marin et al. (2004) realizaram estudos no mesmo cafezal utilizado por Villa Nova et al. (2002), agora em idade maior (5 anos após plantio) e irrigado por gotejamento, usando o método da razão de Bowen para determinar a evapotranspiração global do cafezal, enquanto a transpiração dos cafeeiros foi determinada por medidas de fluxo de seiva feitas pelo método de balanço de calor no caule desde o final de agosto a outubro. Os resultados desses autores mostraram que a transpiração dos cafeeiros foi responsável por 90 % da ET do cafezal quando o solo das entrelinhas não tinha vegetação ativa (setembro) e 69 % quando essa vegetação

estava desenvolvida (outubro), sendo que o coeficiente global da cultura foi próximo de 1,0, repartido entre 0,8 do coeficiente basal (referente a transpiração dos cafeeiros) e 0,2 para o coeficiente evaporativo no período de final de agosto a final de outubro. Marin et al. (2004) verificaram, também, que o coeficiente de cultura modificou-se de acordo com a demanda atmosférica representada pela evapotranspiração de referência.

Deve-se considerar que na determinação de  $K_c$  nesses dois trabalhos (Havaí e sudeste do Brasil), ênfase foi dada à contribuição da transpiração para a evapotranspiração dos cafeeiros e de todo o cafezal, a partir das medidas de fluxo de seiva por balanço de calor no caule, tendo Gutiérrez e Meinzer (1994) encontrado que a transpiração das linhas de cafeeiros aumentou sua participação na evapotranspiração global do cafezal estimada pelo método da razão de Bowen, conforme o índice de área foliar foi aumentando, sendo que para IAF de 6,8 ela teria participado com 100 % da evapotranspiração do cafezal, justificando aqueles autores que nesse valor de IAF a vegetação das entrelinhas ficaria sombreada a maior parte do dia, minimizando sua perda de água.

Tem-se tentado explicar a regulação da perda de água de várias formas. Um dos aspectos é qual seria o papel da regulação estomática, verificando-se, como ocorre com a maioria das espécies, haver uma grande dependência da condutância estomática com a temperatura do ar e o déficit de pressão de vapor, sendo que até um certo valor a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos também desempenha papel importante (BUTLER, 1977; FANJUL, 1985; BARROS; MAESTRI; RENA, 1995). Mas, um aspecto importante a considerar é que o efeito dos movimentos estomáticos na transpiração pode ser reduzido pelo grau de desacoplamento entre a pressão de vapor na camada-limite da folha e no ar turbulento, conforme proposto por Jarvis e McNaughton (1986) pelo uso de um coeficiente de desacoplamento  $\Omega$ . O valor de  $\Omega$  aumenta com o aumento da condutância estomática, mas o seu valor acaba determinado pela condutância da camada-limite do dossel ( $g_c$ ) de modo que características como folhas longas, diminuição do espaçamento e copas compactas e densas tendem a reduzir  $g_c$  e aumentar o desacoplamento.

Tausend, Meinzer e Goldstein (2000) fizeram um estudo com cafeeiros no Havaí verificando o efeito da arquitetura da copa, assim como da arquitetura hidráulica, no controle da transpiração, trabalhando com as variedades San Ramon, Caturra Amarelo e Typica, respectivamente, com área foliar de 11,7 m<sup>2</sup>, 5,0 m<sup>2</sup> e 18,0 m<sup>2</sup>, a pleno sol. O ‘Caturra Amarelo’

foi o que menos transpirou por unidade de área foliar (cerca de 60 % do 'Typica', com copa aberta), indicando o efeito das diferenças de  $g_c$  entre as variedades. Concluíram que as diferenças entre as três cultivares no controle da transpiração foram mais governadas por diferenças primariamente da arquitetura da copa e, em segundo plano, pela arquitetura hidráulica, do que pela fisiologia do estômato.

Muito provavelmente em função das relações citadas entre arquitetura de copa e hidráulica, de acordo com a variedade, os resultados de transpiração de cafeeiros encontrados na literatura são difíceis de serem comparados. À parte as diferenças de demanda atmosférica entre os diferentes estudos, a ordem de grandeza da transpiração encontrada por diferentes formas de estimativa ou de medidas da transpiração, em cafeeiros com baixa área foliar, como  $0,33 \text{ m}^2$  a  $2,09 \text{ m}^2$  (RIGHI, 2004) e  $0,67 \text{ m}^2$  (VILLA NOVA et al., 2002), até  $31,5 \text{ m}^2$  (FRANCO; INFORZATO, 1950), variou entre cerca de  $0,4 \text{ L m}^{-2}(\text{área foliar}) \text{ d}^{-1}$  a aproximadamente  $1,2 \text{ L m}^{-2}\text{d}^{-1}$ , enquanto que o trabalho de Tausend, Meinzer e Goldstein (2000) no Haváí, com as três cultivares citadas anteriormente, apresentou o 'Typica' dentro daquela gama ( $0,42 \text{ L m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ), enquanto que para 'San Ramon' caiu para  $0,34 \text{ L m}^{-2}\text{d}^{-1}$  e para 'Caturra Amarelo' mais ainda ( $0,24 \text{ L m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ). A mesma ordem de grandeza deve ter sido encontrado por Dauzat, Rapidel e Berger (2001) na Costa Rica com cultivar Catuaí Amarelo em cafezal com 10 anos de sua implantação, com transpiração da ordem de  $2,0 \text{ L m}^{-2}\text{d}^{-1}$ , mas sem informação de área foliar.

Um trabalho a se citar é o de Righi (2004), pelo fato de ter sido realizado em anos precedentes (2002-2003) no mesmo cafezal aqui utilizado, portanto em fase de início de crescimento. Aquele autor testou os métodos aerodinâmicos e da razão de Bowen na determinação da evapotranspiração global do cafezal ( $ET_c$ ), encontrando que o segundo apresentou melhor desempenho, utilizando-o, então, na partição do saldo de radiação do cafezal em calor latente ( $LE$ ) e calor sensível ( $H$ ). Os valores de  $LE$  representaram em média 88 % da radiação líquida descontada do fluxo de calor no solo na época úmida e 64 % no período seco. Utilizou lisimetria para a medida da evapotranspiração do renque de cafeeiros (ET linha de cafeeiros, incluindo-se o solo sob a saia dos mesmos), a das entrelinhas e a transpiração dos cafeeiros estimada a partir do fluxo de seiva pelo método do balanço de calor no caule. Dessa forma, concluiu que a evapotranspiração dos renques correspondeu a 22 % no período úmido e de 30 a 33 % no período seco, da evapotranspiração global. O coeficiente "global" de cultura variou de 1,27 – 1,30 no período chuvoso (novembro-dezembro), diminuindo para 1,11 – 1,13 entre



fevereiro e julho de 2003; em períodos mais secos foram observados valores de 1,04 e 0,86. O coeficiente basal variou de 0,03 a 0,20 entre setembro de 2002 e maio-julho de 2003, caindo depois para 0,13.

Nos trabalhos discutidos neste item foram utilizadas diferentes metodologias de estudo do consumo de água dos cafezais. Por esse motivo, nos próximos itens será feita uma revisão sobre esse assunto, dando-se ênfase para aquelas usadas neste trabalho.

## **2.2 Metodologia para determinação do consumo de água por cafezais**

O consumo de água de coberturas vegetais pode ser determinado por vários métodos. Na determinação da evapotranspiração total da cobertura, podem ser usados métodos micrometeorológicos, como o de balanço de energia – “razão de Bowen”, o aerodinâmico e o de correlação de turbilhões. Este último é bastante utilizado atualmente em culturas agrícolas e em florestas. Os métodos da razão de Bowen e o aerodinâmico são mais tradicionais. No caso específico de cafezais, o método aerodinâmico, da mesma maneira como encontrado por Marin (2000) e Pereira et al. (2003) em pomar de lima ácida, não mostrou desempenho satisfatório (RIGHI, 2004), pelo que no próximo item é dada ênfase somente ao método de balanço de energia na revisão.

O método lisimétrico também é bastante utilizado, embora seu uso em coberturas “descontínuas” apresente problemas. Ele foi utilizado nesse tipo de cobertura em pomar de lima ácida recém-implantado (CAMPECHE, 2002; COELHO FILHO, 2002), com bom desempenho somente quando se trabalhou na escala diária. Em cafezal em crescimento, ele foi usado para medida da evapotranspiração do renque de cafeeiros, mais a do solo na faixa irrigada por gotejamento por Righi (2004), sendo também utilizado no presente estudo, conforme discutido no item 3.2.2.

O balanço hídrico “in situ” pode também ser usado para determinação do consumo de água, embora haja necessidade de cuidados com as aproximações que nele existem e problemas de medidas de algumas de suas variáveis (REICHARDT, 1985). Villa Nova et al. (2002) utilizaram-no em cafezal entre 15 e 40 meses irrigado por aspersão, para determinação do coeficiente de cultura.

### **2.2.1 Método de balanço de energia – razão de Bowen na determinação da evapotranspiração do cafezal**

O princípio do método de balanço de energia consiste na contabilização dos diversos tipos de energia em interação com a superfície. Geralmente, a fonte principal de energia para a cobertura é de origem solar, de ondas curtas, parte da qual é refletida, conforme as características da superfície, sendo esta determinante na disponibilidade de energia (balanço de ondas curtas). Por outro lado, a superfície também troca ondas longas com a atmosfera, estabelecendo balanço de ondas longas. Portanto, contabilizando-se a energia radiante de todos os comprimentos de ondas que chegam e as que saem da superfície, estabelece-se o denominado saldo de radiação ou radiação líquida ( $R_n$ ).

O marco inicial da partição desse saldo de radiação nos fluxos de calor latente e sensível, foi dado por Bowen (1926), que estudou o processo de evaporação numa superfície de água, através da razão entre o fluxo de calor latente e sensível gerados pela mesma, em função da temperatura e pressão de vapor. Mais adiante, a relação entre os fluxos de calor sensível e latente foi denominada “razão de Bowen” ( $\beta$ ). Subsequentemente, esta metodologia foi aplicada em superfícies vegetadas por Sverdrup (1936) e Albrech (1943), citado por Villa Nova (1973). Pasquill (1949) e Rider (1954), citados por Villa Nova (1973), estudaram os coeficientes de transferência turbulenta em função do perfil de vento na superfície e evidenciaram serem semelhantes tanto para calor sensível como para latente. Contudo, desigualdade desses coeficientes, segundo Pruitt (1963), também citado por Villa Nova (1973), é ocasionada em condições de não-neutralidade da atmosfera, dando conseqüentemente, valores grandes de  $\beta$ .

Então, tomando-se cuidado quanto a contribuição de energia externa ao sistema e/ou períodos de inversão, o método de razão de Bowen (MRB) para estimativa da evapotranspiração torna-se relativamente simples e confiável, haja vista que Prueger et al. (1997) e Todd; Evett e Howell (2000) obtiveram bom desempenho do mesmo quando comparado com a medida pelo método lisimétrico. A extensão da bordadura é importante, sendo que para o MRB, que trabalha com fluxos na atmosfera, a área tampão (“fetch”) deve ser adequada, caso contrário os coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível e latente acabam não sendo similares, gerando num valor não representativo do local em estudo (McNAUGHTON; LAUBACH, 1998).

Inúmeros trabalhos foram realizados em culturas anuais em várias partes do mundo, sendo no Brasil o primeiro realizado em orizicultura por Villa Nova (1973). Em culturas anuais a

cobertura vegetal é relativamente homogênea, principalmente quando já ocorreu o crescimento total, ou seja, a cultura em questão forma uma espécie de “big-leaf”, e assim, tornando a aplicação da metodologia de MRB menos complexa. Em situação diferente desta, em coberturas mistas, ou seja, com plantas esparsas, como no caso de pomares de plantas tropicais, ou com plantas adensadas em linha, como é o caso da cafeicultura em sistema de renque mecanizado, que apresenta uma faixa não cultivada com a cultura e, ainda, com aumento da variabilidade microclimática da superfície quando se tem a irrigação em pontos ou faixas localizadas, a utilização do MRB deve ser feita com as devidas considerações.

Um dos problemas da aplicação do método de balanço de energia é o uso somente de um ponto de medida das variáveis (temperaturas do bulbo seco e úmido, saldo de radiação), considerando como representativo da área da cultura. Trabalho de Oliveira e Leitão (2000) foi realizado em amendoim, na região do vale do São Francisco – CODEVASF, onde foram instaladas três torres micrometeorológicas na direção do vento predominante, distanciadas entre si de 25 m, com objetivo de mostrar erros significativos nas estimativas de evapotranspiração, utilizando balanço de energia razão de Bowen, mas na discussão não foi mencionado sobre o desempenho independente de cada mastro. Quando se trata de uma cobertura uniforme, esse problema pode ser menor do que quando se trata de coberturas heterogêneas, devido a variabilidade espacial das propriedades medidas nestas últimas. Marin (2003) utilizou o método de razão de Bowen para estimar a evapotranspiração de cafezal adulto da variedade “Apuatã” adensado (espaçamento de 2,5 m entre linha e 1,0 m entre plantas), onde as características da cobertura do solo foram diferentes do sistema de renque mecanizado, aproximando-se mais de uma cobertura típica de culturas anuais, ocasionado principalmente pelo sistema de cultivo que resultou num sombreamento das entrelinhas pelas linhas de cafeeiros, que se apresentavam com mais de 2,0 m de altura. Neste mesmo cafezal, Marin et al. (2005) também estudaram a determinação dos componentes de coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) e evaporativo ( $K_{ce}$ ), que compõem o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) e utilizaram o MRB para estimar a evapotranspiração do cafezal.

Righi (2004) trabalhando no mesmo cafezal do presente estudo em sua fase inicial e com instalação de dois pontos (mastos) de amostragem concluiu que o método de balanço de energia-Razão de Bowen teve um desempenho satisfatório, verificando que os pequenos gradientes de pressão de vapor e os erros de medidas dos psicrômetros usados representaram uma dificuldade nas medidas, exigindo o uso de instrumentos de desempenho similar no levantamento dos perfis

de temperatura e unidade. Além disso, aquele autor fez uma análise detalhada sobre os possíveis efeitos de uma “bordadura” inadequada e sobre a possibilidade de existir advecção que pode ter influenciado os dados, adotando critérios para eliminar aqueles com problemas, baseados em Perez et al. (1999), além de discutir o efeito da tomada de diferentes níveis de medida de temperatura e da pressão de vapor sobre a cobertura. Gutiérrez e Meinzer (1994) usaram esse método em cafezais no Havaí, mas não detalham com pormenores a metodologia.

### **2.2.2 Lisimetria na determinação da evapotranspiração da linha de cafeeiro (*ET<sub>lin</sub>*)**

Uma forma adequada de se avaliar *ET<sub>lin</sub>* é por lisimetria, sendo uma fração do renque monitorada por esse tipo de instrumento. Uma preocupação é com relação a profundidade do sistema radicular da cultura que irá ser cultivado no tanque lisimétrico, pois se tratando de cultura perene, geralmente apresenta um sistema radicular profundo, tornando-se necessário uma profundidade maior dos tanques lisimétricos (ALLEN; PRUITT; JENSEN, 1991).

O tipo mais usado de lisímetro na atualidade é o de pesagem por células de carga. Atualmente existem células que apresentam uma sensibilidade extremamente elevada, capaz de registrar até a força de momento causada por uma simples brisa (ALLEN; PRUITT; JENSEN, 1991; SANTIAGO, 2001), o que pode até representar um problema, aliado a um outro fator importante que é a influência da variabilidade microclimática ambiental sobre as células de cargas (ALLEN; FISHER, 1991), pois estas, além de responder conforme a variação da massa do lisímetro, acusam também a influência de temperatura ambiente sobre elas e, conseqüentemente, podem apresentar um sinal errôneo o que levou aqueles autores a alertarem, também, para os cuidados que devem ser levados em consideração no que tange a escala de estudo. Santiago (2001) sugere uma escala no mínimo horária ou maior para trabalhar e, segundo, Bergamaschi et al. (1997), aumentando-se esta escala, pode-se suavizar as oscilações instantâneas provocadas pelas rajadas de ventos.

Embora de princípio simples, o funcionamento de um lisímetro exige cuidados não somente quanto ao desempenho das células de carga. Além da profundidade do sistema radicular, necessita-se atenção à restrição lateral de crescimento das raízes e cuidados de manejo, bem como no emprego de materiais adequados, conforme discutidos nos livros de Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982) e Allen e Fischer (1991). Um outro aspecto é o emprego de solo com reconstituição do perfil ou na forma de monólitos, sendo este último o utilizado neste estudo.

### 2.2.3 Determinação do fluxo de seiva

A determinação da transpiração de espécies arbóreas em coberturas vegetais no campo tem sido feita preferencialmente nos últimos 15 anos pelo uso de métodos de fornecimento de calor ao caule, por uma das seguintes três técnicas: “pulso de calor” (MARSHALL, 1958), “balanço de calor” (SAKURATANI, 1981) e “sonda de dissipação térmica” (GRANIER, 1985). Dessas técnicas, a de balanço de calor foi usada em cafeeiros (GUTIÉRREZ; MEINZER, 1994, MARIN, 2003; RIGHI, 2004), mas os dois últimos autores relatam que ela apresentou um problema nessa espécie, porque o uso de uma pasta siliconada para melhorar o contato sensor-caule causou posteriormente morte das plantas. Uma alternativa é o uso do método da sonda de dissipação térmica (GRANIER, 1985; GRANIER, 1987), que foi empregado neste trabalho e será discutida a seguir. Em situações nas qual a planta não está sob deficiência hídrica acentuada, o fluxo de seiva integrado em 24 horas em uma espécie lenhosa representa bem a transpiração diária (VALANCOGNE; NASR, 1993).

O método consiste em fornecimento de calor por meio de uma fonte regulável energia elétrica e de potência constante no interior do caule, pelo uso de uma sonda, e relacionar o transporte convectivo deste calor com o fluxo de seiva. Para isto são necessárias duas sondas com junção de termopar de cobre e constantan, verificando a diferença de temperatura do caule no ponto do aquecimento e outro abaixo, e assim obter uma temperatura diferencial, sendo esta dependente da velocidade de seiva (GRANIER, 1985; GRANIER, 1987).

Segundo Delgado-Rojas, (2003) o método de dissipação de calor (MDC), apresenta certas vantagens em relação aos demais métodos térmicos, devido ao baixo custo, facilidade de confecção e de instalação dos sensores, sendo, conseqüentemente, muito empregado em espécies de plantas lenhosas para determinação do fluxo de seiva.

Trabalhando com as espécies florestais *Pseudotsuga menzuessi*, *Pinus nigra*, *Quercus pedunculata*, Granier (1987) encontrou uma relação única nas três espécies entre velocidade da seiva e a variável  $K$ , sendo  $K$  a razão da diferença entre temperatura máxima (ocorrendo geralmente no final da madrugada) e a temperatura no instante de medida. Obteve, então, uma equação de calibração do tipo exponencial, sem diferença significativa entre as espécies, sendo, portanto, considerada como equação universal para as espécies lenhosas.

Pela simplicidade do sensor, o método tem sido exaustivamente utilizado, principalmente em espécies florestais, estando agora sendo empregado, também, em frutíferas comerciais como

pessegueiro, parreira e planta de kiwi (PAÇO; FERREIRA, 2004; FERREIRA; SILVESTRE, 2004; FERREIRA; SILVA; PAÇO, 2004; SILVA et al., 2004). Entretanto é uma técnica passível de erros de medida, sendo uma delas a existência do gradiente natural térmico (GNT) no caule, quando o sensor é instalado muito próximo do solo (CABIBEL; DO, 1991; FERREIRA; ZITSCHER, 1996; LUNDBLAD; LAGERGREN; LINDROTH, 2001). Delgado-Rojas et al. (2003) observaram uma sub-estimativa acima de 50 % no fluxo de seiva em cafeeiro do cultivar Mundo Novo Apuatã de seis anos de idade em Piracicaba, São Paulo, e segundo eles, a principal causa foi a influência do GNT. Sugeriram introduzir uma terceira sonda abaixo da sonda de referência para determinar o GNT e, assim, corrigir eficientemente a sub-estimativa do fluxo de seiva. A posição da sonda em relação aos pontos cardinais também é importante, pois o próprio Granier (1987) observou diferença entre os valores de fluxo de seiva avaliado com três sensores orientados sob angulação de 120° entre si ao redor do caule a 1 m do solo. De acordo com Delgado-Rojas (2003), o GNT é decorrente do efeito da radiação, temperatura do ar e do solo sobre o caule, interferindo na resposta do sensor e, conseqüentemente, no valor do fluxo de seiva. Instalando quatro sensores, uma em cada ponto cardinal e à duas alturas, de 1,5 m e 8,5 m do solo em *Pinus pinaster* de 25 anos, Loustau; Domec e Bosc (1998) observaram que em dia ensolarado, os sensores mais baixos, apresentaram respostas diferenciadas, ao passo que os mais altos não. Essa resposta se deve, possivelmente, ao sombreamento do caule pela copa na região das sondas mais altas, ao passo que a região das sondas mais baixas não foi atingida pela sombra da copa. Segundo eles, houve a diferença entre as sondas do quadrante leste e oeste, mas no quadrante norte e sul os valores de fluxo de seiva foram semelhantes, no conjunto de sondas inferiores.

Outra fonte de erro é o valor da área efetiva do xilema exigida na equação de calibração, determinada por técnica destrutiva da planta amostrada, ou por retirada invasiva de amostra do caule (GRANIER, 1985; GRANIER, 1987; CABIBEL; DO, 1991). Delgado-Rojas (2003) verificou que em lima ácida a secção reta do caule na altura da inserção das sondas, descontada a casca, poderia ser considerada como a área efetiva do xilema, mas não se sabe se essa aproximação, que elimina a necessidade de amostragem destrutiva ou invasiva, é válida para os cafeeiros.

Outro aspecto ligado à área efetiva do xilema é a profundidade na qual a sonda é instalada. Clearwater; Mainzer e Andrade (1999) verificaram subestimatição de cerca de 50 % no

fluxo de seiva quando a metade da sonda com comprimento de 0,02 m localizava-se fora do xilema condutor.

Mais uma fonte de erro pode ser o valor da potência dissipada recomendada para o método. Delgado-Rojas (2003), realizou um estudo em Portugal, no caule de oliveira jovem com diâmetro de 0,048 m, utilizando sondas de 0,02 m de comprimento, ora aplicando 0,24 W e ora aplicando 0,16 W de potência, concluindo que a confiabilidade da estimativa não foi comprometida. Afirma ainda que a estabilidade do valor da potência é mais importante do que a grandeza dela em si.

Outra variável que pode introduzir em erro é a distância entre sondas, pois estas devem estar separadas suficientemente para que a temperatura da sonda aquecida não interfira no valor da temperatura da sonda sem aquecimento, considerada como sonda de referência. Para tanto, quanto maior a distância entre elas, esta interferência certamente será menor, mas por outro lado, aumentando-se a distância entre elas pode-se cometer erro devido ao GNT (DELGADO-ROJAS, 2003). Granier (1985), na sua proposta original, recomenda a distância de 0,05 m, ao passo que Tournebize e Boistard (1998) trabalharam com distância de 0,02 m em arbusto tropical (*Gliricidia sepium*) com 0,04 m de diâmetro. Já outros autores relatam que a distância adequada seria de 0,08 m a 0,10 m entre as sondas aquecidas e a de referência (CABIBEL; DO, 1991; BRAUN, 1997).

Dauzat; Rapidel e Berger (2001) usaram o método em estudo com cafeeiros na Costa Rica, porém eles não utilizaram a equação universal de Granier e sim uma calibração própria obtida a campo, cortando o cafeeiro e colocando o mesmo imediatamente em um vaso contendo água, e obtendo a correlação com o volume da água consumida.

No Brasil alguns estudos foram realizados recentemente Delgado-Rojas et al. (2004) e Karasawa et al. (2004), trabalhando com cafeeiro em formação, concluíram que utilizando a equação universal de Granier (1985), Granier (1987), a transpiração observada foi apenas de 60 % quando comparado com o método lisimétrico. No entanto, Silva (2003), estudando a densidade de fluxo de seiva em cafeeiros, através de parte do caule instalado sob um calibrador, chegou à conclusão que o método com uso da equação de Granier podia ser utilizado para estimativa da transpiração do cafeeiro. Entretanto, aparentemente a faixa de variação de fluxo de seiva gerado pelo sistema de calibração desse autor esteve muito acima daquela observada no campo para cafeeiros da idade com que ele trabalhou.

Além desses pontos, outro a ser considerado é o porte do caule e também sua estrutura anatômica. Todos eles, incluindo o problema da determinação da área efetiva de transporte de água no xilema, exigem que o método seja usado com cautela, fazendo-se calibrações específicas de laboratório ou mesmo a campo, neste último, por exemplo, com uso de lisimetria na medida de transpiração, com cafeeiros de algum porte.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental e manejo do cafezal

O estudo foi desenvolvido em área experimental sob responsabilidade dos Departamentos de Ciências Exatas e de Produção Vegetal, no campus “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (22°42'30”S; 47°30'00”W; 546 m). As medidas de 2004-2005 ocorreram entre setembro de 2004 e maio de 2005 e depois em setembro e outubro de 2005. Segundo a classificação de Köppen, o clima é subtropical úmido, sendo de verão chuvoso e inverno seco. O solo local é do tipo Nitossolo Vermelho. Utilizou-se o cafeeiro da espécie *Coffea arabica* L., cultivar Obatã IAC 1669-20, pé franco, cultivado no sistema de renque, irrigado por gotejamento, com espaçamento de 3,50 m na entrelinha e 0,90 m na linha, sendo o pomar implantado em 2001 a partir de mudas com 0,20 a 0,30 m de altura.

As dimensões do cafezal são de 290 m no sentido da linha de plantio e 110 m a 120 m transversalmente (área de cerca de 3,20 ha), com predominância dos renques no sentido SE-NW. A estação meteorológica encontra-se a cerca de 70 m da borda NW do experimento. No lado sudoeste localiza-se uma área de consórcio de café com seringueira de 12 anos, de clone PB-235. A altura do seringal é de aproximadamente 12 m. Também no mesmo quadrante, mais a oeste, localiza-se um monocultivo de pupunha, de altura inferior à da seringueira.

As linhas de cafeeiros foram irrigadas por sistema de gotejamento, sendo cada emissor com vazão de 2,0 L h<sup>-1</sup> distanciados entre si de 0,80 m. O manejo foi realizado com monitoração por tensiômetros de mercúrio instalados junto à linha do cafeeiro em três pontos distribuídos dentro do setor em que estava instalado o experimento. Em cada ponto de amostragem foram instalados três tensiômetros em linha, distanciados de 0,10 m entre elas perpendicularmente a linha do cafeeiro exatamente no meio de duas plantas e distanciadas a 0,10 m da localização do emissor de água. A cápsula porosa dos tensiômetros 1, 2 e 3, ficaram posicionadas a 0,10 m, 0,20 m e 0,40 m de profundidade, respectivamente. Quando o potencial matricial do solo no tensiômetro 2 chegava próximo à -30 kPa, o sistema de irrigação era acionado manualmente, permanecendo ligado por 24 horas no mesmo local com turno de rega de 3 dias.

Os tratos culturais consistiram de adubações, e aplicações de defensivos, sendo que no primeiro semestre de 2004, houve intenso ataque de bicho-mineiro, que causou desfolha. A cobertura das entrelinhas foi composta de invasoras como “capim-massambará” (*Sorghum halepense*), cujo possui de desenvolvimento muito agressivo e de rápida recuperação após o

corde, alcançando 1,50 m de altura em período chuvoso em aproximadamente 40 dias, mas esta invasora ficou mais localizada no setor do experimento, e outras invasoras como “caruru” (*Amaranthus* spp.), “capim-colchão” (*Digitaria sanguinalis*) estavam presentes no cafezal em geral, com maior índice de presença (classificado de 1 a 4, sendo o 4 com maior presença). As roçadas foram realizadas periodicamente, conforme a necessidade, mantendo o controle de altura das invasoras inferiores a 0,40 m de altura.

### 3.2 Determinação da evapotranspiração do cafezal pelo método de balanço de energia

Foram instalados três mastros de tubo de ferro zincado de 2” de diâmetro e 6 m de comprimento, distanciados entre si de 12,0 m, atingindo a altura de 5,50 m acima do solo. Em cada mastro foram instalados 6 psicrômetros ventilados de termopar de cobre e constantan AWG 22 (MARIN et al., 2001), construídos no Departamento de Ciências Exatas, distanciados entre si (em altura) de 0,7 m, 0,7 m, 0,9 m, 0,9 m e 0,9 m, a partir de 0,7 m da superfície do solo, sendo operados até janeiro. Em fevereiro as distâncias entre os psicrômetros do nível dois para cima foram alterados, de modo que ficassem aproximadamente em escala logarítmica, ficando com os seguintes espaçamentos: de 0,7 m, 0,4 m, 0,6 m, 0,9 m e 1,40 m, a partir de 0,7 m da superfície do solo (Figura 1). Os psicrômetros continham o reservatório de água destilada de 0,25 L na parte inferior, sendo ele devidamente protegido da carga radiante por meio de copo de isopor e manta aluminizada na parte superior. Diariamente no final da tarde (após as 17:00 horas) o reservatório foi reabastecido e o local da sonda lavado, para minimizar o erro referente à carga hidráulica do reservatório e, também, o acúmulo de poeira junto ao bulbo molhado.

Medições instantâneas de saldo de radiação ( $R_n$ ) foram feitas com saldo-radiômetro no posicionado no topo da linha do cafeeiro mastro 1 e no mastro 2 posicionado na entrelinha do cafeeiro, ambos de mesma marca (NR Lite, Kipp & Zonen, Delft, Holanda), instalados à 3,50 m da superfície do solo, para compor o valor médio de  $R_n$  do cafezal.

O fluxo de calor no solo foi medido com placas de fluxo de calor (HFT3, Rebs, Seattle, Washington, EUA) na linha lateral à esquerda (vista da Figura 1) do mastro 1, em três locais distintos, sendo uma no centro da entrelinha, outras duas sob a saia do cafeeiro na linha. Estas duas últimas ficaram posicionadas uma sob o emissor e outra no centro entre os emissores. Todos instalados à profundidade de 0,02 m para compor o valor de  $G$  ( $W m^{-2}$ ), conforme a equação a seguir:

$$G = 0,286 [G_{el} (3,5 - L_r) + 0,5 L_r (G_{l1} + G_{l2})] \quad (1)$$

onde,  $G_{el}$ ,  $G_{l1}$  e  $G_{l2}$ , são respectivamente, os valores medidos na entrelinha, no renque sob o emissor e no renque entre os emissores ( $\text{W m}^{-2}$ );  $L_r$  é a largura do renque e as constantes 3,5, 0,5 e 0,286, são respectivamente, espaçamento entre linhas, fator de ponderação do  $G_{l1}$  e  $G_{l2}$  e fator de ponderação geral ( $G$ ).

Todos os psicrômetros, sensores de saldo de radiação, o anemômetro de canecas e um sensor de direção de vento modelo 03001 (Wind Sentry – Young), instalados a 2 m do solo, foram ligados conectados aos sistemas de aquisição de dados modelo CR – 10 (Campbell Scientific, Inc.), com o auxílio do multiplexador modelo AM – 416 (Campbell Scientific, Inc.), programados para realizar leituras a cada segundo e memorizar valores médios a cada 15 minutos. As placas de fluxo de calor no solo foram acopladas aos sistemas de aquisição de dados modelo CR – 7 (Campbell Scientific, Inc.), também programada para leituras a cada segundo e armazenados a cada 15 minutos.

Para calcular a razão de Bowen todos os dados pertinentes foram utilizados as médias a cada 30 minutos, sendo estas realizadas pela planilha Excel.

A estimativa da evapotranspiração foi realizada pelo método de balanço de energia-razão de Bowen em cada ponto de amostragem, com os dados de temperatura de bulbo seco e úmido (Figura 1).



Figura 1 – Vista dos três mastros com os psicrômetros instalados em diferentes pontos e alturas acima da superfície do solo

No cálculo do balanço de energia, os fluxos foram considerados positivos quando fluíram no sentido da atmosfera para a superfície e negativos no sentido inverso.

Em síntese, a partição do saldo de radiação ocorre basicamente em fluxos de calor latente ( $LE$ ) e de calor sensível ( $H$ ). O calor latente ( $LE$ ) é consumido no processo de evaporação da água e o calor sensível é utilizado em vários processos, tais como, no aquecimento do ar ( $H$ ), aquecimento do solo ( $G$ ), aquecimento de plantas ( $P$ ). Destas, o calor sensível utilizado para aquecimento de plantas, devido à baixa capacidade calorífica das mesmas, geralmente fica abaixo de 1 % do  $Rn$ . Sendo assim, o saldo de radiação pode ser descrito pela seguinte equação (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997 e PEREIRA, 2002):

$$Rn = LE + H + G \quad (2)$$

onde,  $Rn$  é saldo de radiação ( $W m^{-2}$ );  $LE$  é calor latente ( $W m^{-2}$ );  $H$  é calor sensível ( $W m^{-2}$ ) e  $G$  é fluxo de calor no solo ( $W m^{-2}$ ).

Bowen (1926), após um desenvolvimento teórico baseado na relação simplificada de balanço de energia para estimar evaporação proposta por Schmidt em 1915, citado por Lewis (1995), propôs a razão entre calor sensível ( $H$ ) e calor latente ( $LE$ ), denominada de razão de Bowen, para estudar a partição da energia disponível, (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997):

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (3)$$

Isolando-se  $H$  da eq. 3 e inserindo na eq. 2 tem-se:

$$Rn = LE + \beta LE + G \quad (4)$$

$$Rn - G = LE (1 + \beta) \quad (5)$$

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (6)$$

Tendo-se as temperaturas dos bulbos seco e úmido em dois níveis diferentes, e com auxílio de fator de ponderação ( $W$ ), é possível obter da razão de Bowen ( $\beta$ ) pela relação entre elas, conforme descrito por Pereira; Villa Nova e Sedyama (1997):

$$\beta = \left[ \frac{\Delta Tu}{(1-W)\Delta Ts} - 1 \right]^{-1} \quad (7)$$

onde  $\Delta Tu$  a diferença de temperatura do bulbo úmido e  $\Delta Ts$  a diferença de temperatura do bulbo seco, ambas em °C, medidas em dois níveis diferentes de altura conhecida. O fator de ponderação  $W$  dependente da temperatura do bulbo úmido ( $Tu$ ) e do coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ), foi determinado pela equação proposta por Wilson e Rouse (1972) e Wiswanadhan et al. (1991), citados por Pereira; Villa Nova e Sedyama (1997):

$$W = 0,407 + 0,0145Tu, \quad 0 < Tu < 16^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$W = 0,483 + 0,01Tu, \quad 16,4 < Tu < 32^\circ\text{C} \quad (9)$$

Na análise dos dados, foi adotado o critério de “dados aproveitáveis” de Perez et al. (1999), com procedimentos semelhantes aos descritos por Righi (2004), satisfazendo-a seguinte equação:

$$\frac{\Delta e}{LE} = \frac{\Delta e + \gamma \Delta \theta}{Rn - G} > 0 \quad (10)$$

Para análise dos dados, utilizou-se uma planilha eletrônica Excel, na qual foram incorporadas na lógica de programação as condições apresentadas na Tabela 1. Estas condições, propostas por Perez et al. (1999) fundamenta-se na análise física do método para rejeitar valores incoerentes, inclusive os abaixo do limite instrumental. O intervalo “vazio” devido à rejeição de dados, quando foram inferiores a 2 horas foram preenchidos com dados interpolados

Tabela 1 – Condição de aceite dos valores de razão de Bowen, considerando condições não advectivas, conforme a eq. 10

Rn – G	$\Delta e$	$\beta$	Fluxo de calor
Rn – G > 0	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	LE > 0 e H ≤ 0, se -1 < β ≤ 0 ou H > 0, se β > 0
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	LE < 0 e H > 0
Rn – G < 0	$\Delta e > 0$	$\beta > -1$	LE > 0 e H < 0
	$\Delta e < 0$	$\beta < -1$	LE < 0 e H ≥ 0, se -1 < β ≤ 0 ou H < 0, se β > 0

Na determinação de  $\beta$ , os valores de  $\Delta T_u$  e  $\Delta T_s$  foram tomados entre os níveis 2 e 4 (1,4 m e 2,1 m acima da superfície do solo, até janeiro; posteriormente o nível 4 passou para 2,4 m) e 2 e 5 (este a 3,0 m acima do solo até janeiro e posteriormente passando para 3,3 m), testando-se qual das combinações dava resultado mais coerente, conforme descrito no capítulo de Resultados e Discussões. Dados de direção de vento da estação meteorológica também foram usados para subsidiar a discussão sobre possíveis efeitos advectivos.

### 3.3 Evapotranspiração da linha de cafeeiros

Para estudo da evapotranspiração na linha do cafeeiro foram utilizados, quatro lisímetros de pesagem por células de carga, sendo dois lisímetros com 0,90 m de diâmetro e 0,70 m de profundidade, instalados em 2002 e os outros dois também de mesma superfície evaporante, porém com 1,00 m de profundidade, instalados em 2004, apresentados na Figura 2.

Cada tanque lisimétrico, construído em chapa de aço-carbono (0,005 m de espessura) e circundada por uma “camisa” do mesmo material (espaçada de 0,05 m da parede do tanque), apoiava-se em três células de carga marca Interface, cujas características estão na Tabela 2, sendo duas do tipo “Z” e duas do tipo “viga”.



Figura 2 – Vista dos cafeeiros cultivados nos lisímetros

Cada célula apoiava-se numa coluna de concreto, sendo assentada num ponto que permitia uma distribuição relativamente equivalente da carga do lisímetro. Os sinais das células

eram registrados em sistema de aquisição de dados modelo CR – 7 (Campbell Scientific, Inc.). No fundo do lisímetro havia um galão de plástico para coletar água drenada por um sistema de tubos de PVC em forma de espinha de peixe. O fosso contendo o lisímetro pode ser acessado por uma passagem, permitindo inspeção das células de carga e do compartimento de drenagem. Em cada lisímetro, também foram instalados um conjunto de tensiômetros nas mesmas profundidades dos que estavam do lado de fora, visando checar as condições hídricas do monólito.

Tabela 2 – Características das células de cargas utilizadas nos lisímetros

	Instaladas em 2002	Instaladas em 2004
Tipo	“Z”	“Viga”
Forma de funcionamento	Compressão	Torção
Capacidade (kg)	250	1000
Resolução (mV kg <sup>-1</sup> )	0,00869	0,00226
Registro mínimo (0,0001 mV)	0,0115 kg	0,0443 kg

A calibração dos lisímetros foi realizada a campo antes do nascer do sol (das 3:30 as 5:30 horas) no dia 10 de agosto de 2004, com 5 conjunto de pesos padrões, sendo cada conjunto composto com pesos de 0,5, 1,0, 2,0 e 4,0 kg, totalizando 37,5 kg, conforme Karasawa et al. (2005), sendo obtidas as seguintes equações:

$$\Delta P_{L1} = -758,4212 + 122,0679 C_1 + 111,6516 C_2 + 113,4280 C_3 \quad R^2 = 0,9999 \quad (11)$$

$$\Delta P_{L2} = -701,5103 + 106,3366 C_1 + 116,3274 C_2 + 117,8191 C_3 \quad R^2 = 0,9999 \quad (12)$$

$$\Delta P_{L3} = -829,7534 + 443,2844 C_1 + 347,4409 C_2 + 509,4106 C_3 \quad R^2 = 0,9992 \quad (13)$$

$$\Delta P_{L4} = -976,5904 + 361,2066 C_1 + 511,0760 C_2 + 431,8546 C_3 \quad R^2 = 0,9995 \quad (14)$$

sendo  $C_1$ ,  $C_4$  e  $C_3$  os sinais elétricos de cada célula, permitindo a medida da variação de massa  $\Delta P$ .

As células de cargas foram excitadas com uma tensão fixa e estável de 5000 mV aplicada pelo sistema de aquisição de dados CR-7. Utilizou-se a função FULL BRIDGE (P-6), Slow Range de 15 mV, intervalo de execução de 1 segundo e média a cada 15 minutos.

### 3.4 Transpiração do cafeeiro

A estimativa da transpiração do cafeeiro foi realizada pelo método da sonda de dissipação térmica, também denominada de método de Granier.

As sondas foram confeccionadas no Departamento de Ciências Exatas com fio de constantan de 0,5 mm de diâmetro, enrolado em volta de agulha de aço inoxidável de 2 mm, sendo sua extensão de aquecimento de 0,016 m. Para medir a diferença de temperatura entre o local de aquecimento e fora dele (abaixo), construiu-se duas junções de cobre-constantan, com fio de 50  $\mu\text{m}$  de diâmetro, ligados em série. Destas, uma junção foi inserida no interior da sonda aquecedora, tomando-se cuidado no isolamento, e outra junção inserida numa agulha de aço inoxidável semelhante à utilizada para confecção da sonda aquecedora, porém somente com a junção de cobre-constantan no interior. Confeccionadas as sondas, estas foram instaladas radialmente no caule conforme a Figura 3.

Tomou-se o cuidado de instalá-las no quadrante sul do caule para assim minimizar o erro decorrente da incidência de carga radiante, principalmente devido à insolação. Além disso, ela foi protegida com uma manta aluminizada para reduzir o efeito térmico.

As informações sobre características biométricas do cafeeiro no momento da instalação (16.08.04) bem como das resistências elétricas de cada sensor e a voltagem aplicada em cada sensor estão apresentadas na Tabela 3:

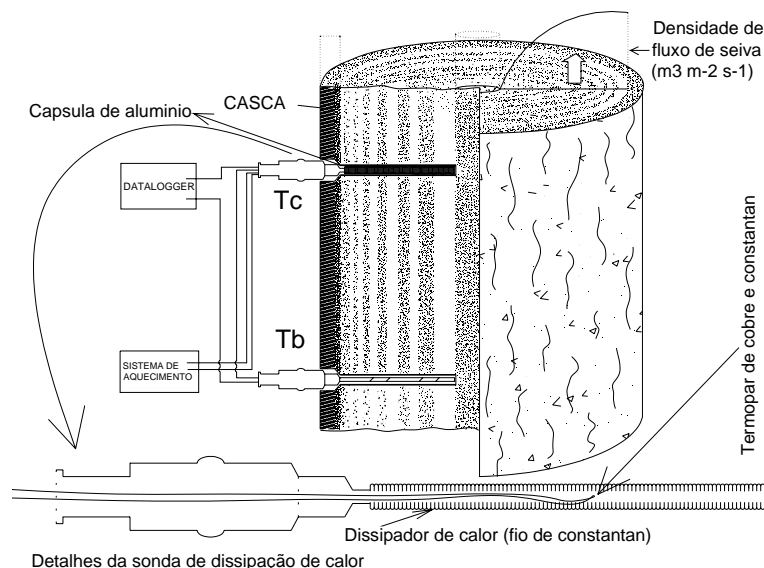


Figura 3 – Detalhes da sonda de Granier instalado no caule. Adaptado de Vilela e Delgado-Rojas (2003)



Tabela 3 – Características das plantas utilizadas para estudo do método de Granier

Árvore	Planta 1	Planta 2	Planta 5
Local	Lisímetro 1	Lisímetro 2	Externo
Diâmetro	0,0267 m	0,0352 m	0,0356 m
Área foliar	1,00 m <sup>2</sup>	2,91 m <sup>2</sup>	2,90 m <sup>2</sup>
Resistência	18,26 Ω	12,81 Ω	Sem aquec.
Alimentação	1,911 V	1,600 V	-

Os dados de diferença de temperatura ou temperatura diferencial e, também, o monitoramento de tensão fornecida por uma fonte estável de tensão foram registrados a uma frequência de 1 Hz, com média calculada a cada 15 minutos por “datalogger” CR-10X (Campbell Sci., Inc.).

Os dados inicialmente foram corrigidos pelo gradiente natural térmico (GNT) presente no caule. O GNT foi medido com a mesma sonda de Granier, obedecendo a mesma distância, porém com o sistema de aquecimento desativado. Para medir o GNT, foram utilizadas duas plantas ao lado da planta avaliada para medir o fluxo de seiva, sendo de características biométricas semelhantes. O valor de GNT foi subtraído da temperatura diferencial e obtendo-se, então, as temperaturas diferenciais corrigidas, sendo estas utilizadas para determinação do fluxo de seiva.

Para determinação do fluxo de seiva, usou-se equação de calibração proposta por Granier (1985), Granier (1987):

$$F = 118,99 \cdot 10^{-6} \cdot k^{1,231} \cdot A \quad (15)$$

sendo  $F$  o fluxo em m<sup>3</sup> por frequência de leitura (m<sup>3</sup> 15min<sup>-1</sup>);  $A$  a área média da secção reta do caule no local de inserção das sondas (m<sup>2</sup>), portanto, considerando a área efetiva de fluxo como toda a secção reta do caule e  $k$  é o componente relacionado com a temperatura, dada pela seguinte equação:

$$k = \left( \frac{\Delta TM - \Delta T}{\Delta T} \right) \quad (16)$$

onde  $\Delta TM$  é a diferença máxima de temperatura entre as duas junções (°C) e  $\Delta T$  a diferença de temperatura atual (°C). Segundo Tavares (1993), o valor de  $\Delta T$  pode sofrer variações,

possivelmente devido às propriedades térmicas do xilema, portanto, este valor foi calculado a cada período de 24 horas e assim obtendo-se o fluxo de seiva equivalente a este período.

Os dados diários de fluxo de seiva foram comparados com as medidas de transpiração feitas com lisímetros, cobertos com lona plástica e lacrados com borracha de câmara de ar, descartando-se os dias com chuva e também os dados problemáticos. Foram considerados dados problemáticos os que fugiram muito da média de cada período avaliado, e adotou-se o seguinte critério: primeiramente, excluíram-se os dados duvidosos do lisímetro, adotando-se como base a demanda evaporativa da atmosfera expressa pela evapotranspiração de referência ( $ET_o 1$ ), estimada pelo método de Penman Monteith. Em seguida retiraram-se os dados inconsistentes do método de Granier, tomando se por referência, também,  $ET_o 1$ .

Os valores de fluxo de seiva analisados nos meses de fevereiro-março em relação aos dados de transpiração determinados pelos lisímetros cobertos foram acrescidos de 30 % para obtenção do volume final. Este acréscimo é resultado preliminar do estudo realizado por Delgado-Rojas (comunicação pessoal), na calibração com parte do caule do cafeeiro retirado da área do experimento, e concluindo-se que para se ter uma fluxo de seiva equivalente, seria necessário a correção pelo fator 1,3, quando se utiliza a equação universal de Granier. Nos meses de setembro e outubro 2004 e fevereiro-março 2005 as discussões foram feitas sobre os dados de transpiração obtida com os lisímetros cobertos, já para abril e maio, realizadas sobre os dados de transpiração estimada pelo fluxo de seiva.

### 3.5 Evapotranspiração de referência

Utilizou-se duas metodologias distintas para estimativa da evapotranspiração de referência, sendo a primeira dita  $ET_o 1$ , parametrizada da FAO, e a segunda determinada a partir da evaporação do tanque classe A ( $ECA$ ), definida  $ET_o 2$ .

Para estimativa da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965), com parametrização de Allen; Brenner e Grace, (1994), Allen et al. (1998), sendo a  $ET_o 1$  em  $\text{mm d}^{-1}$  usou-se a seguinte equação:

$$ET_o 1 = \frac{0,408 s (R_n - G)}{s + \gamma (1 + 0,33 U_2)} + \frac{\gamma 900 U_2 (e_s - e_a)}{(T_{ar} + 273) [s + \gamma (1 + 0,33 U_2)]} \quad (17)$$

em que  $s$  é a declividade da curva de pressão de vapor dada pela seguinte equação:

$$s = \frac{4098 es}{(237,3 + T)^2} \quad (18)$$

onde  $es$  e  $ea$  são a pressão de saturação de vapor e pressão de atual vapor, respectivamente, calculadas pelas seguintes equações:

$$es = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T}\right)} \quad (19)$$

$$ea = es \frac{UR}{100} \quad (20)$$

sendo  $s$  a declividade da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $Rn$  o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $G$  o fluxo de calor no solo considerada desprezível na escala adotada;  $\gamma$  o coeficiente psicrométrico ( $0,066 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $es$  e  $ea$  a pressão de saturação de vapor e pressão de atual vapor respectivamente ( $\text{kPa}$ );  $U_2$  a velocidade do vento a 2 m ( $\text{m s}^{-1}$ ) e  $UR$  – umidade relativa (%).

No cálculo da  $ET_0$  1 estimada, foram utilizados os valores médios diários, obtidos por estação meteorológica automática no posto meteorológico do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

Os valores de  $Rn$  da estação meteorológica mostraram-se incoerentes com as demais condições existentes como radiação global e insolação, sendo então recalculados pela equação de Brunt (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), utilizando-se a seguinte equação:

$$Rn = BOC - BOL \quad (21)$$

$$BOC = 0,75 \text{ Irradiância solar global} \quad (22)$$

Para o balanço de ondas longas ( $BOL$ ), utilizou-se a eq. 22 no período seco (nos meses de setembro de 2004 e abril, maio, setembro de 2005) e no período úmido a eq. 23 (nos meses de outubro a dezembro de 2004 e janeiro a março de 2005).

$$BOL = 4,903 \times 10^{-9} T^4 \left(0,34 - 0,14 \sqrt{ea}\right) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N}\right) \quad (23)$$

$$BOL = 4,903 \times 10^{-9} T^4 \left(0,56 - 0,25 \sqrt{ea}\right) \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N}\right) \quad (24)$$

sendo  $BOC$  o balanço de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $BOL$  o balanço de ondas longas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ );  $T$  a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{K}$ );  $n$  a insolação (número de horas de brilho solar) e  $N$  o fotoperíodo (horas)

Para estimativa de  $ETo 2$  (evapotranspiração estimada pelo tanque classe A), adotou-se a equação a seguir:

$$ETo 2 = ECA Kp \quad (25)$$

sendo  $ECA$  dado de evaporação do tanque classe A e  $Kp$  o coeficiente de correção, considerado o valor de 0,8 para este último.

Os valores de insolação, radiação solar global, temperatura e evaporação do tanque classe A, referem-se às médias diárias, que foram extraídas dos arquivos da estação meteorológica “convencional” do Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP.

### 3.6 Determinação das relações entre evapo(transpi)ração do cafezal e evapotranspiração de referência ( $ETo$ )

Foram calculadas nos dias de medidas as razões  $ETc/ETo$ ,  $ETlin/ETo$  e  $T/ETo$ , sendo  $ETc$  a evapotranspiração global do cafezal, estimado pelo método da razão de Bowen,  $ETo$  a evapotranspiração de referência estimada pelo método Penman-Monteith ( $ETo 1$ ) ou pelo tanque classe A ( $ETo 2$ ), quando for o caso;  $ETlin$  a evapotranspiração referente a linha do cafeeiro e  $T$  transpiração dos cafeeiros.

Para obtenção da relação  $ETlin/ETo$ , os termos foram utilizados em base de volume de água, sendo então,  $ETlin$  obtida pela eq. 26:

$$ETlin = \frac{\Delta P_{L2} + \Delta P_{L3} + \Delta P_{L4}}{3} * 3.175 \quad (26)$$

sendo  $\Delta P_{L2}$ ,  $\Delta P_{L3}$  e  $\Delta P_{L4}$ , a variação de massa dos respectivos lisímetros na escala diária em  $\text{L d}^{-1}$  e 3.175 refere-se a número de plantas por hectare.

A transpiração utilizada para calculo da relação nos meses de setembro 2004, fevereiro e março 2005, foi determinada pelo lisímetro 2, enquanto nos meses de abril e maio 2005, foi aquela determinada pela sonda de Granier.

### **3.7 Área foliar dos cafeeiros**

A área foliar foi estimada pelos seguintes passos:

Passo 1 – contagem de todas as folhas de cada planta amostrada;

Passo 2 – medida da dimensão (comprimento e largura) de 10 % das folhas de cada planta amostrada;

Passo 3 – obtenção da área foliar de 10 % das folhas do passo anterior multiplicando-se o comprimento pela largura, e corrigida pelo fator de ajuste (0,71), segundo Gomide et al. (1977) e assim obter a área média dessas folhas;

Passo 4 – multiplicou-se o número total de folhas pela área média das folhas obtido no passo anterior, para obtenção da área foliar total estimada da planta (m<sup>2</sup>).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Condições meteorológicas e de água no solo

As Figuras 4, 5 e 6 mostram a variação dos valores médios mensais dos elementos climatológicos obtidos na estação meteorológica nos anos de 2004 e 2005, em confronto com os dados médios históricos.

A coleta de dados iniciou-se sob condições extremamente secas em setembro de 2004, sendo que a última chuva mais intensa ocorreu em 19/07 (36,7 mm), tendo ocorrida outra em 10/10 (19,4 mm), de modo que durante 80 dias, com exceção de chuviscos, em setembro praticamente não choveu. Desvios acentuados da média histórica de altura pluviométrica (Figura 4) ocorreram em setembro 2004, dezembro 2004 e fevereiro 2005 (abaixo da média), em setembro e outubro 2004 e maio de 2005 (acima da média). Deve-se ressaltar que o número de dias de chuva não foi muito deferente da média no período experimental, a não ser em setembro 2004 (para menos) e janeiro (para mais).

A umidade relativa do ar (Figura 5) mostrou-se anormalmente mais alta, se considerada a média histórica (a partir de 1943), na maior parte do período experimental, com exceção de setembro 2004, no qual foi menor. Os valores entre 6 % a 10 % superiores de outubro a dezembro 2004 (6 % a mais) chamam a atenção, principalmente dezembro no qual a altura pluviométrica foi cerca da metade da média histórica. Em janeiro de 2005 a umidade relativa mostrou-se excepcionalmente mais alta (91 %), mas nesse mês o número de dias com chuva foi bem acima da média.

Em consequência principalmente das condições de umidade e precipitação, a irradiância solar global apresentou diferenças marcantes em relação à média histórica (Figura 5), nos meses de setembro 2004 e fevereiro de 2005 (acima da média) e outubro de 2004 e 2005 (abaixo da média) e janeiro de 2005, com desempenho idêntico para o saldo de radiação (Figura 7).

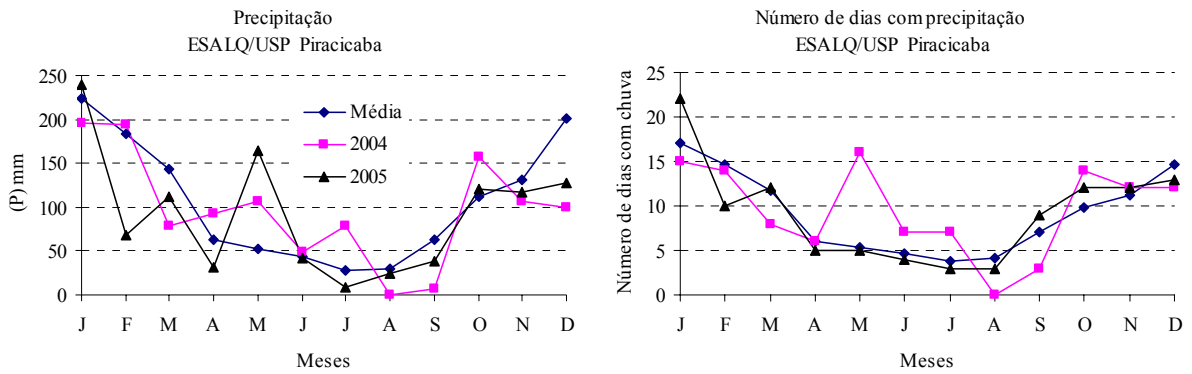


Figura 4 – Valores médios mensais históricos e nos anos de 2004 e 2005, de precipitação e número de dias

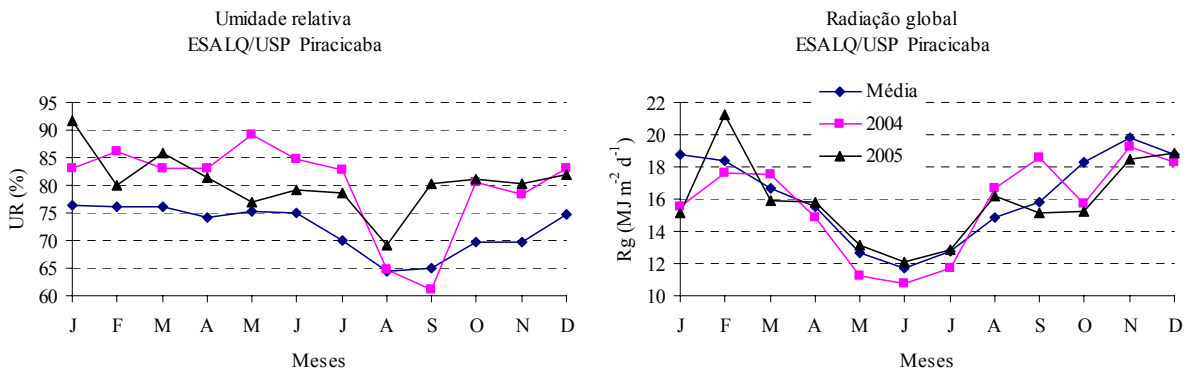


Figura 5 – Valores médios mensais históricos e nos anos de 2004 e 2005, de umidade relativa e radiação solar global

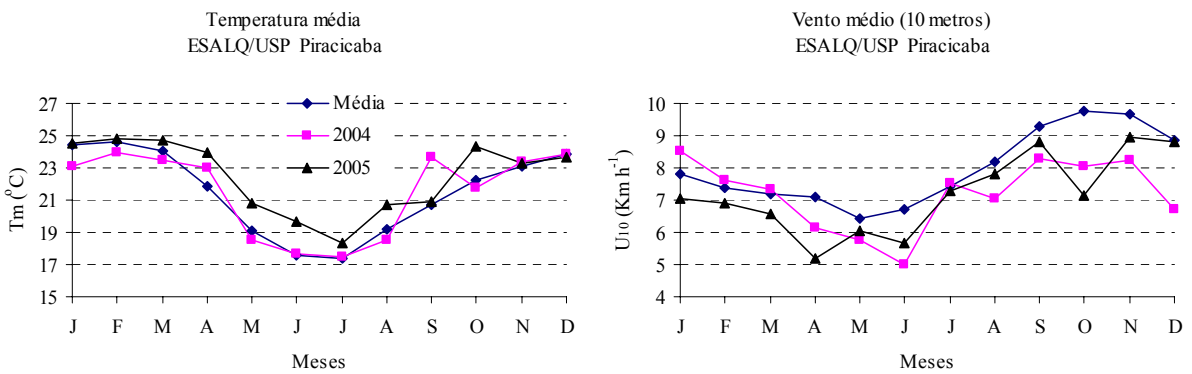


Figura 6 – Valores médios mensais históricos e nos anos de 2004 e 2005, de temperatura média do ar e vento (10 m)

A temperatura média mensal (Figura 6) esteve, na maioria dos meses do período estudado, acima da média histórica (desde 1917), principalmente em setembro 2004. O fato que chama atenção é que no mês de outubro 2005, observa-se pelo menos 2,5°C acima da média histórica. Além disso, a velocidade do vento medida a 10 m de altura foi menor do que a média histórica em praticamente em todos os meses de medidas (Figura 6).

Deve-se observar a diferença de  $ET_o 1$  entre os meses de setembro de 2004 e setembro de 2005, sendo que no primeiro os valores são bem mais elevados do que no segundo (Figura 7).

Em se tratando das condições hídricas do solo, embora em vários dias o potencial matricial ( $\Psi_m$ ) da água no solo na linha dos cafeeiros tenha chegado a 0,1 m de profundidade a valores de cerca de -70,0 kPa, para a profundidade de 0,2 m ele permaneceu na grande maioria do tempo com valores superiores a -30,0 kPa, indicando assim boa disponibilidade de água no solo (Figuras 9 e 10) praticamente em todos os períodos de medida. Com exceção de dezembro e janeiro, em todos os demais meses do período estudado aconteceu pelo menos um evento de irrigação no mês, sendo que no período de abril-maio ocorreram com maior frequência (9 vezes no período). Em fevereiro, devido ao veranico, o uso da irrigação ocorreu ainda no período considerado chuvoso para esta região, devido à má distribuição das chuvas. O DSVA médio do mês foi de 0,80 kPa, sendo a maior média diária em 23 de fevereiro foi de 1,45 kPa, coincidindo com o dia mais quente de fevereiro (26,9 °C). Em 2005, as chuvas iniciaram-se mais cedo em relação ao ano anterior, ocorrendo em setembro chuva em mais de 1/3 dos dias; essa frequência (30 % a mais que a média desde 1917), apesar de baixa intensidade das chuvas, foi suficiente para manter DSVA a quase um terço do valor do mesmo período do ano anterior, mantendo, além disso, ativa a vegetação da entrelinha. Mesmo assim, foi necessário realizar várias irrigações nesses meses.

As maiores médias mensais de radiação líquida ( $R_n$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_o 1$ ) estimada pelo método de Penman-Monteith foram no trimestre de dezembro-fevereiro. As maiores oscilações de  $R_n$  e  $ET_o 1$  ocorreram em períodos mais chuvosos, registrando o maior valor de  $ET_o 1$  médio diário de todo o período estudado de 5,70 mm ocorrido em 28/09/04 (Figura 8).



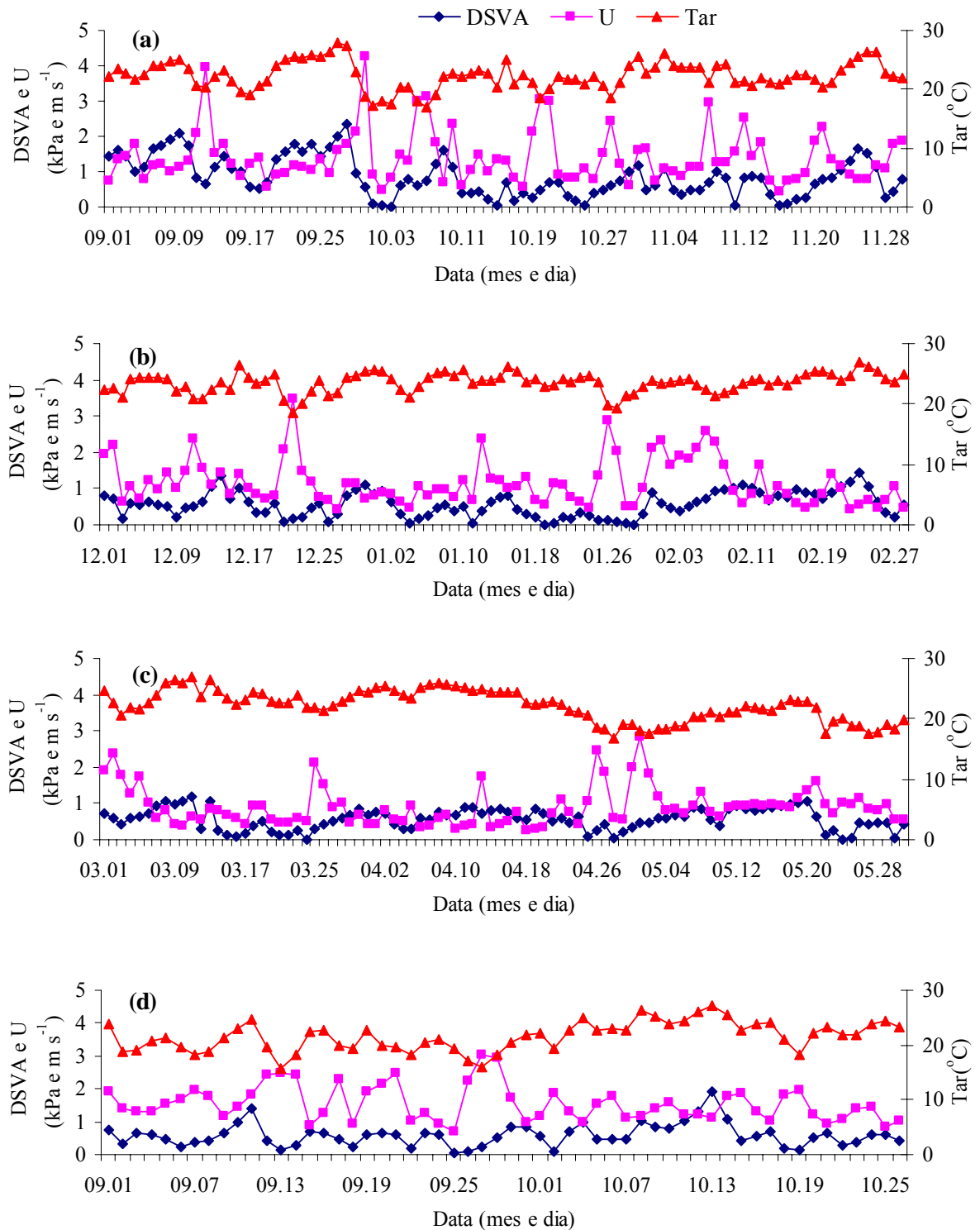


Figura 7 – Evolução dos valores médios diários de temperatura do ar (Tar), déficit de saturação de vapor de água do ar (DSVA) e velocidade do vento (U) a 2 m de altura do solo, registrados da estação meteorológica. (a) – setembro-novembro 2004; (b) – dezembro 2004 a janeiro e fevereiro 2005; (c) – março-maio 2005 e (d) – setembro-outubro de 2005

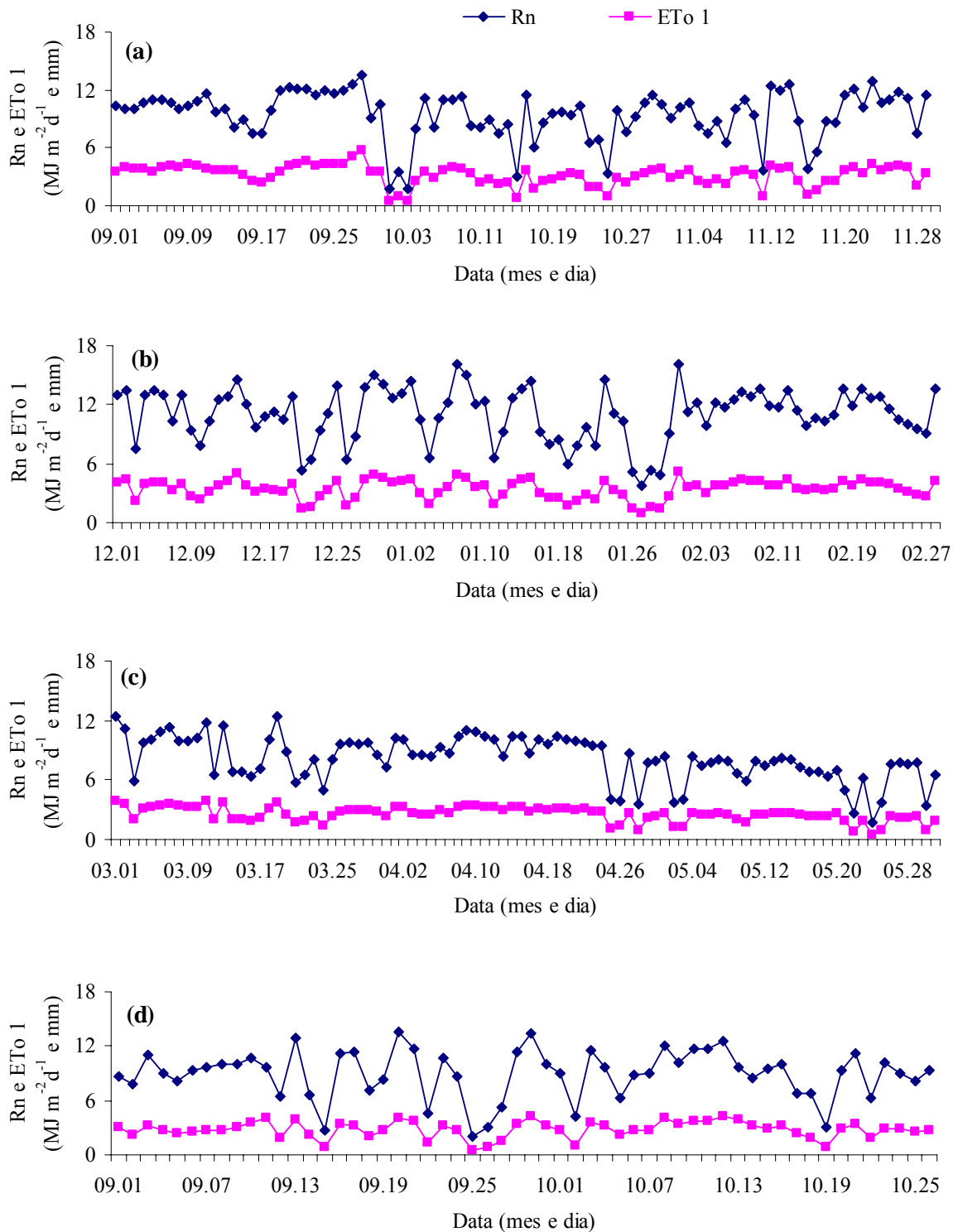


Figura 8 – Evolução dos valores médios diários de radiação líquida (Rn) e evapotranspiração de referência (ETo 1), estimado pelo método de Penman-Monteith, com os dados da estação meteorológica. (a) – setembro-novembro 2004; (b) – dezembro 2004 a janeiro e fevereiro 2005; (c) – março-maio 2005 e (d) – setembro-outubro de 2005

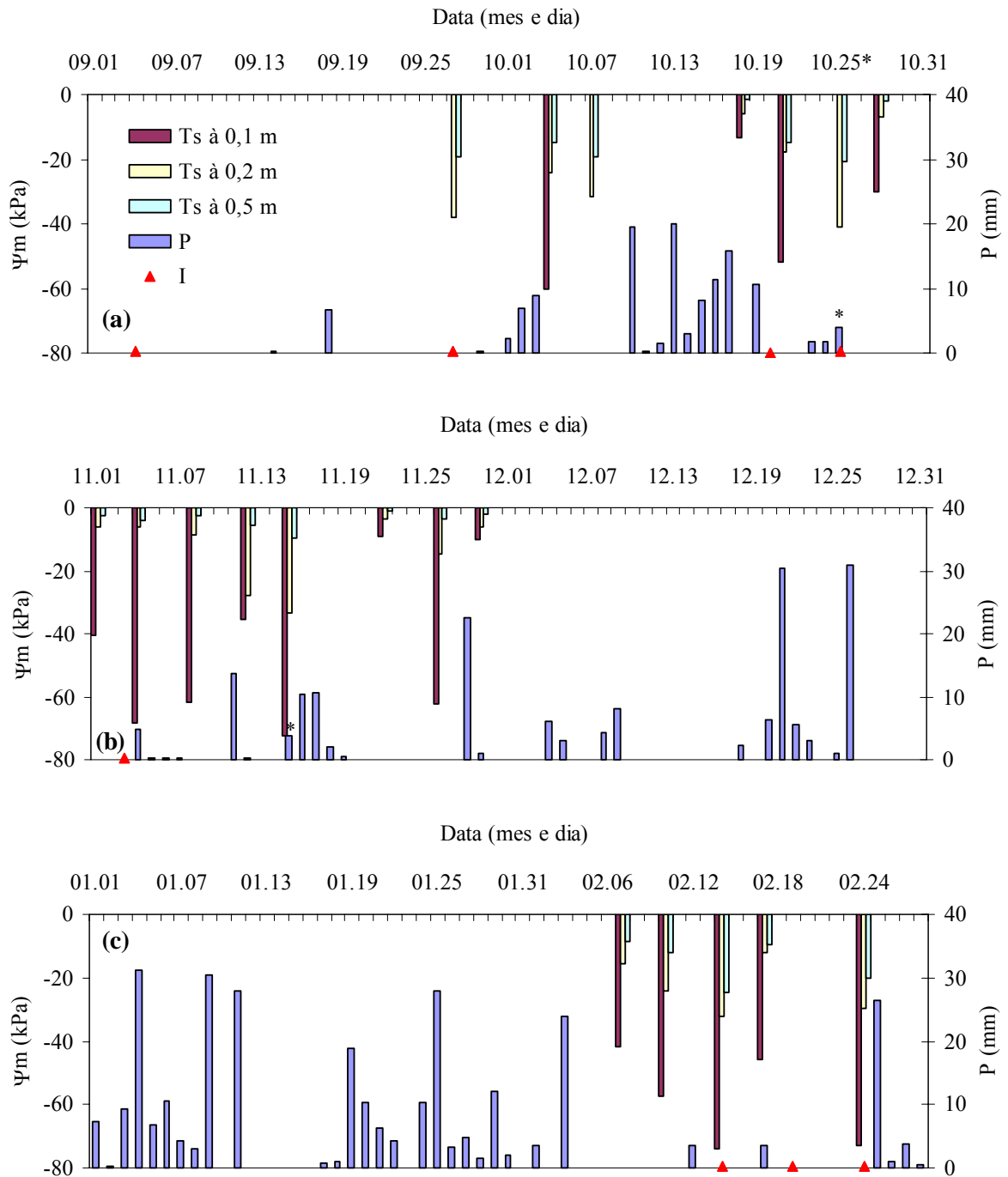


Figura 9 – Variação do potencial matricial ( $\Psi_m$ ) média da água no solo nas várias profundidades na área do experimento, eventos de irrigação ( $I$ ) e chuvas ( $P$ ) registradas na estação meteorológica. (a) – setembro-outubro 2004; (b) – novembro-dezembro 2004 e (c) – janeiro-fevereiro 2005. (\*) – precipitação dividida por 10 (real – 32,9 mm em 25/10/04 e 39,2 mm em 15/11/04)

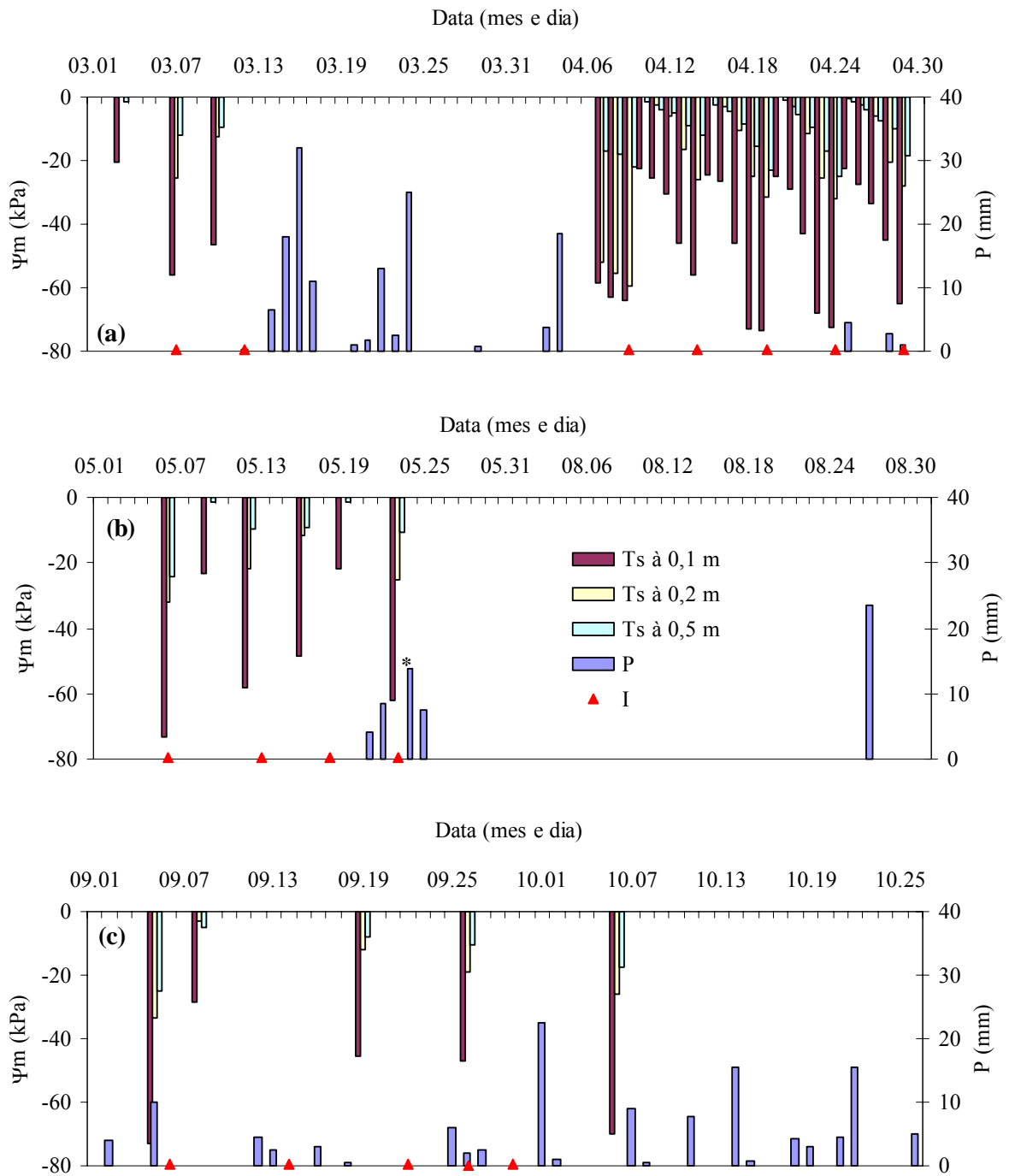


Figura 10 – Variação do potencial matricial ( $\Psi_m$ ) média da água no solo nas várias profundidades na área do experimento, eventos de irrigação ( $I$ ) e chuvas ( $P$ ) registradas na estação meteorológica. (a) – março-abril 2005; (b) – maio e agosto 2005 e (c) – setembro-outubro 2005. (\*) – precipitação dividida por 10 (real -139,0 mm em 24/05/05)

#### 4.2 Condições de cobertura vegetal e de crescimento do cafezal

Em geral, o cafezal foi mantido em suas entrelinhas com vegetação baixa constituída, conforme já descrito, de espécies variadas, com maior concentração de gramínea na face noroeste, infestada por “capim massambará” (*Sorghum halepense*), vegetação de porte alta, (competindo com cafeeiro em altura, se exceder o tempo de corte ou roçada), e, nas demais áreas, a composição da vegetação era mista de porte baixo, com predominância de “caruru” (*Amaranthus* spp.) e “capim-colchão” (*Digitaria sanguinalis*), como pode ser verificado na seqüência de fotos das Figuras 11 e 12. Especificamente em 2005 foi observada a presença marcante do “capim-rubim” (*Leonurus sibiricus*), que até então foi pouco encontrado no ano anterior. Com o início do período das chuvas, houve retomada do crescimento da vegetação das entrelinhas a partir de outubro, atingindo um valor máximo em novembro, sendo que nesse mês uma roçada fez com que essa vegetação ficasse bastante baixa, perdendo essa condição em dezembro de 2004. O crescimento ficou relativamente acentuado em janeiro/2005, sendo que uma nova roçada em fevereiro 2005 reduziu drasticamente a altura da vegetação das entrelinhas, a qual se manteve baixa até a paralisação das medidas no mês de outubro 2005. Em setembro e outubro de 2005, a vegetação da entrelinha permaneceu baixa.

As condições de crescimento dos cafeeiros foram acompanhadas pela medição periódica da área foliar das plantas dos lisímetros (Tabela 4), as quais com exceção do lisímetro 1, eram representativas das condições médias de crescimento do cafezal. A planta do lisímetro 1 apresentou problemas de crescimento a partir do ano de 2003 e acabou sendo descartada nas análises em que os dados dos lisímetros foram usados. O índice de área foliar (IAF) foi calculado com base na área média do cafezal ocupada por cafeeiro.



Agosto 2004



Outubro 2004



Outubro 2004



Novembro 2004



Novembro 2004



Dezembro 2004

Figura 11 – Vistas do cafezal de agosto a dezembro de 2004, observando-se detalhes das linhas de cafeeiros e da vegetação invasora das entrelinhas



Janeiro 2005



Fevereiro 2005



Fevereiro 2005



Março 2005



Setembro 2005



Outubro 2005

Figura 12 – Vistas do cafezal de janeiro a outubro de 2005, observando-se detalhes das linhas de cafeeiros e da vegetação invasora das entrelinhas

Tabela 4 – Área foliar (m<sup>2</sup>) de plantas instaladas nos lisímetros no período de setembro de 2004 a outubro de 2005 e índice de área foliar (IAF)

	Lisímetro 1	Lisímetro 2	Lisímetro 3	Lisímetro 4	IAF
Setembro 2004	0,63	2,60	2,15	0,92	0,60
Outubro 2004	0,80	3,05	3,15	1,78	0,84
Nov/dez 2004	2,82	10,16	8,56	6,96	2,72
Fevereiro 2005	5,78	20,21	16,92	15,11	5,53
Abr/mai 2005	5,34	21,20	18,32	16,61	5,94
Set/out 2005	0,51	16,42	12,68	13,06	4,46

A área foliar em setembro de 2004 estava reduzida após a colheita nesse ano, pois houve logo após esta, um desfolhamento bem mais intenso do que se esperaria nesse período, devido principalmente ao manejo fitossanitário impróprio (fora do nosso alcance), com morte das extremidades dos ramos (em algumas plantas até a morte total). Com o início do período chuvoso, a folhagem dos cafeeiros retomou o crescimento, sendo ainda relativamente pequena em outubro (ver também, o detalhe dessa folhagem na segunda imagem de outubro de 2004, na Figura 11), sendo que no mês de fevereiro a área foliar praticamente já tinha estabilizado, aumentando um pouco até abril-maio, com a entrada de repouso a partir de então o início do período seco. Até setembro seguinte, a taxa de emissão de folhas novas ficou menor do que a de perda de folhas velhas, reduzindo-se a área foliar. Entretanto, em setembro-outubro, a área foliar não foi proporcionalmente tão reduzida quanto no mesmo período no ano anterior.

A área foliar do cafeeiro em cafezais depende da variedade, densidade de plantio, idade das plantas, idade do cafezal, manejo nutricional e fitossanitário, sendo evidentemente muito variável em função desses fatores. A título de comparação, pode-se citar os valores encontrados em uma série de estudos que envolveram consumo de água em cafezais e que são utilizados na discussão dos resultados obtidos no presente estudo, tendo se por base a comparação os valores de IAF citados na Tabela 4: IAF de 1,4; 5,3; 5,4; 6,7 e 7,5 em cafezais de ‘Catuaí-Amarelo’ com idade de 1,2 a 5,3 anos e área foliar de  $3,68 \pm 0,53 \text{ m}^2$  a  $15,57 \pm 3,26 \text{ m}^2$  no Havaí (GUTIÉRREZ; MEINZER, 1994); IAF de 3,7 foi atingido em ‘Catuaí Rubi MG-1192’ após 28 meses de plantio sob irrigação durante todo o ano, sendo que este valor manteve-se constante, sem queda durante os meses de junho-setembro e retomando o aumento após entrada das chuvas, em Planaltina, DF (NAZARENO et al., 2003). Favarin et al. (2002), encontrou IAF de 0,27 a 3,41 quando tinha 15 e



35 meses, respectivamente, após o plantio do cafeeiro cultivar Mundo Novo IAC 388-17, enxertado na cultivar Apatã IAC 2258 plantada no espaçamento de 2,5 x 1,0 m. Neste mesmo cafezal Marin (2003), obteve IAF médio de 3,48 a partir de quatro plantas, quando o cafeeiro estava com 60 meses. Já Righi (2004), verificou um IAF de 0,098 após um ano de plantio, aumentando quase 7 vezes após ocorrido mais um ano (0,663), no cafezal do presente trabalho.

Verifica-se que no final do crescimento em abril-maio, o cafezal aqui utilizado apresentava folhagem densa, como se pode deduzir caso o IAF seja calculado com base na área da projeção da copa no solo, que era cerca de 1/3 da área média ocupada por cafeeiro em relação à área foliar do cafezal, ou seja, os valores de IAF calculados com base na área projetada da copa sobre o solo seriam cerca de 3 vezes maiores que os apresentados na Tabela 4.

### **4.3 Avaliação do desempenho dos métodos de determinação dos fluxos de água no cafezal**

#### **4.3.1 Método do balanço de energia – razão de Bowen**

No método do balanço de energia – razão de Bowen são usadas suposições teóricas como aquela de que o transporte de vapor e outras propriedades é unidimensional (sem gradientes horizontais), com os sensores de medida localizados dentro da subcamada de equilíbrio onde ocorrem fluxos constantes com a altura, sendo a superfície homogênea quanto às fontes e sumidouros de calor, de vapor e de momento e que a relação entre os coeficientes turbulentos de calor e vapor é igual a 1. Se a bordadura (“fetch”) é adequada, as condições de transporte unidimensional e de adequada localização dos sensores é atendida (TODD; EVETT; HOWELL, 2000). A fuga de uma dessas condições representa fonte de erro, sendo um problema especial o transporte horizontal de calor e vapor (advecção). Outra fonte de erro é a decorrente dos próprios sensores de saldo de radiação, temperatura e pressão de vapor do ar, além de sensor de fluxo de calor no solo.

No mesmo cafezal, Righi (2004) verificou que ao trabalhar com medidas psicrométricas até o nível de 2,01 m acima do solo (altura dos cafeeiros em torno de 0,70 m), elas foram realizadas dentro da subcamada de equilíbrio do cafezal, tendo adotado os níveis de medidas de 0,72 e 2,01 m para o cálculo dos gradientes de temperatura e pressão de vapor do ar. No presente estudo, no qual os cafeeiros tinham altura média maior, adotou-se calcular os fluxos de calor latente ( $LE$ ) e de calor sensível ( $H$ ) a partir dos dados dos níveis 2-4 e 2-5, fazendo-se uma comparação entre os valores obtidos nos respectivos níveis (Figuras 13 e 14). Os psicrômetros

dos níveis 2, 4 e 5 estavam a 1,40, 2,10 e 3,00 m, respectivamente, acima do nível do solo, até o fim de janeiro; posteriormente, os psicômetros dos níveis 4 e 5 passaram a medir os dados a 2,40 e 3,30 m acima do solo, respectivamente. Os fluxos foram calculados após a filtragem dos dados pelos critérios de Perez et al. (1999) e nos períodos das 9:00 as 16:00 horas, usando-se a média dos três ou de dois mastros, não se trabalhando em dias com medidas utilizáveis de somente um mastro.

A concordância dos valores diários de  $LE$  calculados a partir dos dois níveis é excelente, com diferença máxima de 2,7 % e coeficientes de determinação muito elevados. No caso do calor sensível, verifica-se boa concordância na maioria dos meses, embora em janeiro e maio de 2005 as relações entre os dois níveis tenham sido de 1,118 e 0,906, respectivamente. Os valores de  $R^2$  para as relações de  $H$  foram menores do que para as relações de  $LE$ , alguns deles negativos; isso ocorreu pela menor amplitude de variação de  $H$  e por se forçar à passagem pelo zero. Entretanto, não tendo as relações apresentadas objetivo de uso como equações preditivas, esses valores baixos ou negativos de  $R^2$  não serão considerados problemáticos.

Com o objetivo de estudar a variabilidade espacial das medidas e verificar se os dados obtidos a partir de cada mastro mostravam alguma tendência particular, as razões de  $LE$  e  $H$  dadas pelo coeficiente angular das retas de regressão passando pelo zero para cada ponto amostral (mastro) são mostradas na Tabela 5. Não se verifica tendência particular em qualquer mastro, embora alguns valores envolvendo  $H$  sejam discrepantes, principalmente em abril. Mas quando se faz as relações de calor latente e calor sensível com a energia disponível ( $E$ ), a partir da diferença entre os níveis 2 – 4 (Tabela 6), observa-se que os desvios entre os mastros não ficaram muito grandes (16 %). Nesta mesma tabela, pode se verificar que na grande maioria dos casos, os ajustes foram bons (altos valores de  $R^2$ ), com boa repetibilidade dos valores em cada mês. O maior desvio ocorreu no mês de dezembro (8 %) para relação  $LE/E$  e (32 %) para relação  $H/E$ .

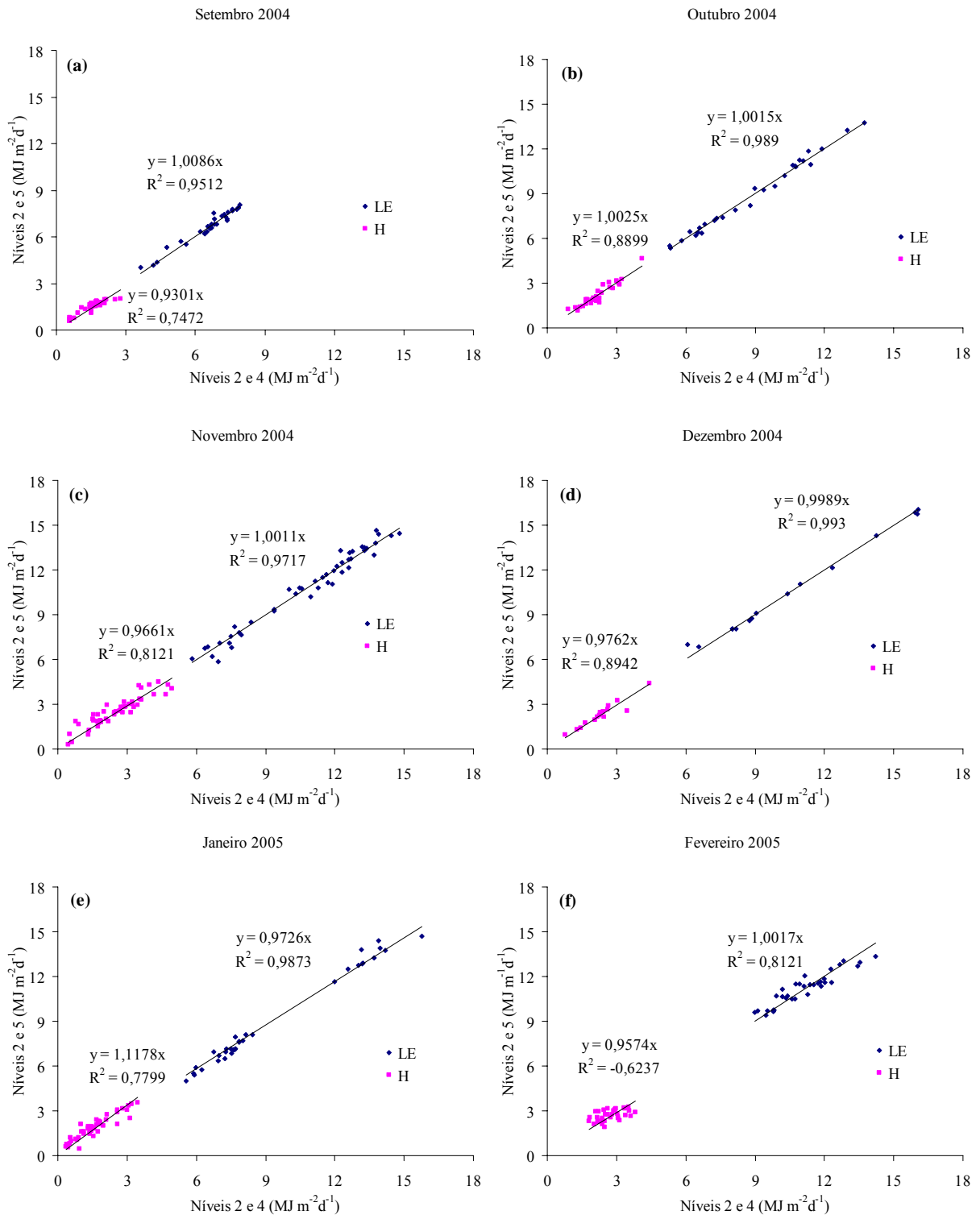


Figura 13 – Relação entre os valores de calor latente (LE) e calor sensível (H), estimados a partir dos respectivos gradientes obtidos nos níveis 2-4 e 2-5. Cada gráfico representa a média dos mastros usados

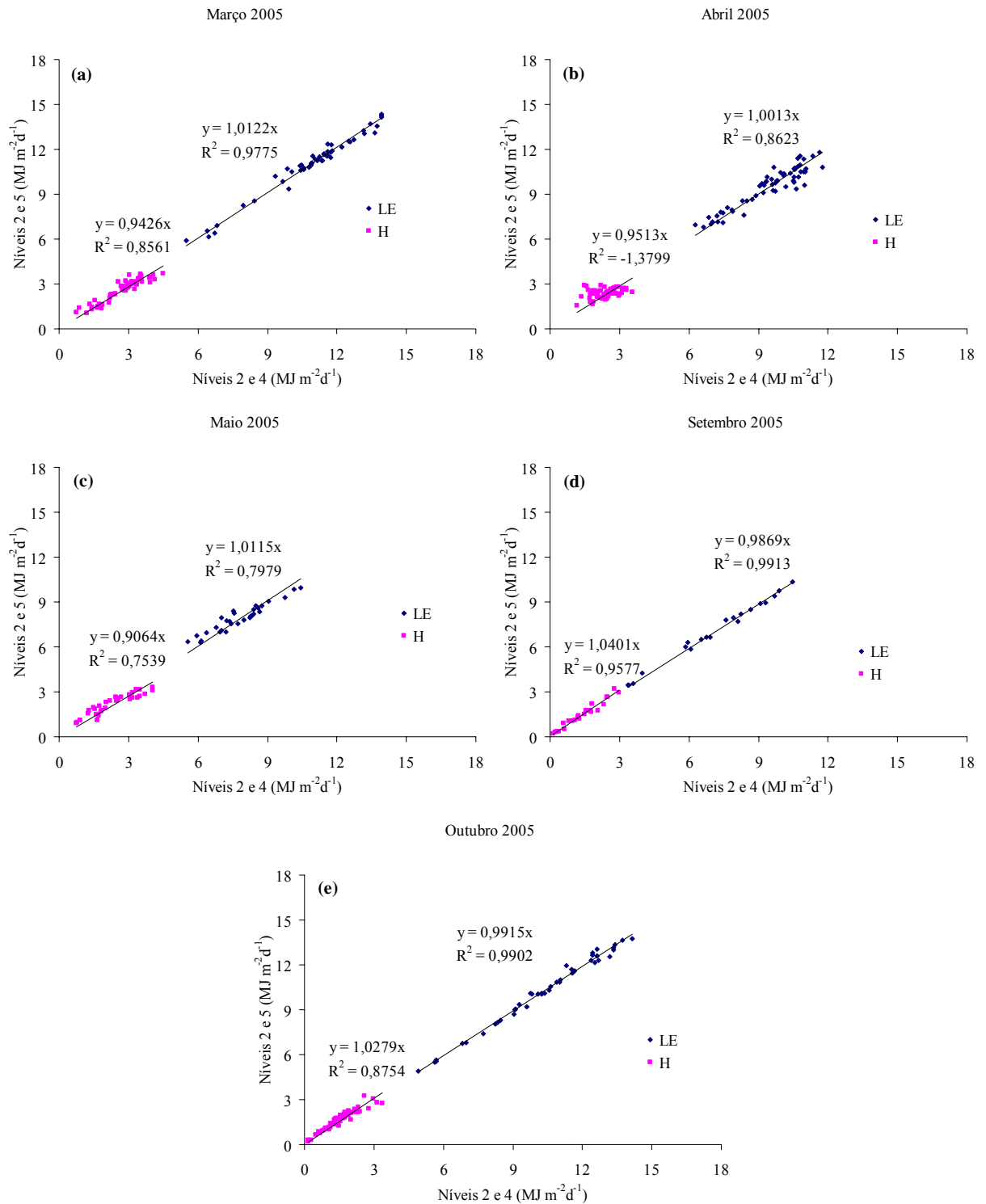


Figura 14 – Relação entre os valores de calor latente (LE) e calor sensível (H), estimados a partir dos respectivos gradientes obtidos nos níveis 2-4 e 2-5. Cada gráfico representa a média dos mastros usados

Tabela 5 – Coeficientes angulares da reta de regressão entre os valores de calor latente (LE) e de calor sensível (H) para cada mastro, sendo x e y referentes aos valores calculados a partir dos gradientes entre os níveis 2 – 5 e 2 – 4, respectivamente. A regressão foi obtida forçando-se a passagem pelo zero, sendo os valores de  $R^2$  mostrado nos parênteses

Mês	Mastro 3		Mastro 2		Mastro 1	
	LE	H	LE	H	LE	H
Set/04	0,992(0,97)	1,018(0,82)	1,001(0,99)	0,989(0,93)	1,049(0,96)	0,830(0,55)
Out/04	0,989(0,98)	1,045(0,88)	1,017(1,00)	0,914(0,94)	0,998(1,00)	1,014(0,97)
Nov/04	1,028(0,99)	0,898(0,94)	1,016(0,98)	0,923(0,93)	0,966(0,97)	1,125(0,77)
Dez/04	0,999(1,00)	0,998(0,96)	0,987(1,00)	1,068(0,98)	1,007(0,99)	0,903(0,70)
Jan/05	0,961(0,99)	1,177(0,87)	0,978(0,98)	1,040(0,67)	0,976(0,99)	1,125(0,82)
Fev/05	0,997(0,97)	1,007(0,70)	0,960(0,95)	1,194(-0,65)	1,064(0,94)	0,792(0,83)
Mar/05	1,005(0,98)	0,973(0,80)	1,016(0,99)	0,938(0,90)	1,016(0,97)	0,921(0,83)
Abr/05	0,940(0,90)	1,309(-0,18)	1,032(0,98)	0,880(0,56)	1,029(0,95)	0,889(0,17)
Mai/05	0,971(0,97)	1,034(0,70)	1,048(0,48)	0,819(0,92)	1,015(0,95)	0,952(0,90)
Set/05	0,970(0,99)	1,139(0,98)	0,998(1,00)	0,978(0,97)	0,992(0,84)	1,024(0,43)
Out/05	0,997(0,98)	0,997(0,82)	0,999(1,00)	1,002(0,92)	0,978(1,00)	1,166(0,96)
Média	0,986	1,054	1,004	0,977	1,008	0,976

Tabela 6 – Valores da relação entre o calor latente (LE) e calor sensível (H) com a energia disponível ( $E=Rn-G$ ) para cada mastro, calculados a partir da diferença entre os níveis 2 – 4 Os valores entre parênteses corresponde a  $R^2$

Mês	Mastro 3		Mastro 2		Mastro 1	
	LE/E	H/E	LE/E	H/E	LE/E	H/E
Set/04	0,743(0,98)	0,259(0,68)	0,753(0,98)	0,265(0,65)	0,691(0,96)	0,309(0,44)
Out/04	0,706(0,88)	0,301(0,50)	0,744(0,99)	0,256(0,77)	0,718(0,98)	0,282(0,78)
Nov/04	0,715(0,98)	0,286(0,82)	0,733(0,99)	0,268(0,81)	0,771(0,96)	0,224(0,69)
Dez/04	0,699(0,84)	0,321(0,66)	0,808(0,99)	0,191(0,76)	0,791(0,98)	0,194(0,77)
Jan/05	0,756(0,99)	0,244(0,89)	0,781(0,98)	0,230(0,79)	0,781(0,97)	0,208(0,85)
Fev/05	0,751(0,99)	0,239(0,89)	0,791(0,99)	0,210(0,79)	0,715(0,97)	0,277(0,80)
Mar/05	0,745(0,98)	0,254(0,85)	0,730(0,98)	0,272(0,87)	0,746(0,94)	0,264(0,61)
Abr/05	0,775(0,90)	0,210(0,68)	0,716(0,98)	0,284(0,79)	0,716(0,96)	0,277(0,81)
Mai/05	0,791(0,84)	0,209(0,11)	0,733(0,89)	0,269(0,49)	0,774(0,97)	0,228(0,83)
Set/05	0,774(0,95)	0,253(0,64)	0,755(0,98)	0,245(0,63)	0,719(0,98)	0,281(0,74)
Out/05	0,755(0,98)	0,245(0,70)	0,810(1,00)	0,189(0,79)	0,819(1,00)	0,181(0,78)

Além dessa análise de relações entre os valores de fluxos obtidos a partir dos níveis 4 – 2 e 5 – 2, fez-se a comparação da relação  $I$  entre as razões  $(T_5 - T_2/T_4 - T_2)$  e  $(e_5 - e_2/e_4 - e_2)$ , que representam a relação entre os gradientes de temperatura e de pressão de vapor do ar. Segundo Verma; Rosenberg e Blad (1978), a similaridade dos perfis exigida no método da razão de Bowen ocorre se a relação entre as razões acima for constante na camada atmosférica considerada. Se houver advecção de calor sensível, por exemplo, a constância não é observada, de maneira que a análise dessa relação permite se ter uma indicação da ocorrência da advecção. Righi (2004), trabalhando no mesmo cafezal com menor porte nos anos 2002 e 2003, considerou que a dispersão em torno da linha 1:1 nessa relação podia ser decorrente, também, de erros causados pelos psicrômetros. Com base em testes de laboratório com os psicrômetros usados, aquele autor considerou que erros das medidas psicrométricas podiam fazer com que a relação entre as razões acima variasse  $\pm 0,3$  em torno de 1,0, assumindo assim que valores da relação entre 0,7 e 1,3 poderiam ser considerados como indicativo de efeito muito pequeno ou nulo da advecção sobre as medidas, sendo acima de 1,3 indicativo de forte advecção e abaixo de 0,7 de advecção leve. Adotando esses critérios com os dados já filtrados pelos critérios de Perez et al. (1999), fez-se um levantamento da porcentagem de medidas dessas relações com valores em cada faixa considerada, ou seja, 0,7 a 1,3 e abaixo ou acima desses limites (Tabela 7), por ponto amostral (mastro).

Os resultados da Tabela 7 mostram discrepâncias entre os dados dos mastros nos vários meses, com exceção de setembro e outubro de 2004, nos quais entre 80 a 96 % dos resultados de cada mastro mostram valores indicativos de não ocorrência de advecção. Este resultado é curioso, pois o mês de setembro/04 foi o mais seco de todo o período experimental (Figura 9), e poder-se-ia esperar que nele ocorresse maior probabilidade de perturbação de gradientes de temperatura e vapor por efeito advectivo. Por outro lado o mês de janeiro apresentou condições de pluviosidade que não favorecem a ocorrência de advecção, de modo que a alta porcentagem (cerca de metade) de medidas com  $I$  fora da faixa do valor de 0,7 a 1,3, pode ser um indicativo que a adoção desses limites de  $I$  é questionável como critério para se verificar condições advectivas. O mês de novembro, por exemplo, mostrou pequena altura pluviométrica nos primeiros 15 dias, nos quais foram aproveitados 8 dias de medidas; somente os dados do mastro 1 indicaram possibilidade de convecção no mês de fevereiro, que também foi atípico, com pluviosidade abaixo da média histórica, sendo que a última chuva elevada ocorreu no início do mês, de modo que as medidas

efetuadas entre os dias 18 e 24 poderiam ter estado sujeitas a advecção, mas as discrepâncias observadas entre os mastros (Tabela 7) não permitem ter-se uma definição.

Tabela 7 – Porcentagem de medidas da relação I das diferenças de temperatura e da pressão de vapor no ar nos níveis 5 - 2 e 4 - 2 de cada mastro, dentro ou fora da faixa de 0,7 a 1,3

Mês	Mastro 3			Mastro 2			Mastro 1		
	I=1(±3)	I<0,7	I>1,3	I=1(±3)	I<0,7	I>1,3	I=1(±3)	I<0,7	I>1,3
Set/04	93	3	4	96	2	2	93	6	1
Out/04	80	6	14	80	17	3	88	5	7
Nov/04	85	15	0	81	15	4	57	6	37
Dez/04	60	24	16	70	5	25	80	15	5
Jan/05	48	2	50	76	13	11	46	4	50
Fev/05	97	0	3	51	1	48	70	28	2
Mar/05	93	3	4	89	8	3	65	18	17
Abr/05	51	2	47	88	10	2	85	9	6
Mai/05	53	7	40	64	23	13	91	8	1
Set/05	68	6	26	84	8	8	86	9	5
Out/05	81	4	15	85	5	10	62	1	37

Obs: Relação entre  $(T5 - T2/T4 - T2)$  e  $(e5 - e2/e4 - e2)$

Buscando-se uma discussão mais profunda sobre o assunto, fez-se uma análise da frequência de direção de ventos nos dias de medida em cada mês (Tabela 8), bem como da velocidade média dos mesmos em cada quadrante (Tabela 9), à 2 m da superfície do solo.

A direção predominante do vento no local é considerada como SE (RIGHI, 2004), tendo-se a extensão da bordadura até os locais de medida cerca de 170 m a 180 m. Em termos médios, ocorrem ventos fracos no local (Tabela 9), tendo os mais fortes ocorrido em outubro, novembro e dezembro de 2004 e setembro 2005, principalmente nos quadrantes SE, SW e NW. A Tabela 8 mostra que não houve um quadrante com forte predominância se considerada todos os meses de estudo, embora em cerca de 2/3 das ocorrências tiveram ventos nos quadrantes NE – SE. Interessante é notar a relativamente alta frequência no quadrante NW, fato não observado por Righi (2004) em seu trabalho.

Tabela 8 – Frequência mensal de direção do vento (2 m) com dados da estação meteorológica em cada quadrante e entre 40° a 100°, nos dias em que foram utilizados para análise da razão de Bowen, considerando apenas no período diurno

	0° – 90°	90° – 180°	180° – 270°	270° – 360°	40° – 100°
	(%)				
Set/04	33	24	22	21	25
Out/04	35	32	12	22	30
Nov/04	23	39	16	22	17
Dez/04	19	19	14	48	19
Jan/05	33	14	13	40	17
Fev/05	20	51	9	20	18
Mar/05	22	41	22	15	16
Abr/05	46	22	16	16	28
Mai/05	44	49	4	3	54
Set/05	20	43	19	17	24
Out/05	29	32	21	18	23

Tabela 9 – Velocidade média do vento (2 m) com dados da estação meteorológica em cada quadrante, nos dias em que foram utilizadas para análise da razão de Bowen, considerando apenas período diurno. Nordeste de 0° – 90° (NE); sudeste de 90° - 180° (SE); sudoeste de 180° - 270° (SW); noroeste de 270° - 0° (NW) e na faixa de 40° - 100°. As médias referem-se apenas dos quatro quadrantes

	0° – 90°	90° – 180°	180° – 270°	270° – 360°	40° – 100°	Médias
	(m s <sup>-1</sup> )					
Set/04	1,37	1,09	1,26	1,18	1,21	1,22
Out/04	1,21	1,64	1,96	1,65	1,09	1,61
Nov/04	1,30	2,34	1,68	1,62	0,89	1,73
Dez/04	0,92	1,29	1,98	2,02	1,29	1,55
Jan/05	0,69	0,90	1,31	1,39	0,52	1,07
Fev/05	0,77	1,48	1,38	1,22	0,77	1,21
Mar/05	0,54	1,19	1,06	0,67	0,56	0,87
Abr/05	0,52	0,71	1,01	0,63	0,45	0,72
Mai/05	1,10	1,12	0,96	1,29	1,06	1,12
Set/05	1,11	1,95	2,18	1,52	1,11	1,69
Out/05	1,16	1,09	1,43	1,44	0,99	1,28



Diminuindo-se a faixa para 40° a 100°, para se encontrar aquela em que se tinha a menor bordadura (RIGHI, 2004), tem-se respectivamente nesses valores 25 % (setembro /04), 18 % (fevereiro), 28 % (abril) e 54 % (maio).

Os resultados obtidos e discutidos neste item permitem concluir que as medidas tomadas nos níveis 4 – 2 e 5 – 2 ocorreram na maior parte do tempo dentro da subcamada de equilíbrio, sendo indiferente trabalhar com um ou com outro nível, tendo-se adotado o nível 4 – 2 nos cálculos de evapotranspiração global do cafezal. A preocupação em se trabalhar nessa subcamada é fundamental para se ter resultados confiáveis. Gutiérrez e Meinzer (1994) usaram o método de balanço de calor – razão de Bowen em cafezais de ‘Catuaí Amarelo’ cultivados em renques no Havaí, com idades variando entre 1,2 anos a 5,3 anos, adotando os níveis de medida de 5,25 m e 6,25 m acima do solo, mas esses níveis tomados independentes da altura do cafezal podem ser justificados pela grande extensão dos cafezais por eles usados (37 a 74 ha), nos com “fetch” adequado superior a 100 vezes a altura da cultura. Marin et al. (2005) e Pezzopane (2004) usaram o método da razão de Bowen em estudos de evapotranspiração, respectivamente, em cafezal adulto e com consorciação com bananeiras, respectivamente, mas os níveis de medidas usados (1,5 e 3,5 m, e aproximadamente 3,0 e 6,0 m, respectivamente) não foram justificados. O trabalho de Righi (2004) faz uma discussão mais completa sobre o assunto e foi usado como referência nesse estudo. Quanto aos possíveis efeitos advectivos, não foi possível tirar-se uma conclusão consistente e as possíveis implicações desses efeitos serão novamente considerados ao se discutir os fluxos de calor latente no cafezal.

#### **4.3.2 Lisimetria; efeito da área foliar dos cafeeiros na evapotranspiração**

Dois problemas principais foram detectados nos lisímetros, que impediram o uso de valores horários de medida. O primeiro refere-se ao efeito do vento, da forma observada por Santiago (2001) e Righi (2004), e também, por problemas das células de carga em determinados momentos do dia, acusando acréscimo de massa em vez de redução, conforme também relatado por Santiago (2001). Para esta análise, nos meses de fevereiro e março de 2005, foram incluídos os lisímetros 1 e 2, mesmo que eles estivessem com o solo coberto com lona plástica para evitar evaporação. Em setembro e novembro, alguns dias com os lisímetros cobertos foram excluídos da discussão. Dias com chuvas e irrigação também foram descartados.

Na falta de um método independente para testar o desempenho dos lisímetros, ele foi verificado comparando-se as medidas entre eles e relacionando-as com a evolução da área foliar dos cafeeiros. Dessa forma, além do desempenho desses equipamentos, foi possível verificar o efeito da área foliar na perda de água dos renques, considerando-se que as suas medidas representavam a evapotranspiração das linhas de cafeeiros. Para esse estudo de desempenho, foram usados não somente os dados a partir de setembro de 2004, quando os quatro lisímetros estavam em funcionamento, mas também o período de medidas realizadas entre março e julho de 2004, quando somente os lisímetros 1 e 2 já estavam operacionais.

Conforme mostrado na Tabela 4, o cafeeiro do lisímetro 1 mostrou problemas de crescimento, com área foliar sempre inferior às plantas dos outros lisímetros, sendo que estas mostravam valores representativos da área foliar e de sua variabilidade espacial no cafezal. Entretanto, visando a discutir o efeito da área foliar sobre a evapo(transpi)ração, os dados desse lisímetro 1 serão comparados com os do lisímetro 2, sendo que ambos utilizam células de carga de formato em “Z”, enquanto que os de números 3 e 4 utilizam célula de formato tipo plano (ou “viga”).

Os resultados de comparação são mostrados nas Figuras 15 e 16, sendo usados valores diários. As retas de regressão foram forçadas a passar pela origem. Foram feitas, também, comparação com valores integrados de 2 e 3 dias, mas as relações foram minimamente diferentes das encontradas com valores diários, pelo que elas não são mostradas, pois não contribuem adicionalmente para a análise aqui feita.

Em geral, os coeficientes de determinação apresentaram grande variação, indo desde valores baixos (e até negativos), em consequência de se forçar a passagem pelo zero e da pequena amplitude de variação das variáveis em alguns meses, até valores bastante elevados em outros meses. As equações apresentadas não serão usadas como um modelo preditivo, mas somente para discutir o desempenho dos lisímetros, de modo que os baixos valores de  $R^2$  são indicativos de que, em determinadas circunstâncias, os lisímetros apresentaram desempenho relativamente errático, parecendo ser esse fato mais marcante nos meses mais úmidos (novembro a fevereiro). Apesar de, em princípio, ter se descartado dias com alturas pluviométricas elevadas, é difícil eliminar todos os efeitos das chuvas em dias subsequentes a sua ocorrência (CAMPECHE, 2002, SANTIAGO, 2001). Outro aspecto a se ressaltar é que os coeficientes de determinação tenderam a ser menores quando entraram nas comparações os lisímetros 1 e 2, o que pode ser uma

indicação de que o uso da célula tipo “Z” introduziu maior variação nas medidas do que as do tipo “viga”.

Na comparação dos lisímetros 1 e 2, deve-se considerar a grande diferença de área foliar entre eles, causada pelo crescimento insuficiente da planta do lisímetro 1. No primeiro ano de análise, entre março e julho de 2003, ambos os cafeeiros dos lisímetros ainda tinham uma área foliar relativamente pequena, que praticamente não variou mais ao longo desses meses, com área foliar no lisímetro 2 cerca de 1,62 vezes maior do que no número 1. Essa proporção é praticamente a mesma da relação observada entre os valores de evapotranspiração observada nos dois lisímetros no período (Figura 15), mostrando que a relação da evapotranspiração com a área foliar foi mantida em ambos equipamentos. Já em setembro-outubro de 2004, as relações entre as áreas foliares (3,1) e entre a evapotranspiração desses dois lisímetros (1,76) foram diferentes, mas deve-se observar na Tabela 4 que a área foliar do lisímetro 1 era muito pequena, de modo que os dois lisímetros tinham descoberto uma grande fração do solo, favorecendo a evaporação a partir deste, de forma desproporcionalmente maior no lisímetro 1 em relação ao 2, o que explicaria em grande parte a diferença das duas relações acima citadas.

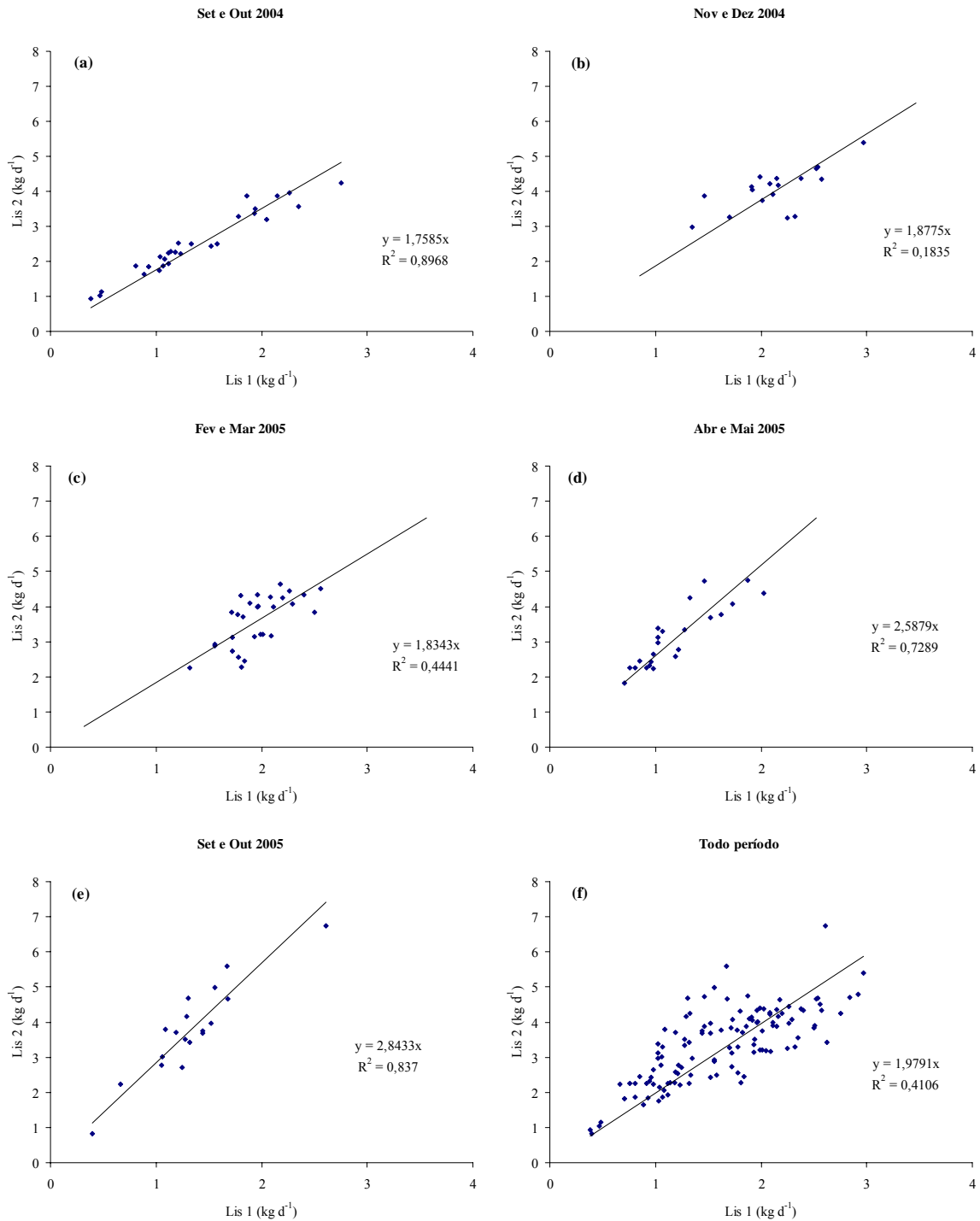


Figura 15 – Relação entre os valores diários de variação de massa obtidos nos lisímetros 1 e 2 para os bimestres setembro e outubro de 2004 (a); novembro e dezembro de 2004 (b); fevereiro e março de 06 2005 (c); abril e maio de 2005 (d); setembro e outubro de 2005 (e) e todo período (f)

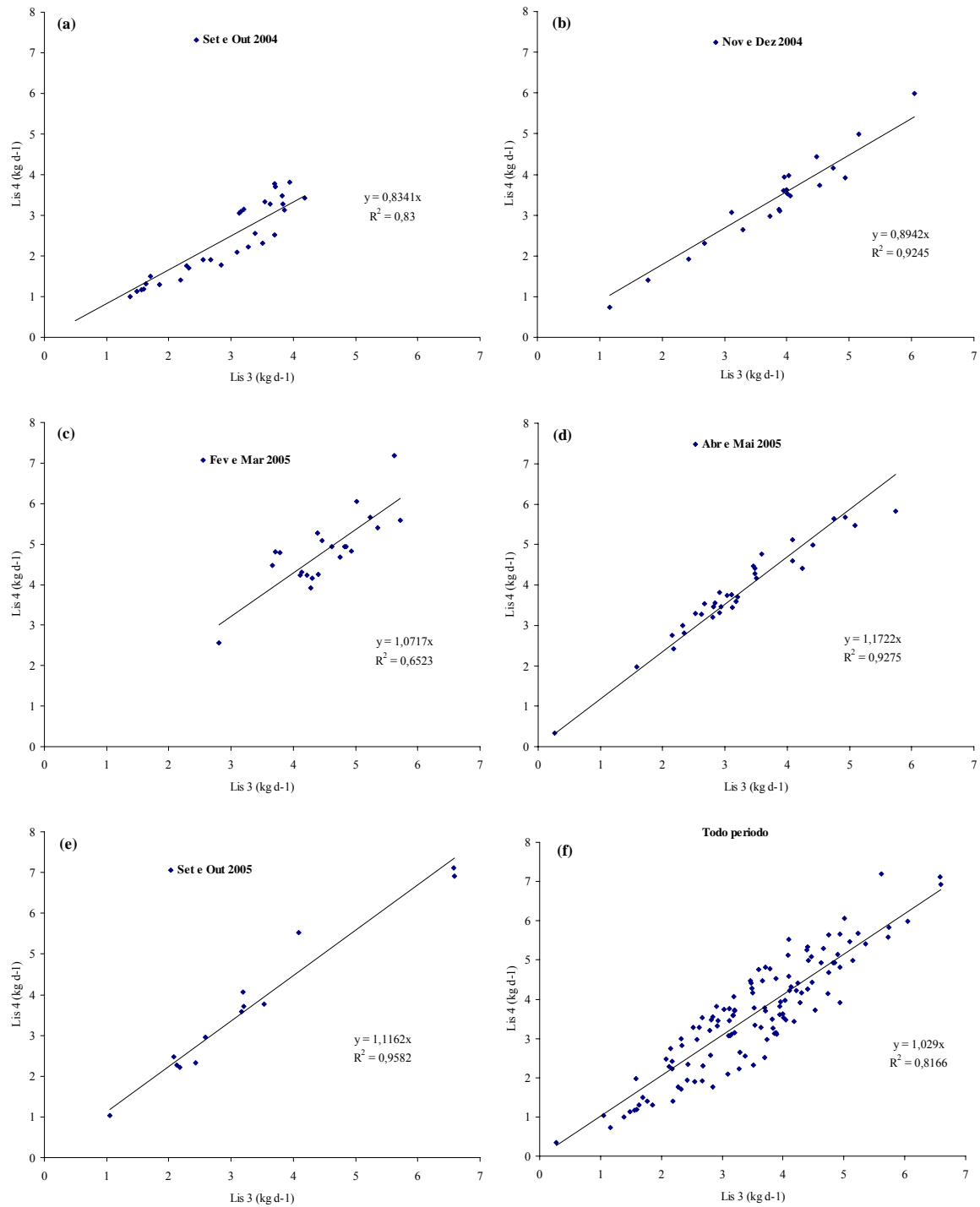


Figura 16 – Relação entre os valores diários de variação de massa obtidos nos lisímetros 3 e 4 para os bimestres setembro e outubro de 2004 (a); novembro e dezembro de 2004 (b); fevereiro e março de 06 2005 (c); abril e maio de 2005 (d); setembro e outubro de 2005 (e) e todo período (f)

Nos dois períodos em que esses dois lisímetros tiveram o solo coberto para evitar a evaporação (setembro 2004 e fevereiro-março 2005), a relação entre suas transpirações diárias de 2,5 e 1,83, respectivamente, não se manteve proporcional à relação entre as áreas foliares (entre 3,5 – 4,0). A diferença em setembro 2004 ocorreu com áreas foliares pequenas em ambos os lisímetros e seriam esperadas relações para áreas foliares como para transpiração não diferentes entre si. No caso de fevereiro-março, o valor de relação entre a transpiração dos dois lisímetros foi bem menor do que a de áreas foliares. Por ter ocorrido com a área foliar já bem elevada no lisímetro 2, esse fato pode indicar que a transpiração não foi proporcional ao aumento de área foliar, provavelmente porque o aumento da densidade de folhagem pode tornar diferenciada a absorção de radiação pelas folhas e, até mesmo, porque a ventilação e o déficit de saturação de vapor de água do ar da copa dos cafeeiros pode ter sido diferenciada entre as duas plantas.

A observação das relações de evapotranspiração entre os lisímetros 2, 3 e 4 ajudam a analisar esse efeito de área foliar. A partir de novembro-dezembro 2004, a área foliar nesses lisímetros aumentou para um limiar entre 7 m<sup>2</sup> (lisímetro 4) a 10 m<sup>2</sup> (lisímetro 2) e praticamente em fevereiro-março já haviam atingido o valor máximo (acima de 15 m<sup>2</sup>) nos três, mantendo-se relativamente estabilizadas até maio. A relação média de evapotranspiração entre os lisímetros tendeu para 1 (Figuras 17 e 18), independente das diferenças de 15 a 25 % entre as áreas foliares dos três lisímetros, indicando que para áreas foliares elevadas como as ocorridas nesse período, a evapo(transpi)ração dos renques já independeram do aumento da área foliar. Angelocci et al. (2004) observaram em dois lisímetros em um cafezal adulto (7 anos) cultivado ao lado do usado no presente experimento e irrigado por gotejamento, cujas plantas apresentavam área foliar de 7,4 m<sup>2</sup> e 13,0 m<sup>2</sup> em setembro/2003 e 12,8 m<sup>2</sup> e 20,8 m<sup>2</sup> em março 2004, que em ambos os meses a relação entre a evapotranspiração dos dois lisímetros manteve-se em média próxima da relação 1:1, ou seja, em consonância com o observado neste estudo. Isso leva à hipótese de que, para valores de área foliar acima de certo valor, que a partir dos dois trabalhos pode ser considerada estar em torno de 7 m<sup>2</sup>, a evapotranspiração dos cafeeiros em renque nas densidades de plantio usadas, mantém-se relativamente independente do aumento da área foliar.

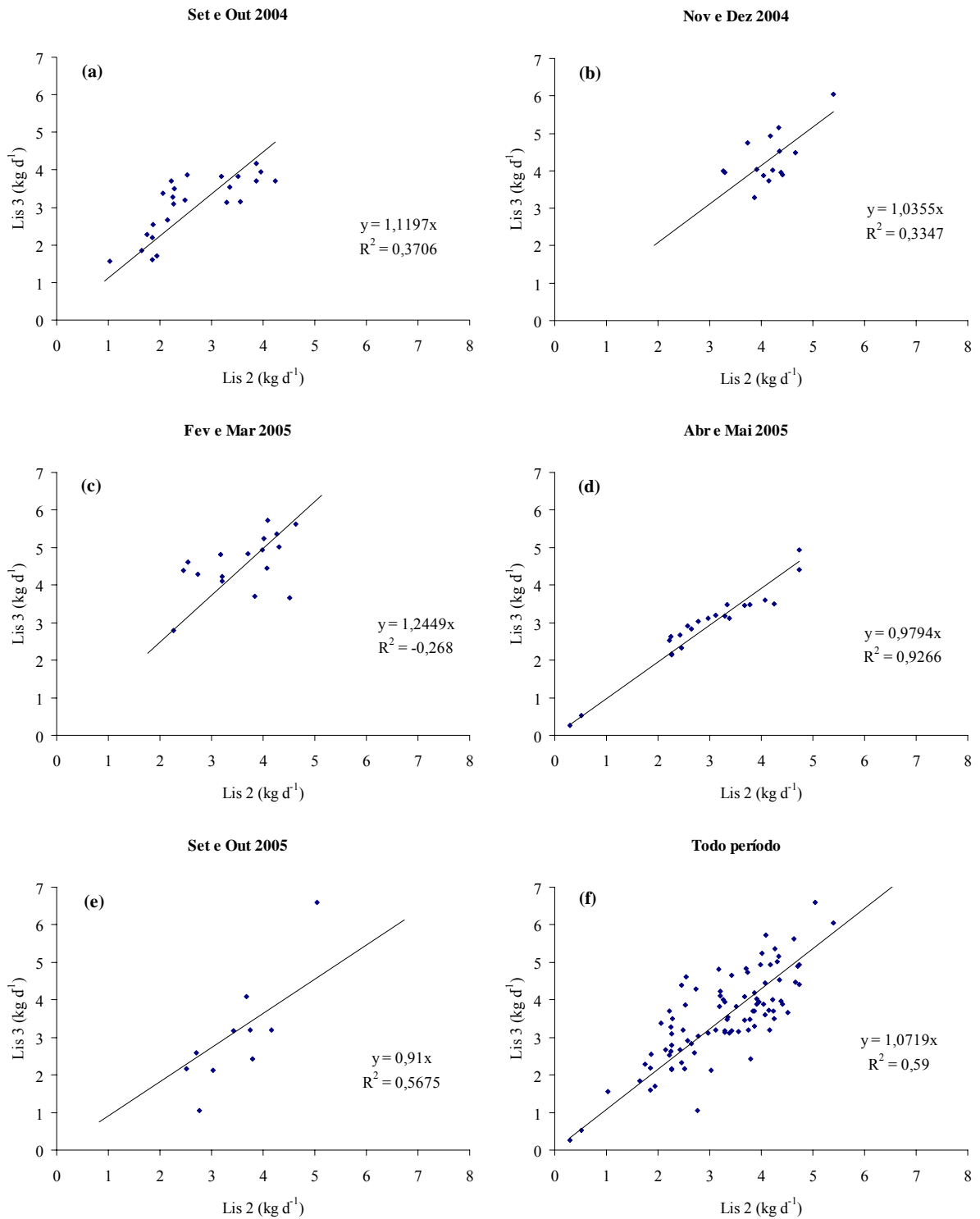


Figura 17 – Relação entre os valores diários obtidos nos lisímetros 2 e 3 para os bimestres setembro e outubro de 2004 (a); novembro de dezembro de 2004 (b); fevereiro e março de 06 2005 (c); abril e maio de 2005 (d); setembro e outubro de 2005 (e) e todo período (f)

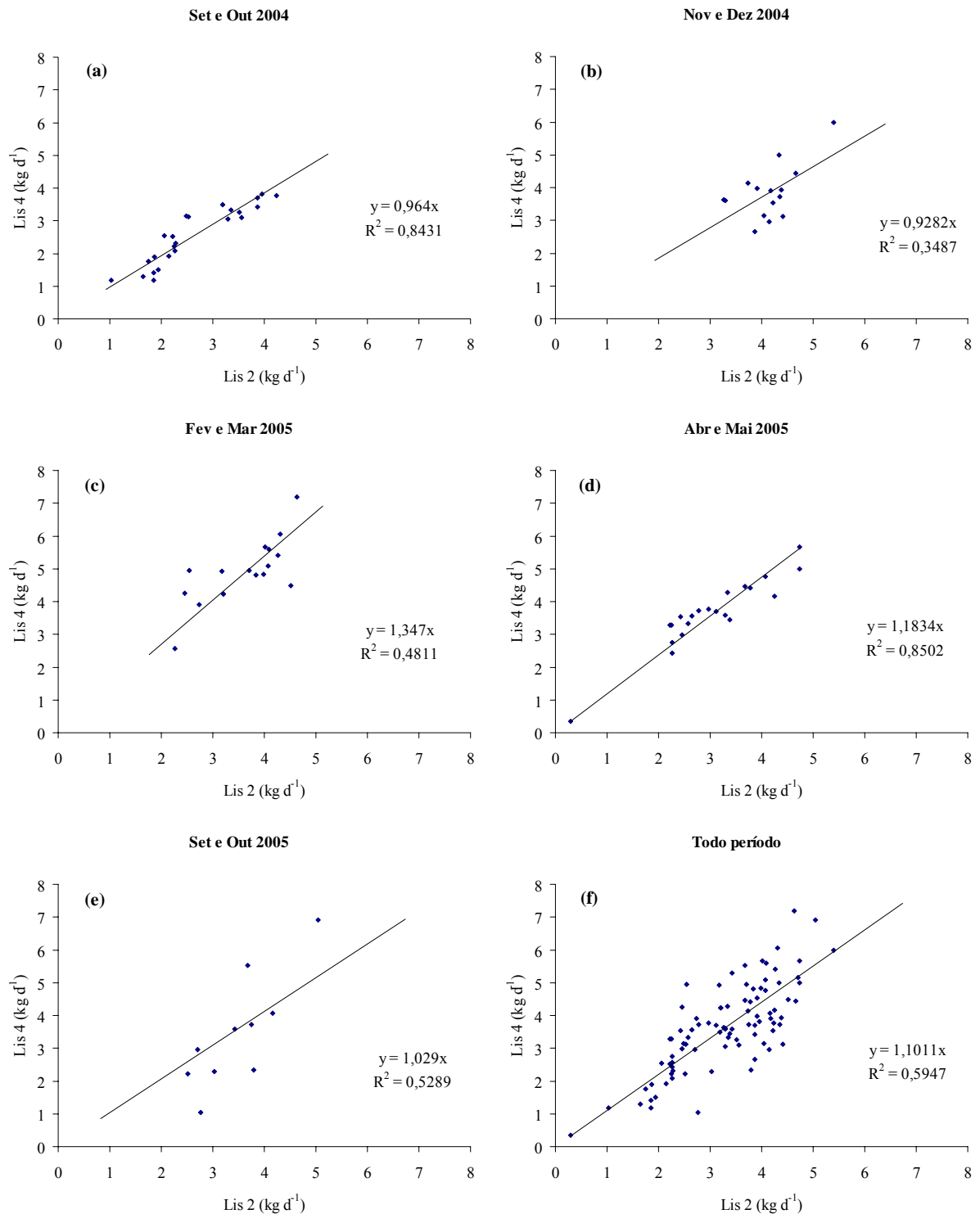


Figura 18 – Relação entre os valores diários obtidos nos lisímetros 2 e 4 para os bimestres setembro e outubro de 2004 (a); novembro de dezembro de 2004 (b); fevereiro e março de 06 2005 (c); abril e maio de 2005 (d); setembro e outubro de 2005 (e) e todo período (f)



Apesar dos problemas citados nas medidas lisimétricas, nos períodos em que os dados foram usados pode-se concluir que o desempenho dos mesmos foi suficiente para se ter resultados confiáveis de evapotranspiração dos renques de cafeeiros na escala diária. Para confirmar esse desempenho, a Figura 19 mostra um período de 20 dias no mês de abril, ausente de chuva e com três irrigações, possibilitando a verificação da coerência da resposta na variação de massa tanto na reposição (irrigação), como na retirada (evapotranspiração) de água. As irrigações no período foram de 31,10 L; 33,19 L e 34,54 L e, entre as duas primeiras irrigações (6 dias), ocorreu uma evapotranspiração média de  $4,95 \text{ L d}^{-1}$  e isto equivale a 29,69 L no período de 6 dias, restando um saldo positivo de 3,51 L da primeira irrigação e este ponto pode ser observado no lisimetrograma. Entre a segunda e a terceira irrigação, o consumo médio foi de  $4,72 \text{ L d}^{-1}$ , totalizando 23,60 L em 5 dias e como tinha irrigado 33,19 L, o saldo desta vez foi maior (10,94 L), e neste período foi marcante no lisimetrograma onde o ponto que estava no início (abaixo da linha de 20 kg), e no final (acima da linha de 20 kg) do período, evidenciando o saldo de 10,94 L. observa-se também que, que as retas de elevação de peso por irrigação mostraram valores próximos de massa de água repostada por irrigação, dentro de uma margem de  $\pm 10 \%$ .

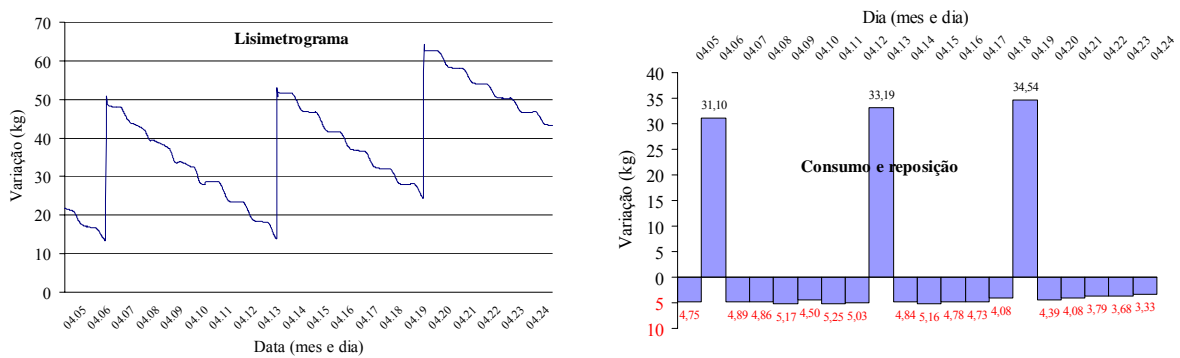


Figura 19 – Resposta do lisímetro à irrigação (reposição) e à evapotranspiração (consumo) observado no período de 20 dias consecutivos e ausente de chuva (5 a 24 de abril)

#### 4.3.3 Sonda de dissipação térmica e fluxo de seiva

Inicialmente fez-se uma análise quanto à influência do gradiente térmico natural (GNT) do tronco nos dados da temperatura diferencial, que estudos anteriores comprovam ser uma fonte de erro na determinação do fluxo de seiva, principalmente quando as sondas são instaladas próximas à superfície do solo e, também, em caules de diâmetros pequenos, (inferiores a 0,04 m), interferindo diretamente na medida do sensor e proporcionando erros na estimativa (CABIBEL;

DO, 1991; SMITH; ALLEN, 1996; FERREIRA; ZITSCHER, 1996 e LUNDBLAD; LAGERGREN; LINDROTH, 2001). Na Figura 20 estão apresentados os dados de GNT da planta 2 em dias da primavera (17 e 22 de setembro de 2004) e de verão (dias 03 e 06 de março de 2005), junto com os dados de radiação líquida ( $R_n$ ) sobre o gramado e GNT, em dias de diferentes condições de  $R_n$ .

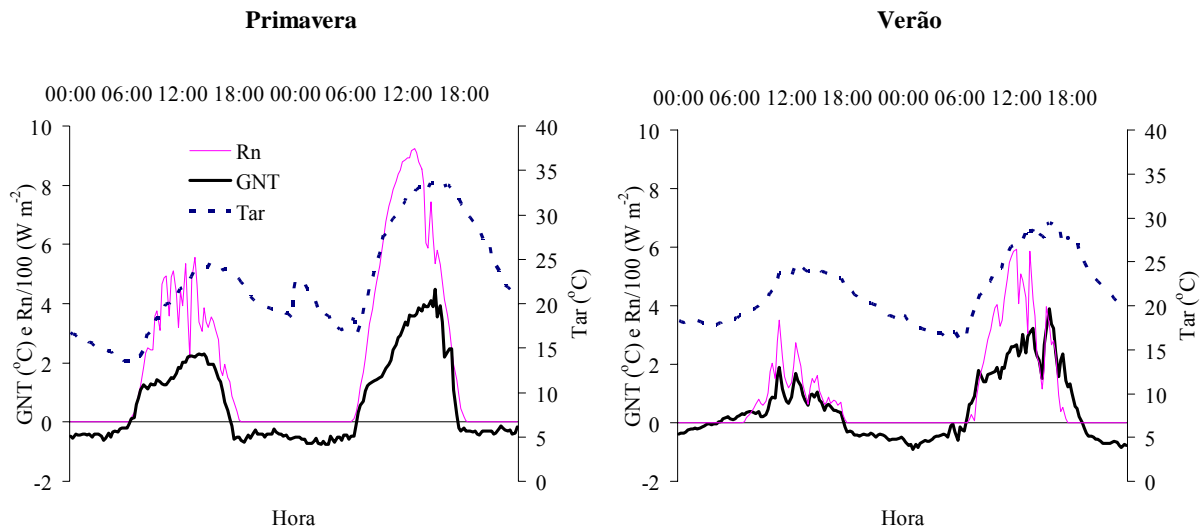


Figura 20 – Comportamento do gradiente térmico natural (GNT) e radiação líquida ( $R_n$ ) ao longo de 24 horas. Na primavera, nos dias 17 e 22 de setembro de 2004 e no verão, nos dias 03 e 06 de março de 2005, medida na planta 2

Os dados dessa figura permitem fazer uma análise dos fatores que afetam o aparecimento e a magnitude do GNT, que se mostrou importante, já que chegou a atingir  $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  no dia 22/09/04, com uma defasagem em relação a ocorrência do valor máximo de  $R_n$  (de  $575\text{ W m}^{-2}$ , em torno de meio dia) e em fase praticamente com a ocorrência da temperatura máxima do ar no abrigo meteorológico ( $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , as 14:30 horas). Os dados permitem concluir que tanto o balanço de energia radiante, condicionado no período diurno principalmente pela radiação solar global e também, sobretudo pela temperatura do ar, são fatores importantes no estabelecimento do GNT. Mas, a grande densidade de folhagem pode ter tido, também, um certo efeito, por permitir maior ou menor sombreamento do tronco e principalmente do próprio solo sob a copa, como se verifica no dia 06 de março de 2005 (verão) quando o diâmetro do caule no ponto de inserção das sondas de Granier ultrapassou  $0,04\text{ m}$  e o diâmetro da copa atingiu  $1,10\text{ m}$ . Ao contrário do mês de setembro de 2004, em março de 2005, os cafeeiros apresentaram o ambiente abaixo da saia totalmente sombreado, impedindo inclusive a ventilação devido ao arqueamento dos ramos por

terem atingindo mais de 0,50 m de comprimento. Desta forma a superfície do solo sob a saia do cafeeiro nas proximidades do seu tronco ficou, também, completamente coberta por folhagens mais velhas, que caíram e favoreceram maior estabilidade de temperatura no caule da planta.

Os valores de gradiente térmico natural encontrados que atingiram valores máximos de  $+0,9 \text{ cm}^{-1}$  ( $+4,5^\circ\text{C}$  de diferença em 5 cm de distância), são superiores a  $-0,05^\circ\text{C}$  e  $+0,05^\circ\text{C cm}^{-1}$  verificados por Cermák e Kucera (1981) e  $-0,08$  e  $+0,08^\circ\text{C cm}^{-1}$  observado por Lundblad; Lagergren e Lindroth (2001). Provavelmente isso é decorrência do uso de uma proteção simplificada em torno do caule na região de inserção de sonda, representada por uma folha de papel aluminizada (manta de alumínio), quando comparada com o uso de uma folha de espuma de poliuretano ou de neopreno com 2 a 3 cm de espessura, como utilizada em trabalhos encontrados na literatura. A opção de se trabalhar somente com o papel aluminizado foi tomada com base no fato de existir pequena extensão do caule acima do solo passível de ser coberta pela proteção e, também, porque assumiu-se que a irradiância do caule poderia ser a principal causa dos gradientes. Entretanto, como mostra a Figura 20, a diferença térmica entre os pontos de medida no caule tendeu a acompanhar mais a variação de temperatura do ar no período diurno, indicando a importância do efeito das flutuações térmicas ambientais sobre o GNT e justificando a recomendação do uso da proteção também com a espuma de poliuretano ou de neopreno.

A Figura 21 mostra a variação ao longo do dia da temperatura diferencial medida pela sonda de dissipação térmica nos dias analisados, considerando-se ou não a correção pelo GNT.

Cabibel e Do (1991) foram os primeiros a reconhecerem a importância de se utilizar um termo corretivo devido o efeito do GNT sobre as medidas com a sonda de dissipação térmica, ao trabalharem com a macieira. Ferreira e Zitscher (1996) e Lundblad; Lagergren e Lindroth (2001), trabalhando respectivamente com videira e pinus, verificaram que o efeito do GNT é maior quanto mais próximo se faz a medida do solo, mostrando que ele pode ser uma fonte de erro grande quando se trabalha com plantas de tronco curto, onde a sonda fica instalada próximo do solo. Para oliveira em casa de vegetação, Vilela e Delgado-Rojas (2003), verificaram a interferência do GNT sobre as medidas diurnas e noturnas feitas com a sonda de Granier. Trabalhando com lima ácida, Delgado-Rojas (2003), lançou a hipótese de que o GNT é sensível ao diâmetro do caule e à orientação azimutal de instalação do sensor, enquanto que ao trabalhar com seringueira adulta, com sondas instaladas a 1,0 m da superfície do solo, não foi verificada a influência grande do GNT (DELGADO-ROJAS et al., 2005). Em abeto, Lundblad; Lagergren e

Lindroth (2001) observaram a necessidade da correção pelo GNT, mesmo a 2,60 m acima do solo, tendo testado também o uso de um sensor de referência horizontal (no mesmo nível da sonda aquecida), que permitiu medidas sem necessidade de compensação para GNT.

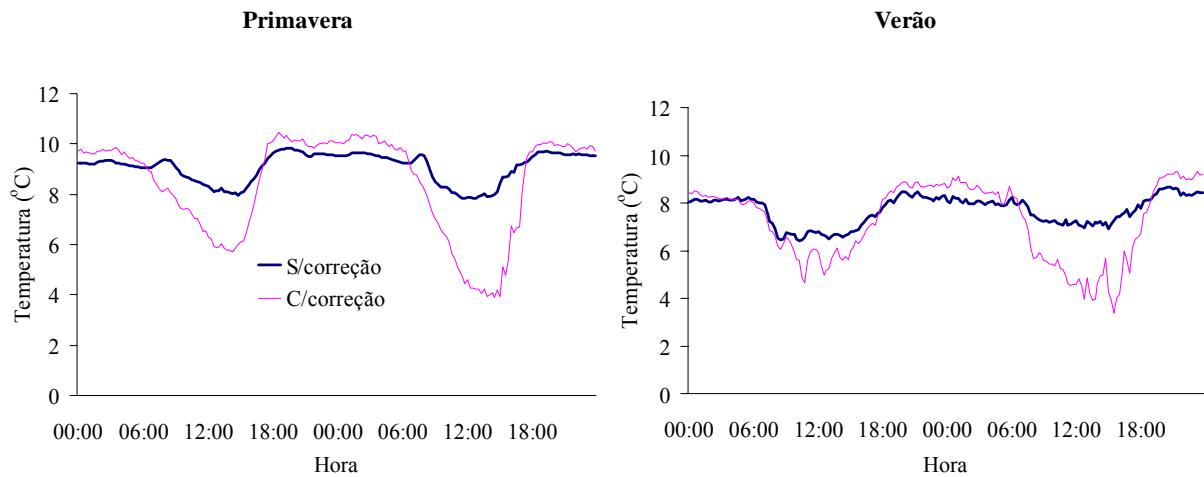


Figura 21 – Comportamento da temperatura diferencial medida pela sonda de Granier, com e sem correção pelo gradiente térmico natural (GNT) ao longo de 24 horas. Na primavera, nos dias 17 e 22 de setembro de 2004 e no verão, nos dias 03 e 06 de março de 2005, medida na planta 2

Após terminada a etapa com a correção, verificou-se os volume transpirados antes e após a correção, os quais estão apresentados na Figura 22. Na primavera em dias de pouca radiação e de demanda evaporativa pequena, o acréscimo do valor de fluxo de seiva após a correção, foi de 287 %, ao passo que em dia de elevada  $R_n$  e  $DSVA$ , o acréscimo foi de 323 %, comprovando que o efeito do GNT é elevado em dia de maior energia disponível. No verão, as diferenças de  $DSVA$  e  $R_n$  foram menores entre os dois dias comparados, e o acréscimo proporcional devido à correção pelo GNT, foi de 216 e 260 %, para os dias de menor e maior  $DSVA$ , respectivamente. Entretanto, alguns aspectos não devem ser descartados, tais como a característica da planta na primavera, na qual o caule tinha diâmetro inferior a 0,04 m no ponto de inserção das sondas, e assim, o montante transpirado, mesmo corrigido pelo GNT, foi inferior quando comparado ao método lisimétrico, conforme relatado por Karasawa et al. (2004), que encontraram valores inferiores de fluxo de seiva, mesmo com a correção pelo GNT, de 51 % a 55 % em relação ao método lisimétrico no mesmo cafezal aqui utilizado, próximo ao observado por Delgado-Rojas et al. (2003) para cafeeiro de idade maior.

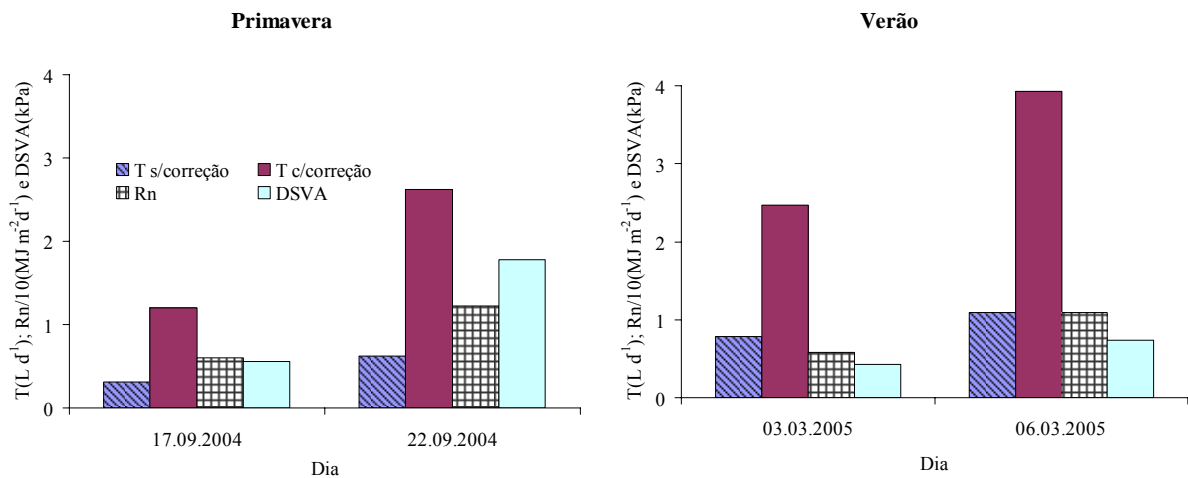


Figura 22 – Volume diário de transpiração considerada equivalente ao fluxo de seiva estimado pelo método de Granier, com e sem correção pelo gradiente térmico natural (GNT), primavera (dias 17 e 22 de setembro de 2004) e verão (dias 03 e 06 de março de 2005). Medidas na planta 2

O método de Granier tem sido pouco usado em cafeeiros, tendo-se encontrado os trabalhos de Tausend; Goldstein e Meinzer (2000), Dauzat; Rapidel e Berger (2001) e Silva (2003).

Como todos os métodos térmicos de medida do fluxo de seiva, o de Granier é empírico e sujeito a outras fontes de erros. Dois deles é o uso da equação proposta por Granier (1985) e Granier (1987), como sendo universal e os erros decorrentes da determinação ou não da área efetiva para o fluxo usada na calibração. A literatura mostra que a equação “universal” nem sempre é adequada (SMITH E ALLEN, 1996), pois a calibração obtida em laboratório, nem sempre é extrapolável para outras espécies e condições de crescimento, embora Silva (2003) tenha verificado que em condições de laboratório a equação de calibração assim obtida tinha diferido muito pouco da original de Granier (1985), Granier (1987). Além disso, a adoção da área total da secção reta do caule, descontando-se a casca, como área efetiva de transporte de água do xilema provavelmente seja uma grande aproximação, embora tenha sido usada por Silva (2003) em cafeeiros e por outros autores, em outras espécies (SELAMI; SIFAOURI, 2003, DELGADO-ROJAS et al., 2004, PAÇO; FERREIRA, 2004, FERREIRA; SILVESTRE, 2004, NICOLAS et al., 2005), sendo que observou que essa aproximação é válida em kiwi, descontando-se também uma área de um círculo central de raio médio de 0,8 cm.

Para testar o desempenho do método, foram adotados procedimentos de comparação tomando por base a escala diária, que é aquela de interesse neste estudo. Por exemplo,

compararam-se duas plantas de características distintas, uma de porte menor (planta 1 – com área foliar dos períodos inicial e final de 1,30 m<sup>2</sup> e 5,78 m<sup>2</sup>, respectivamente) e outra de porte maior (planta 2 – com área foliar do período inicial e final de 4,75 m<sup>2</sup> e 20,21 m<sup>2</sup>, respectivamente), quanto ao volume médio transpirado entre elas, antes e após a correção pelo GNT, verificando-se ter ocorrido uma ligeira modificação na distribuição dos pontos, como apresentado na Figura 23.

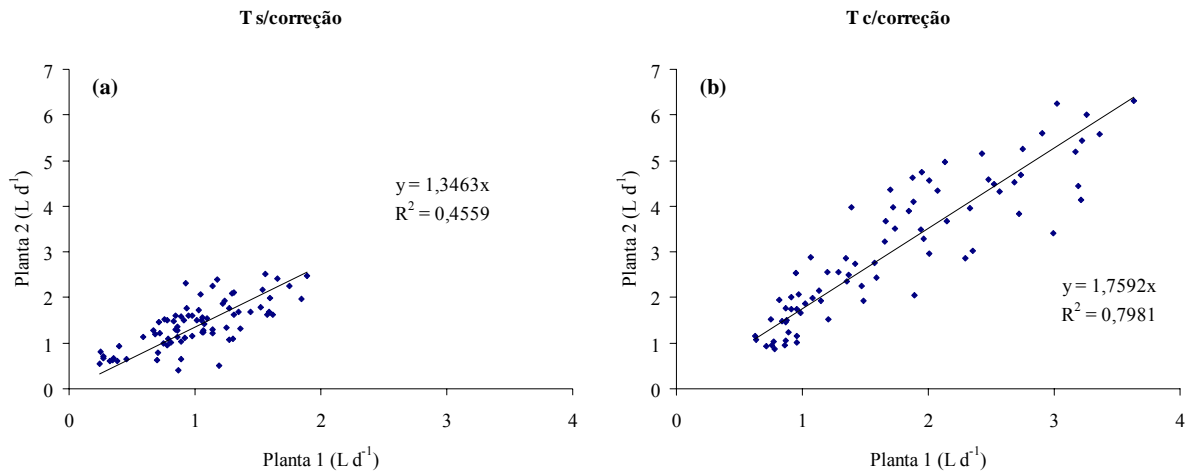


Figura 23 – Relação entre os valores de fluxo de seiva da planta 1 e 2 medida pelo método de Granier, sem correção (a) e com correção (b) do gradiente térmico natural (GNT)

No gráfico com os dados sem correção, a planta 2 transpirou 35 % a mais em relação a planta 1, já no gráfico com correção pelo GNT, a planta 2 passou a transpirar 76 % a mais em relação a planta 1, demonstrando uma melhor coerência dos dados com correção, haja visto que a relação da área foliar entre elas praticamente se manteve próxima, tanto no período inicial como no final, de 3,5 vezes maior para planta 2. Outro aspecto que pode ser observado é que a correção pelo GNT não resulta apenas no aumento de valores de absolutos de volume transpirado, e sim num aumento possivelmente proporcional ao diâmetro do caule em questão.

Outra forma de teste foi comparar os valores diários de fluxo de seiva com os dados dos lisímetros com a cobertura do solo para evitar a evaporação.

O período estudado foi de 79 dias, sendo 11 dias em setembro e 9 dias em novembro de 2004, completando o período com todos os dias de fevereiro e março de 2005 com os dois lisímetros com cobertura do solo. Nesse período houve vários dias com chuvas de variadas intensidades e com dados incoerentes, que foram descartados, selecionando-se os dias que coincidiram em que ambos os métodos funcionaram, restando 36 dias para a análise a seguir.

Inicialmente na Figura 24 estão plotados os dados das duas metodologias, estabelecendo-se a relação para os valores de fluxo de seiva e com os valores obtidos pelos lisímetros, de forma independente, para as duas plantas.

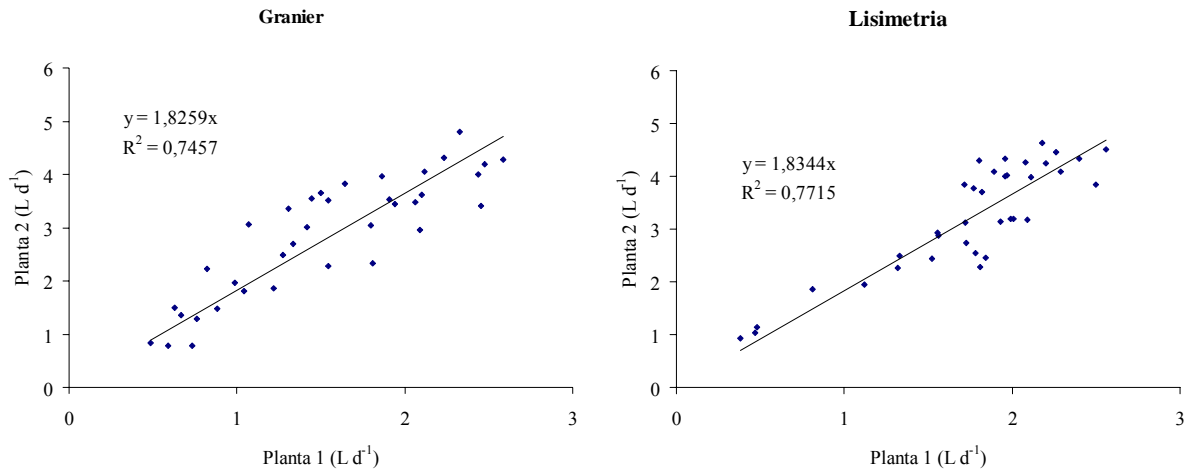


Figura 24 – Relação entre os valores da transpiração da planta 1 e 2. pelo método de Granier e lisimétrico em 36 dias

Numa análise geral, depois de ocorrida a correção pelo GNT para o método de Granier, a planta 2 transpirou em média 83 % a mais em relação a planta 1 pelo método de Granier, valor também obtido pelo método lisimétrico.

A relação entre as áreas foliares das duas plantas no período se manteve entre 4,0 e 3,6 (Tabela 3), maior na planta 2, sendo que essa proporção não foi seguida para a transpiração em ambos os tipos de medida, mas essa falta de proporcionalidade da transpiração entre as duas plantas é consequência de que a planta 1 apresentava maior exposição de suas folhas à radiação solar, além de estar mais expostas ao vento, por estar com área foliar de 5,78 m<sup>2</sup> na época, ao contrário da planta 2, com alta área foliar (20,20 m<sup>2</sup>), não se encontrando a proporcionalidade entre a área foliar acima do valor de 7,00 m<sup>2</sup>.

Um aspecto a ser considerado é que além dos erros embutidos em ambos os métodos, já discutidos, no método da sonda de dissipação térmica a diferença de diâmetro dos caules das duas plantas pode ter sido fonte de erro, pois a equação original de Granier é recomendada para caules acima de 0,04 m de diâmetro. A planta 1 apresentava um diâmetro médio de 0,0276 m no período inicial do estudo e este valor é 65 % do recomendado. No período final do estudo a planta 2 apresentava um diâmetro médio de 0,0427 m, dentro do valor recomendado. No mesmo período a planta 1 apresentava 0,0315 m de diâmetro.

Selecionou-se a planta 2 com os dados de fevereiro e março, por apresentar o valor do diâmetro dentro do recomendado e estudou-se a relação entre a transpiração registrada pelo método de Granier e pelo método lisimétrico, após sucessivas filtrações dos dados, que levaram em conta os valores de evapotranspiração de referência, problemas de tensão da fonte de alimentação elétrica da SDT e por fim, a coincidência dos dias em funcionamento das duas metodologias (Figura 25).

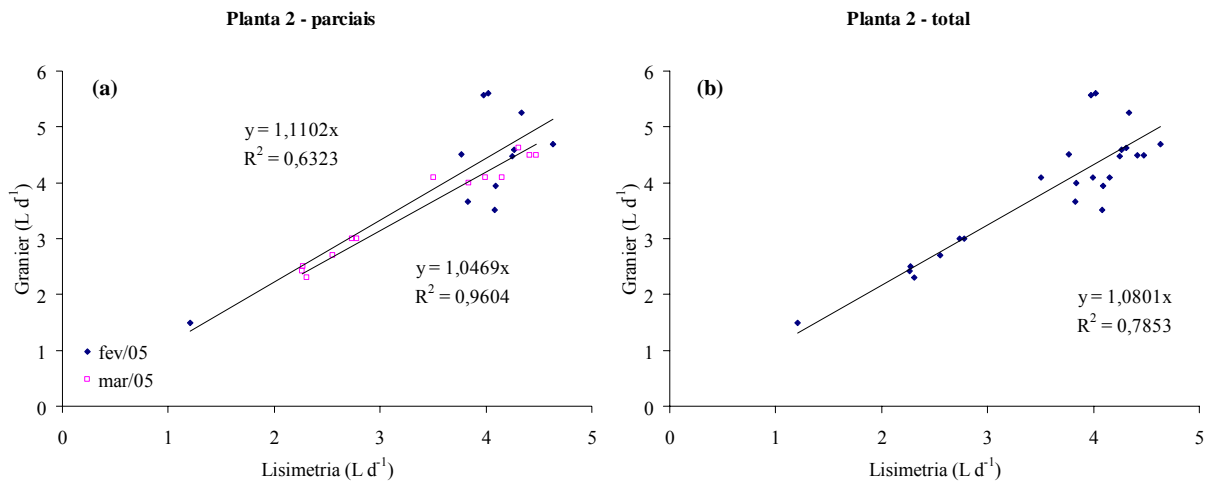


Figura 25 – Relação dos valores de medida de transpiração diária na planta 2 pelo método de Granier e lisimetria, para os meses de fevereiro e março (a) e a relação entre os valores da transpiração pelo método de Granier e lisimetria, total nos meses de fevereiro e março (b)

Na Figura 25a, é apresentada a relação de transpiração entre os dois métodos, nos meses de fevereiro e março distintamente, para verificar o detalhe entre os meses. No mês de fevereiro a transpiração registrada pelo método de Granier, foi superestimada em relação ao método lisimétrico em 11 %, enquanto que no mês de março, ficaram mais próximas, com superestimativa de apenas 5 % para o método de Granier em relação ao lisimétrico, ressalvando-se que nesse mês há um número menor de dados em relação a fevereiro, devidos principalmente a problemas persistentes de queda de tensão elétrica no experimento, sendo esses dados descartados.

A Figura 25b mostra a relação obtida com os valores agrupados dos dois meses, indicando uma superestimativa média de 8 % dos valores de fluxo de seiva em relação à transpiração diária medida pelos lisímetros. Este resultado é a primeira aproximação, sendo que os estudos realizados em cafeeiros, medindo o fluxo de seiva e comparando com o método lisimétrico até



então, são unânimes em apontar a subestimação e isto foi alterado, possivelmente pelo fator de correção 1,3 sugerido por Delgado-Rojas (informação pessoal).

Além dos problemas já citados quanto ao método de Granier, como o uso de calibração original proposta por esse autor não ser aplicável em todas as espécies, da ocorrência de GNT no caule e daqueles relacionados a determinação da área efetiva de transporte no xilema, outra fonte de erro pode ser o tamanho da sonda, pois se na sua inserção no caule ela ficar com parte sem contato com o lenho condutor ou se, mesmo estando inteira em contato ocorrem gradientes radiais de velocidade de seiva (por exemplo, em espécies com porosidade em anel), a equação de calibração necessita de correção segundo Clearwater; Mainzer e Andrade (1999).

Apesar dos problemas citados e das aproximações usadas no método de Granier neste estudo, os resultados mostram que o seu uso na forma aqui discutida permite uma estimativa confiável da transpiração diária dos cafeeiros nas condições experimentais.

#### **4.4. Evapotranspiração global, sua partição nos componentes constituintes do cafezal e relações com a evapotranspiração de referência**

Uma dificuldade na expressão desses fluxos é que em uma cobertura vegetal “descontínua” e com uso de irrigação por gotejamento, com molhamento parcial e desuniforme do terreno, a expressão dos fluxos em lâmina de água (mm) pode trazer confusão; por isso, esses fluxos em determinadas situações, serão expressos também em volume (Fluxo volumétrico).

##### **4.4.1 Evapotranspiração global do cafezal**

A evapotranspiração do cafezal foi estimada pelo método do balanço de energia – razão de Bowen em 126 dias com dados utilizáveis de 2 ou 3 mastros, conforme discutido na Tabela (10) sendo que em 49 desses dias foram utilizados os 3 mastros. A tabela mostra, também, a evapotranspiração média da cultura ( $ET_c$ ), a relação entre o correspondente calor latente de vaporização e a energia radiante disponível ( $E = R_n - G$ ), a evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith ( $ET_o$  1) evaporação do tanque classe A ( $ET_o$  2) e a precipitação pluvial em cada mês. Para facilitar a análise, na Tabela (11) mostra os valores médios, no período das 9:00 as 16:00 horas, do déficit de pressão de saturação de vapor do ar (DSVA), a frequência porcentual de ocorrência de ventos em direções fora da faixa de 40° a 100° (direções com maior “fetch”) nos dias comuns de medida.

Tabela 10 – Número de dias com uso dos dados de dois (B) ou três (A) mastros em cada mês, evapotranspiração média diária do cafezal ( $ETc$ ) e a relação de calor latente ( $LE$ ) com energia disponível ( $E = Rn - G$ ), com respectivos desvios. Os dados de chuva ( $P$ ) referem-se à soma do mês e evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith ( $ETo 1$ ) e do tanque classe A ( $ETo 2$ ), correspondem a média com os dados dos mesmos dias em que os dados dos mastros foram utilizados

Mês	Mastros						$ETc$ (mm)	$LE/E$ (%)	P	$ETo 1$ (mm)	$ETo 2$ (mm)	$\frac{ETc}{ETo 1}$	$\frac{ETc}{ETo 2}$
	A	B	$\Sigma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$							
Set/04	2	8	10	6	1	1	2,75(0,12)	72,9(2,60)	7	4,08	5,12	0,67	0,54
Out/04	1	9	10	4	2	3	3,84(0,13)	73,9(2,45)	112	3,20	4,47	1,20	0,86
Nov/04	6	8	14	5	1	2	4,37(0,17)	74,3(4,12)	106	3,37	5,15	1,30	0,85
Dez/04	1	3	4	-	-	3	4,44(0,22)	79,9(2,99)	101	3,02	3,63	1,47	1,22
Jan/05	5	-	5	-	-	-	4,45(0,20)	77,4(2,18)	234	3,71	3,67	1,20	1,21
Fev/05	1	14	15	7	7	-	4,58(0,24)	75,2(3,75)	66	3,98	4,87	1,15	0,94
Mar/05	11	5	16	-	1	4	4,24(0,17)	73,7(2,34)	112	3,21	3,93	1,32	1,08
Abr/05	14	8	22	2	1	5	3,88(0,21)	72,9(3,25)	31	2,94	3,65	1,32	1,06
Mai/05	1	5	6	4	1	-	3,13(0,18)	74,9(4,08)	159	2,44	3,15	1,28	0,99
Set/05	1	7	8	5	-	2	2,93(0,15)	73,6(3,55)	35	2,51	4,03	1,17	0,73
Out/05	6	10	16	4	2	4	4,29(0,18)	79,8(3,25)	119	3,13	3,88	1,37	1,11
<b>SOMA</b>	<b>49</b>	<b>77</b>	<b>126</b>	<b>37</b>	<b>16</b>	<b>24</b>							

$\Sigma$  – número total de dias; a letra grega minúscula referem-se à combinação de dois mastros, sendo mastros 2 e 3 ( $\alpha$ ) mastros 1 e 3 ( $\beta$ ) mastros 1 e 2 ( $\gamma$ ).

A variação ao longo do experimento dos valores diários de  $ETc$ ,  $ETo 1$ , da relação R entre eles e da precipitação estão nos Figuras (26 e 27). Embora o número de dias utilizados seja pequeno em dezembro 2004 e janeiro 2005 (4 e 5, respectivamente), e em maio 2005 (6 dias), a variação de  $ETc$  média diária seguiu uma tendência esperada, em que há um incremento a partir de setembro de 2004 para o final do ano e início de 2005, acompanhando o aumento da área foliar dos cafeeiros e a variação da demanda atmosfera, representada por  $ETo 1$ . A exceção de tendência de  $ETo 1$  ocorreu em setembro, onde essa variável atingiu a média de 4,08 mm d<sup>-1</sup>, em consequência do alto déficit de saturação de vapor do ar, com valor médio de 2,65 kPa entre 9 – 16 h nos dias de medida, na estação meteorológica (Tabela 11).

Tabela 11 – Déficit de saturação de pressão de vapor de água do ar (DSVA), frequência com que o vento (2 m) fluiu no experimento na faixa de 40° a 100° (em %), com respectiva velocidade (UExp) e a relação com a velocidade de vento da estação meteorológica (UExp/UEM), radiação líquida medida no experimento (RnExp) e a razão entre radiação líquida obtida no experimento e estação meteorológica (RnExp/RnEM). Os valores referem-se à média do período de 9:00 h as 16:00 h, nos dias de medida

	DPV (kPa)	Frequência (%)	UExp (m s <sup>-1</sup> )	UExp/UEM	RnExp (MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	RnExp/RnEM
Set/04	2,65	75	1,32	1,08	11,24	1,27
Out/04	1,49	68	1,40	0,87	10,52	1,24
Nov/04	1,43	84	1,48	0,86	11,70	1,17
Dez/04	0,83	93	1,54	0,99	8,53	1,24
Jan/05	1,03	76	0,91	0,85	11,56	1,17
Fev/05	1,65	81	1,40	1,16	12,98	1,16
Mar/05	1,36	84	1,23	1,41	9,96	1,19
Abr/05	1,25	71	1,13	1,57	9,82	1,30
Mai/05	1,25	47	1,44	1,29	8,94	1,38
Set/05	1,13	78	1,17	0,69	8,85	1,30
Out/05	1,58	78	1,15	0,90	10,45	1,20

A relação de  $ETc/ETo$  1, que pode ser reconhecida inicialmente como um “coeficiente de cultura” global, variou de 0,67 em setembro 2004, aumentando rapidamente para 1,20 em outubro 2004 e mantendo-se relativamente estável até outubro 2005, com oscilações entre 1,2 e 1,4 sendo remarcável o valor 1,17 em setembro 2005 (Tabela 10), quase duas vezes maior que o de setembro de 2004.

Quando a evapotranspiração de referência foi calculada pelo método do tanque classe A, em função dos maiores valores de  $ETo$  2 assim determinados, a relação de  $ETc/ETo$  2 variou de 0,54 a 1,22.

Deve se ressaltar que o conceito de  $Kc$  envolve uma situação na qual a cobertura vegetal não está sob deficiência hídrica. No caso das linhas de cafeeiros, irrigados, a não ocorrência de deficiência hídrica pode ser assumida como verdadeira, mas no caso das entrelinhas, nem sempre isso foi verdadeiro, principalmente em setembro de 2004, no qual a chuva foi somente de 7 mm. Fevereiro, abril e setembro de 2005 são meses, também, com baixa altura pluviométrica, nos quais as entrelinhas podem ter sofrido déficit hídrico.

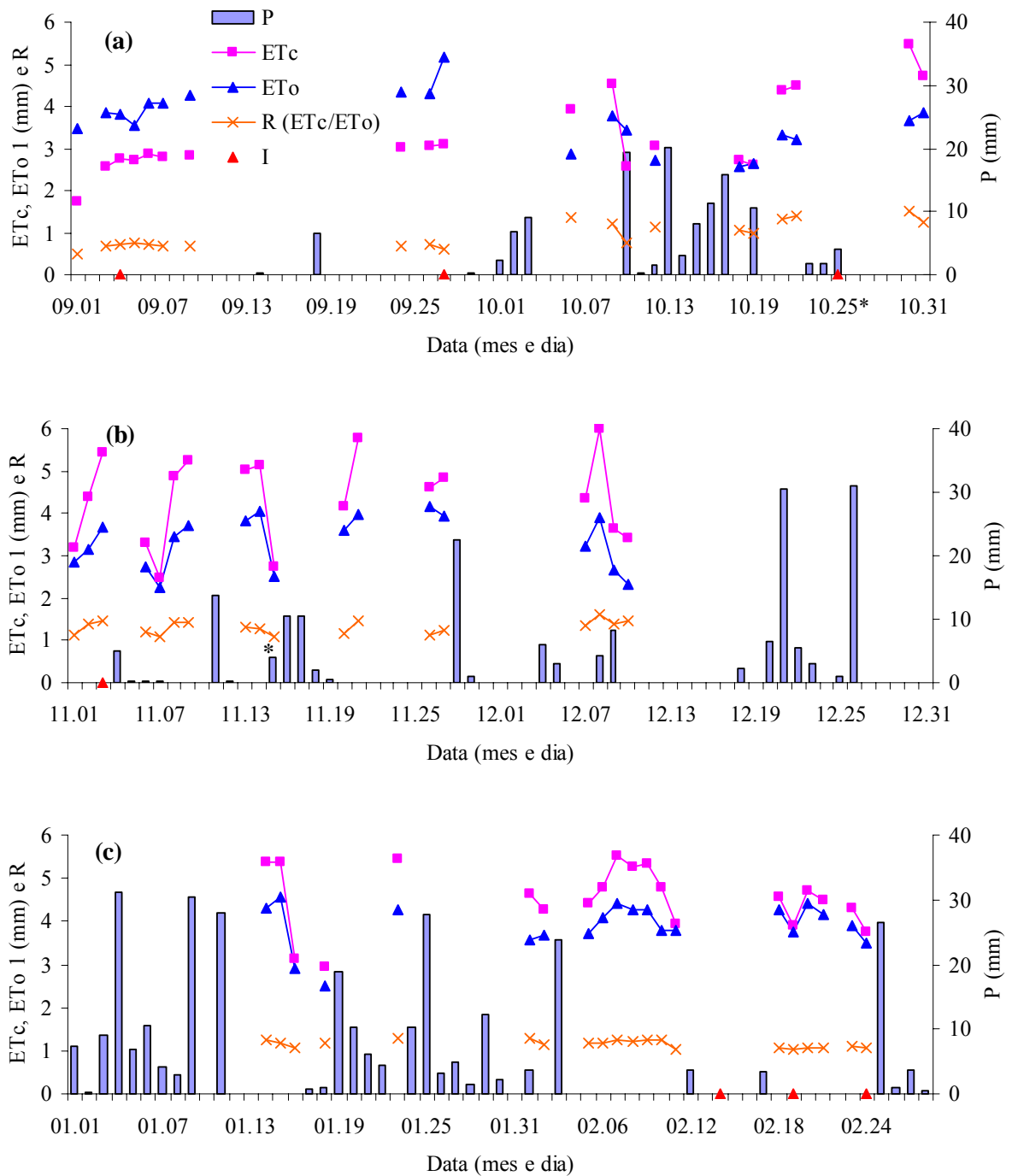


Figura 26 – Variação da evapotranspiração da cultura (ETc), da evapotranspiração de referência pela metodologia de Penman-Monteith (ETo 1), e a razão entre eles (R), ao longo do período experimental. I – eventos de irrigação; P – chuvas, registradas na estação meteorológica. (\*) precipitação dividida por 10 (real – 32,9 mm em 25/10/04 e 39,2 mm em 15/11/04)

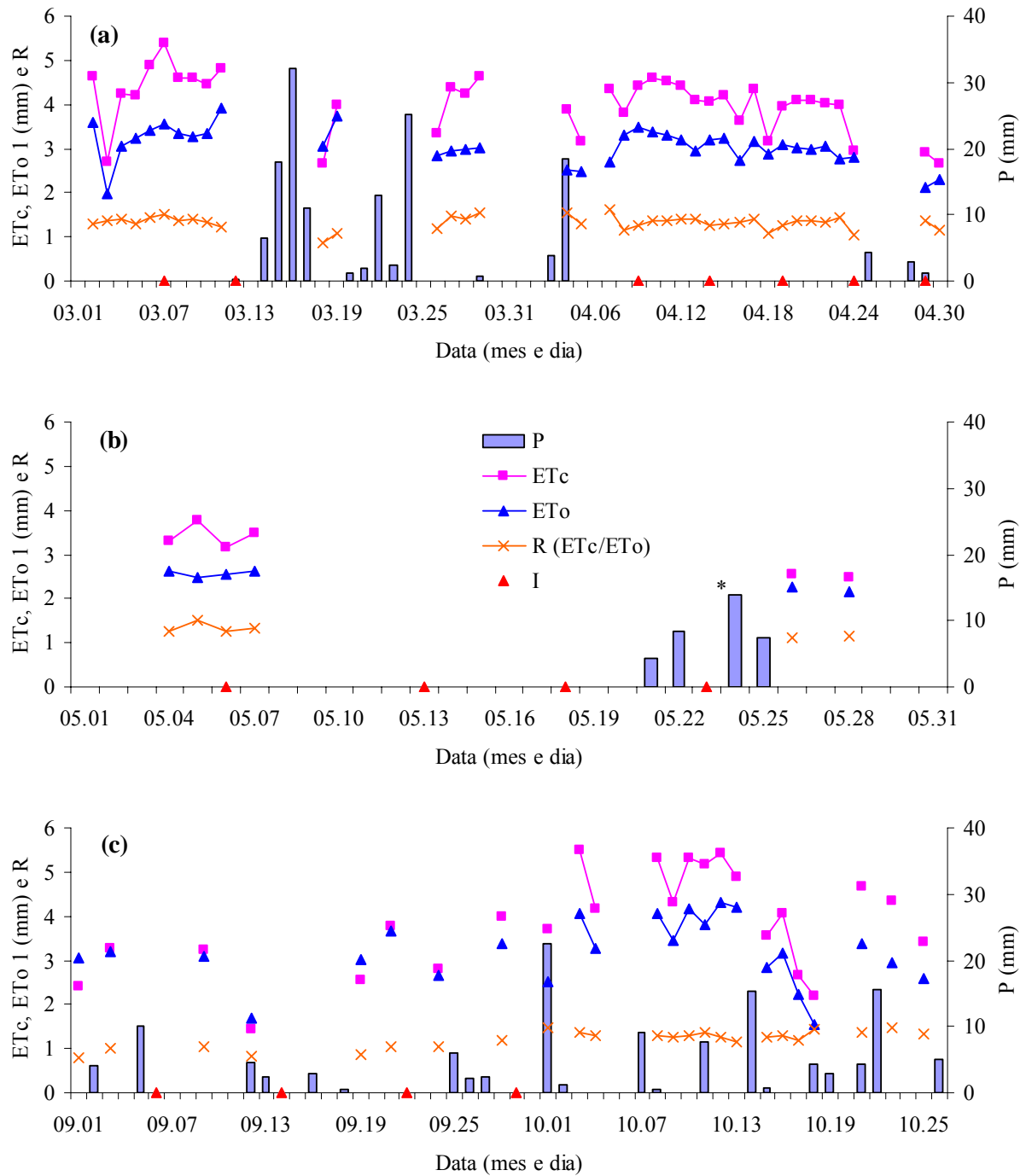


Figura 27 – Variação da evapotranspiração da cultura (ETc), da evapotranspiração de referência pela metodologia de Penman-Monteith (ETo 1), e a razão entre eles (R), ao longo do período experimental. I – eventos de irrigação; P – chuvas, registradas na estação meteorológica. (a) março-abril 2005; (b) maio 2005 e (c) setembro-outubro 2005. (\*) precipitação dividida por 10 (real -139,0 mm em 24/05/05)

Os valores de  $ETc$  são altamente dependentes de área foliar, cobertura da entrelinha, disponibilidade hídrica do solo e condições de demanda hídrica da atmosfera e, por esse motivo, exigem cautela na comparação com resultados de outros trabalhos.

No Havai, Gutiérrez e Meinzer (1994) usaram o método da razão de Bowen na determinação de  $ETc$  com cafezais em renques (3,6 m x 0,6 m) irrigados por gotejamento e com idades diferentes (1,5 a 5,3 anos), correspondendo a IAF entre 1,4 e 7,5, com entrelinhas cobertas por plantas invasoras. Os valores de  $ETc$  encontrados variaram entre 2,04 mm d<sup>-1</sup> e 5,31 mm d<sup>-1</sup> para períodos médios de medidas de 5 dias entre julho e novembro de 1991 e julho e agosto de 1992. Os valores de  $ETc$  estiveram mais correlacionados com  $ETo$ , do que com o IAF do cafeeiro, tendo os valores de  $Kc$  variando entre 0,42 e 0,81. Esses valores foram menores do que os encontrados no presente trabalho, mas deve se ressaltar que os valores de  $ETo$  (4,40 a 7,42 mm d<sup>-1</sup>) foram bem maiores do que os encontrados no presente estudo.

Nessa mesma área do presente experimento, Villa Nova et al. (2002) determinaram coeficiente de cultura de cafezais ‘Mundo Novo IAC 338-17’ enxertado em ‘Apoatã IAC 2258’, com espaçamento de 2,5 m x 1,0 m e idade entre 15 e 35 meses. Pela metodologia usada, foi possível simular a evapotranspiração máxima da cultura ( $ETc$ ), a transpiração dos cafeeiros e a evapo(transpi)ração das entrelinhas e, inclusive, com densidade de plantios diferentes. Os valores de  $Kc$  encontrados variaram entre 0,497 e 1,184 (sem cobertura vegetal na entrelinha) e de 0,76 a 1,18 com cobertura na entrelinha. O método de estimativa de  $ETo$  foi o do tanque classe A. Nesse mesmo cafezal em meados de agosto a final de outubro de 2002, irrigados por gotejamento, sendo a área foliar média dos cafeeiros de 10,0 m<sup>2</sup>, Marin (2003) encontrou  $Kc$  de 1,3 para o período, sendo  $ETo$  calculado pelo método de Penman-Monteith. Em ambos os casos os valores de  $Kc$  foram menores do que os do presente trabalho, se comparados os mesmos meses do ano com o mesmo método de cálculo de  $ETo$ .

Righi (2004), trabalhando no mesmo cafezal do presente estudo, entre outubro de 2002 e setembro de 2003, encontrou valores de  $ETc$  que cresceram de 3,77 mm d<sup>-1</sup> no primeiro mês para um valor médio de 4,43 mm d<sup>-1</sup> em novembro-dezembro/02, caindo depois para 4,25 mm d<sup>-1</sup> em fevereiro-março/03, 2,51 mm d<sup>-1</sup> em maio-julho/03 e 2,55 mm d<sup>-1</sup> em agosto-setembro/03. Apesar da grande diferença de porte dos cafeeiros em relação ao presente estudo, e de uma pequena diferença de  $ETo$  dada pelo método de Penman-Monteith nas diferentes épocas, há uma boa similaridade entre os valores de  $ETc$  dos dois estudos, demonstrando que  $ETc$  independeu em

certo grau do porte dos cafeeiros. Nem mesmo o  $K_c$  tendo por base o  $ET_o$  estimada por Penman-Monteith mostrou-se muito diferente entre os dois estudos, variando no de Righi (2004) de 1,04 em outubro/02, aumentado para cerca de 1,30 em novembro-dezembro/02, diminuindo levemente no primeiro semestre de 2003 (cerca de 1,12), caindo a 0,86 em agosto-setembro/03.

A discrepância de valores de  $ET_c/ET_o$  encontrado nesses trabalhos é reflexo das diferentes condições de manejo e crescimento dos cafezais, das diferentes metodologias usadas e do método de cálculo usado para  $ET_o$ . No caso do trabalho de Havaí, não é possível saber em que grau o cálculo de  $ET_o$  (pelo método de Penman modificado) pode ter causado diferenças no valor de  $K_c$  estimados em relação ao do presente estudo. Nem há informação detalhada das condições das entrelinhas e de precipitação nos diferentes períodos no trabalho de Gutiérrez e Meinzer (1994), para melhor comparação.

No caso do trabalho de Righi (2004), o autor informa sobre a possibilidade de ter havido ocorrência de aporte de energia advectiva no seu trabalho nos meses secos, enquanto que no presente trabalho essa possibilidade não foi comprovada, embora não possa ser descartado, pela dificuldade de se ter critério para se caracterizá-la.

Os dados encontrados na literatura e em confronto com os obtidos no presente trabalho, mostram a dificuldade de se recomendar valores de  $K_c$ , principalmente em culturas perenes e com diferentes manejos. Para cafeeiros adultos, Allen et al. (1998) recomendam valores entre 1,00 e 1,05 quando solo das entrelinhas está desnudo e entre 1,05 e 1,10 quando está vegetado, que são menores do que aqueles obtidos no trabalho de Righi (2004), com cafezal ainda jovem, e neste trabalho com cafezais já de elevada área foliar, quando se usou  $ET_o$  calculado pelo método de Penman-Monteith. Para uma melhor compreensão dos valores de  $ET_c/ET_o$  aqui obtidos é interessante introduzir e discutir os valores de partição de  $ET_c$  nos seus componentes, a evapotranspiração das linhas de cafeeiros e das entrelinhas.

#### **4.4.2 Partição da evapotranspiração do cafezal em seus fluxos componentes**

O cálculo da evapotranspiração das linhas de cafeeiros ( $ET_{lin}$ ) foi baseado nos dados lisimétricos, o que exige explicação sobre algumas aproximações usadas. Os lisímetros tinham área de  $0,636 \text{ m}^2$ , e o volume de solos deles aparentemente não se mostrou restritivo ao sistema radicular, pois o crescimento das plantas nelas instaladas não se mostrou diferenciado daquele

das plantas cultivadas fora dos lisímetros, de modo que a transpiração medida pelos lisímetros foi considerada como representativa dos cafeeiros de todo o cafezal.

Para o caso da determinação da evapotranspiração das linhas, que envolve a evaporação do solo sob a saia dos cafeeiros, observou-se que no início do experimento (setembro 2004) havia formação de um renque de folhagens com cerca de 1,10 m de largura (portanto, com 0,20 m superior a largura dos lisímetros), que aumentou a partir do período chuvoso, atingindo em fevereiro cerca de 1,40 m a 1,50 m, que se manteve em setembro ou outubro de 2005. Por esse motivo, em parte dos cálculos essa área foi considerada, fazendo-se menção de área de 0,99 m<sup>2</sup> ocupada por cafeeiro no renque (1,10 m x 0,90 m), até 1,35 m<sup>2</sup> (1,50 m x 0,90 m).

Num primeiro estudo de partição, determinou-se a relação entre a transpiração obtida a partir de método de Granier e a evapotranspiração dos lisímetros 2, 3 e 4 nos meses de abril e maio de 2005, nos quais eles tinham o solo coberto com lona plástica, com medida da transpiração (Figura 28).

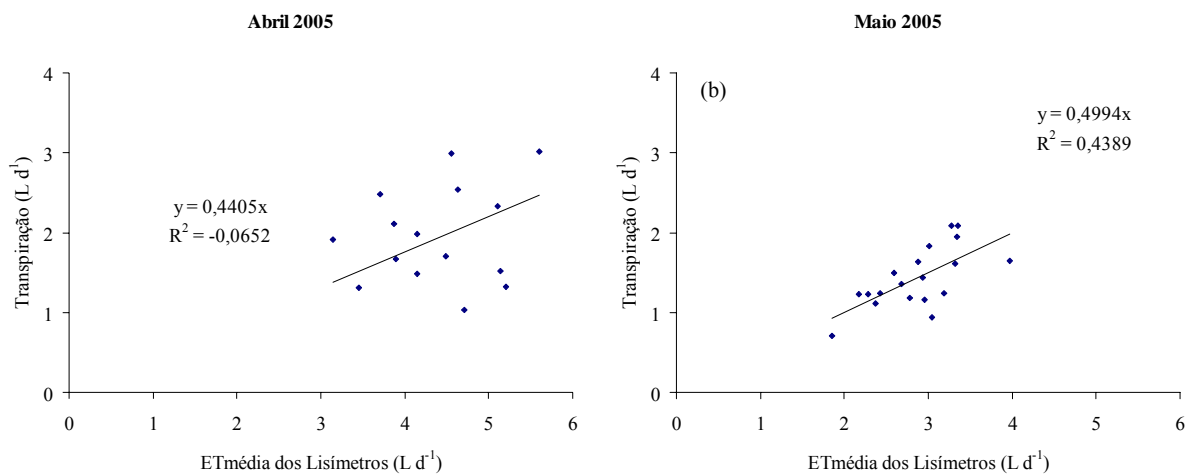


Figura 28 – Relação entre os valores de transpiração estimada pelo método de Granier e evapotranspiração média determinada pelos lisímetros 2, 3 e 4, nos meses de abril (a) e maio de 2005(b)

Apesar dos baixos coeficientes de determinação, inclusive negativo em abril, devido à alta dispersão dos dados e pelo forçamento da passagem pelo zero, pode-se considerar que a transpiração representou cerca de metade da evapotranspiração dos lisímetros. Devido a alta densidade de folhagem ainda existente, com bom sombreamento do solo na projeção da copa, deve-se considerar que nessa época as folhas que estão mais ativas não conseguem sintetizar carboidratos suficientes para manutenção da planta, devido à excessiva produção de folhas e



ramos na temporada de chuva, portanto, as folhas mais velhas, acabam entrando no processo de produção de ácido abscísico e redução da transpiração o que explicaria em parte, a diminuição de transpiração, principalmente em maio.

Realizou-se, também, um estudo de caso nos meses de fevereiro e março de 2005, selecionando-se apenas dias sem irrigação e sem chuva, tomando o cuidado também de descartar um dia subsequente a esses eventos, com os lisímetros 3 e 4 descobertos e com o 2 coberto com lona plástica. Nesse período as áreas foliares dos cafeeiros nesses lisímetros tinham atingido praticamente os valores máximos e a diferença entre elas (Tabela 4) deve ter afetado muito pouco as diferenças de evapotranspiração e de transpiração nos lisímetros, conforme discutido no item 2.3.4. Além disso, as plantas nesses lisímetros tinham características de crescimento representativas da média do cafezal, ao contrário da do lisímetro 1, que foi desprezada nessa análise. Por esses motivos, a evapotranspiração foi tomada como a média dos lisímetros 3 e 4 e comparada com a transpiração medida no lisímetro 2. Sendo uma análise de comparação, os valores foram expressos em  $L d^{-1}$  (Figura 29).

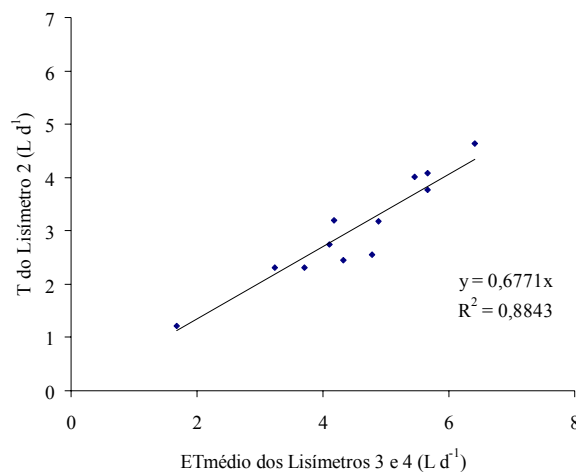


Figura 29 – Relação entre os valores de transpiração medido pelo lisímetro 2 e a evapotranspiração média dos lisímetros 3 e 4. Fevereiro-março 2005

Observa-se que a fração transpirada foi equivalente a 67,7 % da evapotranspiração, no período de fevereiro-março, obtida pela equação de regressão com passagem forçada pelo zero. A relação foi mais acentuada no mês de fevereiro, tendo alcançado 0,70, baixando para 0,61 no mês

de março. No período de fevereiro-março de 2003 Righi (2004) encontrou uma relação de 0,17 entre a transpiração estimada pelo fluxo de seiva (método de balanço de calor no caule).

Independente da dispersão maior dos dados em abril e maio, os valores da relação entre  $T$  e  $ET_{lis}$ , em abril e maio foram menores do que os obtidos para fevereiro-março 2005 (0,67). Estando a área foliar praticamente estabilizada em todos esses meses, a diminuição da participação de  $T$  em  $ET_{lis}$  pode ter vários motivos: a) subestimativa do valor do fluxo de seiva pelo método de Granier; b) superestimativa dos valores lisimétricos; c) modificação da resposta estomática dos cafeeiros frente à demanda atmosférica, com diminuição da condutância foliar à difusão de vapor devido ao aumento do déficit de saturação de vapor do ar; e d) diminuição da transpiração por unidade de área foliar devido ao início da senescência das folhas. É difícil de ter uma conclusão por falta de medidas adicionais (por exemplo, o uso de porometria para verificar o comportamento estomático), mas os dois últimos motivos parecem não se justificar, principalmente para o mês de abril, quando o déficit de saturação do ar ainda não é tão elevado ou a senescência ainda não é alta. Das causas relativas aos métodos de medida, parece mais crível acreditar-se em problemas com a determinação da transpiração (fluxo de seiva).

Até o momento, a discussão foi baseada trabalhando-se com o fluxo volumétrico diário, não considerando a área da superfície do solo onde o cafeeiro é cultivado, ou seja, uma área média ocupada pelo renque, que será considerada como uma faixa de terreno sob a cobertura da copa. A área da superfície do lisímetro é de apenas 0,6362 m<sup>2</sup>, porém esta área é menor que a área sombreada pela saia do cafeeiro. Ao se pretender trabalhar por unidade de terreno, transformando-se os fluxos de L d<sup>-1</sup> para lâmina de água evapo(transpi)rada pelos renques, considerou-se que cada cafeeiro ocupava área de 0,99 m<sup>2</sup> conforme explicado no início deste item.

Na Tabela 12 são mostrados os valores de evapotranspiração da linha dos cafeeiros, determinados pelos lisímetros, e da transpiração, sendo esta medida no lisímetro 2 com solo coberto por lona plástica (setembro/04 e fevereiro e março/05) ou pela determinação do fluxo de seiva dos cafeeiros em abril-maio/05. Acima de 90 % dessas medidas ocorreram em dias de períodos secos, de modo que, estando o solo sob a saia dos cafeeiros seco e sem vegetação invasora, a evapotranspiração da linha de plantio foi praticamente aquela ocorrida nos lisímetros, sendo a evaporação do solo sob a saia dos cafeeiros aquela decorrente da área umedecida pelos gotejadores, restrita aos lisímetros. Devido a pouca diferença entre as áreas foliares dos cafeeiros

nos três lisímetros, considerou-se desprezível as diferenças entre a ET dos lisímetros causadas pela área foliar.

Tabela 12 – Valores médios para cada mês da evapotranspiração das linhas de plantio (*ETlin*) e da transpiração (*T*) dos cafeeiros expressas em  $L d^{-1}$  por planta, da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith (*ETo 1*) e do tanque classe A (*ETo 2*), bem como das relações entre elas nos dias de medida de *T*. São descritos os valores de área foliar por planta (AF) em cada mês. Os valores das relações foram obtidos transformando-se os dados em volume de água por unidade de área do cafezal, adotando-se a densidade de 3175 plantas  $ha^{-1}$

Mês/ano	AF ( $m^2 pl^{-1}$ )	<i>ETo 1</i> ( $mm d^{-1}$ )	<i>ETo 2</i>	<i>ETlin</i> ( $L d^{-1}pl^{-1}$ )	<i>T</i>	$\frac{T}{ETlin}$	$\frac{T}{ETo 1}$	$\frac{T}{ETo 2}$
Set/04	2,60 <sup>(4)</sup>	4,31	5,58	2,61 <sup>(1)</sup>	1,75 <sup>(2)</sup>	0,67	0,13	0,10
Fev/05	15,8 <sup>(5)</sup>	3,91	3,65	4,98	3,56 <sup>(2)</sup>	0,72	0,29	0,31
Mar/05	19,0 <sup>(5)</sup>	3,39	3,21	4,46	3,09 <sup>(2)</sup>	0,69	0,29	0,31
Abr/05	s/d	2,82	2,59	4,06	1,86 <sup>(3)</sup>	0,46	0,21	0,23
Mai/05	18,6 <sup>(5)</sup>	2,59	3,74	2,81	1,40 <sup>(3)</sup>	0,50	0,17	0,12

(1) – média dos dias descobertos não comuns com os dias dos demais parâmetros; (2) – dados provenientes do lisímetro com solo coberto; (3) – dados provenientes de fluxo de seiva; (4) – AF somente do lisímetro 2 e (5) – AF provenientes da média dos lisímetros 2, 3 e 4.

A transpiração por unidade de área foliar diminuiu drasticamente com o aumento da área foliar, passando de  $0,67 L d^{-1}m^{-2}$  de folha em setembro de 2004, para  $0,07 L d^{-1}m^{-2}$  de folha em abril e maio de 2005, sendo que em fevereiro esteve em torno de 0,20. Em abril e maio, além da diminuição da demanda atmosférica (representada aqui por *ETo 1*), deve ter ocorrido o fato de que nessa época começa a senescência de folhas, principalmente a partir de maio. Em setembro de 2004, a pequena área foliar deve ter permitido alta irradiância em praticamente todas as folhas.

Os valores de transpiração observados na Tabela 12 são menores do que os encontrados em vários trabalhos citados na literatura. Franco e Inforzato (1950), por exemplo, encontraram valores médios diários entre  $14,1 L pl^{-1}$  em julho e  $25,8 L pl^{-1}$  em novembro, em Campinas, SP, para cafeeiros da variedade Bourbon, com área foliar média de  $31,46 m^2$ . Deve se considerar a grande diferença de porte dessa variedade em relação à utilizada neste estudo e o fato de que a transpiração foi medida em cafeeiros que não cresciam no campo, mas os resultados obtidos por aqueles autores, quando expressos por unidade de área foliar, são de mesma magnitude daqueles obtidos por Nutman (1941) no Quênia.

No estudo de Gutiérrez e Meinzer (1994), os valores observados na variedade Catuai Amarelo, crescendo em espaçamento  $3,6 m \times 0,7 m$  no Havaí, com áreas foliares por planta entre

3,5 m<sup>2</sup> e 16,9 m<sup>2</sup> (IAF de 1,4 a 6,7) e sob demandas atmosféricas maiores do que as encontradas no presente trabalho, encontraram valores entre 1,7 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> e 9,1 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup>. Quando comparados valores com áreas foliares próximos às maiores encontradas neste estudo, eles são da ordem de 2 a 3 vezes maiores do que  $T$  em seu trabalho, com cultivar Mundo Novo IAC 388-17 em Piracicaba, Villa Nova et al. (2002) estimaram valores de  $T$  variando entre 0,45 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> para AF de 0,665 m<sup>2</sup> pl<sup>-1</sup> a 10,47 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> para AF de 8,53 m<sup>2</sup> pl<sup>-1</sup>. Nesse mesmo cafezal, com plantas de áreas foliares entre 6,1 m<sup>2</sup> e 13,8 m<sup>2</sup>, nos meses de setembro-outubro, Marin (2003) encontrou transpiração estimada por fluxo de seiva determinado por método de balanço de calor no caule variando em função da área foliar e da condição hídrica do dia, mas que no máximo atingiu até 20 L d<sup>-1</sup> no cafeeiro com 13,8 m<sup>2</sup>.

Por outro lado, ao trabalharem com a variedade Caturra na Costa Rica (2 plantas por cova, espaçamento de 2,00 m x 0,85 m) com 10 anos após o plantio do cafezal, mas sem informação sobre a área foliar, Dauzat; Rapidel e Berger (2001) encontraram valores médios de  $T$  da ordem de 2,0 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> em 7 dias no mês de abril, a partir do fluxo de seiva (determinado pelo método de Granier), mais próximos dos encontrados neste estudo.

No trabalho de Righi (2004), no mesmo cafezal deste estudo, mas mais novo encontrou-se valores de  $T$  (determinado com fluxo de seiva – método do balanço de calor no caule) de 0,45 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> em maio-julho e 0,38 L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> em agosto-setembro de 2003. Mas esses valores foram obtidos com IAF de valores muito baixos (0,53 e 0,66), não comparáveis aos do presente estudo.

A baixa transpiração encontrada neste trabalho quando comparada com as de outros trabalhos, exceção feita ao estudo de Costa Rica, parece ser consequência da elevadíssima densidade de folhagem dos cafeeiros usados neste trabalho. Em consequência dos internódios curtos e da formação de grande número de ramos, as plantas mostraram uma densidade de folhagem extrema. Pelo uso de área foliares atingidas a partir de dezembro de 2004 e pelas informações de dimensões das copas, é possível calcular que as densidades de folhagens alcançadas neste experimento, em que foram da ordem de 6 vezes maiores do que as do trabalho de Marin (2003). Essa densa folhagem muito provavelmente interferiu com a interceptação da radiação, com a alta proporção de folhas sombreadas, levando à diminuição da condutância estomática à difusão de vapor média do cafeeiro no presente trabalho.

A participação da transpiração, se relacionada com a evapotranspiração de referência, ficou em torno de 13 % no mês de setembro/04, subindo para 30 % em fevereiro-março e posteriormente mostrando sinal de redução, sendo de 21 % em abril e 17 % em maio, conforme previsto, já que o volume transpirado não excedeu de 3,56 L pl<sup>-1</sup>. Esta ordem de grandeza é similar do trabalho de Righi (2004), se fizer a correção dos dados de *T* em relação a IAF e atualizasse para as condições deste estudo, já que os valores de evapotranspiração de referência, com exceção dos meses de setembro/04(devido elevado DSV<sub>A</sub>), foram similares. Entretanto este valor foi inferior se comparado com cafezal estudado por Marin (2003), onde se obteve quase 80 % de *T* quando fez-se a relação *T/ET<sub>o</sub>*.

A Tabela 13 mostra os valores médios da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith(*ET<sub>o</sub> 1*) e do tanque classe A(*ET<sub>o</sub> 2*), a evapotranspiração da linha dos cafeeiros, a evapotranspiração do cafezal (*ET<sub>c</sub>*) e as relações entre elas, com valores médios diários obtidos em cada mês nos dias de medidas comuns. Da mesma forma que para a Tabela 12, os dados de *ET<sub>lin</sub>* foram obtidos em L d<sup>-1</sup>pl<sup>-1</sup> e depois transformados em fluxo volumétrico por unidade de terreno, multiplicando-os pela densidade de plantas (3175 pl ha<sup>-1</sup>), sendo *ET<sub>o</sub>* também transformado em fluxo volumétrico, por unidade de área do terreno para se calcular as relações *ET<sub>lin</sub>/ET<sub>o</sub>*.

Nos meses de novembro/04 e janeiro/05 (em dezembro/04 ocorreram poucas medidas e não houve medidas comuns aproveitáveis de todas as variáveis), fez-se um segundo cálculo de *ET<sub>c</sub>*, considerando-se que as medidas nesses dias ocorreram em períodos chuvosos, de tal maneira que o solo sob a saia estava com a superfície toda úmida e em evaporação, não ficando esta restrita ao lisímetro. Essa correção foi realizada adotando-se que nesses meses a evaporação do solo úmido (*E<sub>s</sub>*) representava cerca de 30 % da evapotranspiração do lisímetro, conforme pode-se deduzir da Tabela 12, pois observa-se nela que de setembro/04 a fevereiro/05, *T/ET<sub>lin</sub>* variou de 0,67 a 0,72. Assim assumindo, considerou que *E<sub>s</sub>* na linha de plantio sob a saia dos cafeeiros ocorreu na mesma taxa do que de todo o solo do lisímetro, fazendo-se a seguinte correção para *ET<sub>lin</sub>*:

$$ET_{lin} = ET_{lis} + \left( 0,3 ET_{lis} + \frac{(0,99 - 0,636)}{0,636} \right) = 1,17 ET_{lis}$$

sendo 0,99 m<sup>2</sup> a área do solo considerado sob a saia dos cafeeiros e 0,636 m<sup>2</sup> a área do lisímetro. Para o mês de outubro/05, também com as medidas em períodos chuvosos, o mesmo critério foi

usado, mas considerando-se a área de projeção da copa no solo maior, pois o renque já atingia largura de cerca de 1,50 m, de modo que  $ETlin = 1,333 ETlis$ .

Tabela 13 – Valores de evapotranspiração de referência ( $ETo$ ), evapotranspiração do cafezal ( $ETc$ ), evapotranspiração na linha ( $ETlin$ ) e suas relações. Os dados em parênteses referem-se ao segundo cálculo de  $ETlin$  (considerando área total do solo sob a saia dos cafeeiros)

Mês/ano	Dias no mês	$ETo$ 1	$ETo$ 2 (mm d <sup>-1</sup> )	$ETc$	$ETlin$ (L d <sup>-1</sup> p <sup>-1</sup> )	IAF	$\frac{ETlin}{ETc}$	$\frac{ETlin}{ETo$ 1	$\frac{ETlin}{ETo$ 2
Set/04	5	4,08	5,12	2,60	2,57	0,84	0,31	0,20	0,16
Out/04	7	3,20	4,47	4,32	3,38		0,25	0,33	0,24
Nov/04	7	3,42	5,15	4,71	4,10		0,28	0,38	0,25
					(4,80)		(0,32)	(0,44)	(0,30)
Dez/04	4*	3,02	3,63	4,44*	3,40*		0,24	0,36*	0,30*
Jan/05	4	3,71	3,67	4,83	4,63		0,30	0,40	0,40
					(5,41)		(0,36)	(0,46)	(0,47)
Fev/05	9	3,98	4,87	4,75	4,49	5,53	0,30	0,36	0,29
Mar/05	7	3,21	3,93	3,87	4,24		0,35	0,42	0,34
Abr/05	13	2,94	3,65	3,87	4,35	5,94	0,36	0,47	0,38
Mai/05	4	2,44	3,15	3,07	2,80		0,29	0,36	0,28
Set/05	3	2,97	4,03	2,81	3,57		0,40	0,38	0,28
Out/05	5	3,28	3,88	3,99	4,48	4,46	0,36	0,43	0,37
					(5,23)		(0,42)	(0,58)	(0,49)

\* – Médias de dias não coincidentes quanto às medidas.

Até maio a evapotranspiração da linha de cafeeiros variou proporcionalmente pouco em relação à evapotranspiração global do cafezal, mantendo-se até fevereiro em torno de 30 %, passando em março e abril para cerca de 35 %, caindo para 29 % em maio e chegando a 40 % e 42 %, se adotado o valor corrigido para evaporação do solo, em setembro e outubro de 2005. Portanto, a relação entre a evapotranspiração das linhas e das entrelinhas manteve-se próxima daquela entre a área de solo coberta pelos cafeeiros e a coberta pelas entrelinhas, como já observado por Marin (2003) em cafezal da mesma área, mas com espaçamento entre as linhas menor. Isso mostra a importância da entrelinha vegetada como grande contribuidora para fluxo de vapor na cultura. Marin et al. (2002) observaram em pomar de lima ácida ‘Tahiti’ que no período úmido a relação entre a transpiração das árvores (determinadas por fluxo de seiva) e a

evapotranspiração das entrelinhas vegetadas também proporcional às respectivas frações de cobertura do solo por cada componente de vegetação. Entretanto, no presente estudo essa proporcionalidade se manteve mesmo nos períodos seco, nos quais as entrelinhas teoricamente não deveriam estar evapotranspirando na mesma taxa da linha de cafeeiros.

Parece, também, que o aumento da área foliar dos cafeeiros não afetou esta relação de proporcionalidade, com as áreas de cobertura vegetal das linhas e entrelinhas em cafezais semi-adensados ou adensados. Por outro lado, a diminuição da área foliar do cafeeiro coloca em jogo a evaporação de um solo mais exposto nas linhas ou próximo delas.

No estudo de Havaí, Gutiérrez e Meinzer (1994) encontraram que a relação  $T/ET_c$  aumentou exponencialmente com o IAF, quando este último aumentou de 1,5 a 6,8, chegando à relação igual a 1 nesse último valor de IAF, ou seja, para IAF parecido ao encontrado no presente estudo, toda a evapotranspiração do cafezal teria sido originária da transpiração dos cafeeiros, o que vai de encontro ao verificado neste trabalho e no de Marin (2003). Entretanto, a justificativa daqueles autores de que a contribuição exclusiva da transpiração dos cafeeiros na evapotranspiração global ( $ET_c$ ) teria ocorrido porque na maior parte do dia as entrelinhas ficam sombreadas pela densa folhagem dos cafezais parece questionável.

Por outro lado, a alta contribuição das entrelinhas para  $ET_c$  parece difícil de ser explicada em alguns casos. Por exemplo, no mês de setembro/04 havia ocorrência de seca acentuada, de modo que essa grande contribuição das entrelinhas somente poderia ser justificada caso as espécies invasoras estivessem transpirando em taxas superiores às dos cafeeiros, o que poderia ocorrer caso elas absorvam água de camadas mais profundas do solo. No caso disso acontecer, outras explicações poderiam ser encontradas em erros cometidos na determinação de  $ET_c$  pela razão de Bowen, por exemplo, com superestimativas dessa variável, ou com erros nas medidas lisimétricas e de fluxo de seiva. Isso remete à necessidade de estudos mais acurados com essas técnicas, bem como pelo possível uso de maior número de repetições das três variáveis medidas assim como de medidas nas entrelinhas. Medidas fisiológicas, como potencial de água na planta e condutância foliar à difusão de vapor tanto nas linhas como nas entrelinhas, seriam desejáveis.

## 5 CONCLUSÕES

O calor latente teve a maior contribuição na partição da energia disponível ( $Rn - G$ ) no cafezal, apresentando pouca variação (entre 73 a 80 %). Não se pode descartar o fato de que em meses secos, como setembro/04, fevereiro, abril e maio/05, a advecção possa ter contribuído para esses valores;

A evapotranspiração total do cafezal ( $ET_c$ ), apresentou valores médios diários crescentes a partir da retomada de crescimento em setembro/04 ( $2,75 \text{ mm d}^{-1}$ ) até fevereiro/05 ( $4,58 \text{ mm d}^{-1}$ ), diminuindo posteriormente até maio/05 ( $4,24$  a  $3,13 \text{ mm d}^{-1}$ ); na retomada do crescimento em 2005 (setembro e outubro),  $ET_c$  foi superior ( $2,93$  e  $4,29 \text{ mm d}^{-1}$ ) aos observados no mesmo período em 2004;

O aumento de  $ET_c$  entre setembro/04 e fevereiro/05 refletiu principalmente o aumento de área foliar, sendo a diminuição posterior consequência maior da diminuição da demanda hídrica da atmosfera. Os maiores valores observados em setembro e outubro de 2005 em relação ao mesmo período de 2004, também foram reflexo da maior área foliar em 2005;

A relação entre a evapotranspiração global do cafezal e a de referência ( $ET_c/ET_o$ ) foi maior quando  $ET_o$  foi calculada pelo método de Penman-Monteith ( $ET_o 1$ ) do que pelo método do tanque classe A ( $ET_o 2$ );

Os valores de  $ET_c/ET_o$  tenderam a aumentar de setembro/04 a janeiro/05, como reflexo do acréscimo de área foliar. O menor valor da relação em setembro/04 ( $0,67$  e  $0,54$  com  $ET_o 1$  e  $ET_o 2$ , respectivamente) pode ter sido consequência, também, da regulação estomática dos cafeeiros devido a alta demanda atmosférica, o mesmo fato podendo explicar a diminuição da relação em fevereiro/05 ( $1,17$  e  $0,73$  com  $ET_o 1$  e  $ET_o 2$ , respectivamente);



A contribuição da evapotranspiração das linhas de cafeeiros para  $ET_c$  variou pouco entre setembro/04 fevereiro/05 (entre 0,24 e 0,31), aumentando no período posterior (entre 0,35 e 0,40), mas em maio manteve-se em 0,29. Esses valores são aproximadamente iguais à proporção entre área de solo coberto pelos renques de cafeeiros e área total (renque + entrelinhas);

A relação  $ET_{lin}/ET_o$  dependeu do método de estimativa de  $ET_o$ , apresentando um valor de 0,20 e 0,16 ( $ET_o$  1 e  $ET_o$  2, respectivamente) em setembro/04, entre 0,33 e 0,24 ( $ET_o$  1 e  $ET_o$  2, respectivamente) em outubro e flutuando entre 0,36 – 0,47 e 0,25 – 0,49 nos demais meses;

A transpiração dos cafeeiros por unidade de área foliar diminuiu drasticamente com o aumento da área foliar, com indicação de que a partir de um valor em torno de  $7 \text{ m}^2$  houve uma tendência de não aumentar a transpiração da planta proporcionalmente ao aumento de área foliar;

A contribuição da transpiração para a evapotranspiração da linha (relação  $T/ET_{lin}$ ) variou entre 46 % em abril e 72 % em fevereiro;

A relação entre a transpiração dos cafeeiros e a evapotranspiração de referência ( $K_c$  basal) variou de 0,13 e 0,10 ( $ET_o$  1 e  $ET_o$  2, respectivamente) em setembro, aumentando com o acréscimo de área foliar cerca de 0,30 (independente do método de estimativa de  $ET_o$ ) em fevereiro e março/05, para 0,22 em abril/05 e diminuindo para 0,17 e 0,12 ( $ET_o$  1 e  $ET_o$  2, respectivamente) em maio, nesse último caso provavelmente refletindo a diminuição da atividade fisiológica.

## REFERÊNCIAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p.
- ALLEN, R.G.; FISHER, D.K. Direct load-cell based weighing lysimeter system. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 114-124.
- ALLEN, R.G.; PRUITT, W.O.; JENSEN, M.E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 170-181.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, S.J.; BRENNER, A.J.; GRACE, J. A low-cost psychrometer for field measurements of atmospheric humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 17, p. 219-225, 1994.
- ANDRADE, C.E. de; SANTOS, M.F. P. Manejo do Solo Visando Maior Disponibilidade de Água para a Cultura do Café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Os efeitos da irrigação sobre a qualidade e a produtividade do café**. Viçosa: UFV, 2004. p. 385-416.
- ANGELOCCI, L.R.; KARASAWA, S.; RIGHI, E.Z.; FAVARIN, J.L. Medidas lisimétricas da evapotranspiração em cafezais semi-adensados. In: REUNIÓN ARGENTINA, 5.; LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2004, La Plata. **Anais...** Buenos Aires: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 1 CD-ROM.
- ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. v. 2. p. 790-793.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; RENA, A.B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, Varanasi, v. 36, p. 1-19, 1995.
- BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G.; SANTOS, A.O.; BERGONCI, J.I. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 222-224.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, **Physical Review**, New York, v. 27, p. 779-787, 1926.
- BRAUN, P. Sap flow measurements in fruit trees Advantages and shortfalls of currently used systems. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 449, p. 267-272, 1997.

BUTLER, D.R. Coffee leaf temperatures in tropical environment. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 26, p. 129-140. 1977.

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37 n. 1, p. 1-36. 2001.

CABIBEL, B.; DO, F. Mesures thermiques des flux de sève dans les troncs et les racines et fonctionnement hydrique des arbres: I. Analyse théorique des erreurs sur la mesure des flux et validation des mesures en présence de gradients thermiques extérieurs. **Agronomie**, Paris, v. 11, p. 669-678. 1991.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições típicas do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 1-6, 2001.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorology of coffee crop**. Geneva: WMO, 1994. 53 p. (Bulletin, 58).

CAMPECHE, L.F. S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CERMÁK, J.; KUCERA, J. The compensation of natural temperature gradient at the measuring point during the sap flow rate determination in trees. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 23, p. 469-471, 1981.

CLEARWATER, M.J.; MAINZER, F.C.; ANDRADE, J.L. Potential errors in measurement of non uniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, p. 681-687, 1999.

COELHO FILHO, M.A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 2002. 91 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia do cafeeiro sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 93-135.

DAUZAT, J.; RAPIDEL, B.; BERGER, A. Simulation of leaf transpiration and sap flow in virtual plants: model description and application to a coffee plantation in Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 109, p. 143-160, 2001.

DELGADO-ROJAS, J.S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação de diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação**. Piracicaba, 2003. 110 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

- DELGADO-ROJAS, J.S.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R. Determinación de la transpiración del café (*Coffea arabica* L.) a través del método de sonda de disipación térmica. In: REUNIÓN ARGENTINA 5.; LATINOAMERICANA DE AGROMETEOLOGIA, 9., 2004, La Plata. **Anais...** Buenos Aires: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 1 CD-ROM.
- DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R.; CORSATO, C.E.; FERREIRA, M.I. Modificação da sonda de dissipação térmica para correção de erro devido ao gradiente térmico natural na determinação do fluxo de seiva. In: CONGRESSO BRADILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 9., Atibaia. **Resumos...** Campinas: SBFV, 2003. p. 441.
- DELGADO-ROJAS, J.S.; RIGHI, C.A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; BERNARDES, M.S. Desempenho do sensor de granier na medida da transpiração em seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 10., 2005., Recife. **Anais...** Recife: SBFV, 2005. 1 CD-ROM.
- FANJUL, L.; ARREOLA-RODRIGUEZ, R.; MENDEZ-CASTREJOU, M.P. Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grown coffee plants in México. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 21, p. 249-258, 1985.
- FAVARIN, J.L.; DOURATO-NETO, D.; GARCIA, A.G. y; VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.
- FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 275-301.
- FAZUOLI, L.C.; MEDINA FILHO, H.P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M.A. Melhoramento do cafeeiro: variedades, tipo arábica obtidas no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 163-215.
- FERREIRA, M.I.; ZITSCHER, H. Measurements performed with Granier method in short trunks near the soil. In: WORKSHOP ON MEASURING SAP FLOW IN INTACT PLANT, 3., 1996, Barcelona. **Anais...** Barcelona: CAE, 1996. p. 1-3.
- FERREIRA, M.I.F.R.; SILVESTRE, J.C. **Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos**: vinha em diferentes declives, na região do oeste, 2004. Disponível em: <<http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/>>. Acesso em: 17 abr. 2006.
- FERREIRA, M.I.F.R.; SILVA, R.M.; PAÇO, T.A. do. **Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos**: montado de sobreiro na região de Lisboa, 2004. Disponível em: <<http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/>>. Acesso em: 17 abr. 2006.
- FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. **Bragantia**, Campinas, v. 10, n. 9, p. 247-257, 1950.

- FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo ingazeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 11, n. 4/6, p. 121-125, 1951.
- GOMIDE, M.B.; LEMOS, O.V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M.M. de; CARVALHO, J.G. de; DUARTE, G. S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, jul./dez. 1977.
- GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.
- GRANIER, A. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du douglas par une nouvelle méthode thermique. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 44, n. 1, p. 1-14, 1987.
- GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, p. 173-186, 1994.
- JARVIS, P.G.; McNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: scaling from leaf to region. **Advances on Ecology Research**, Madison, v. 15, p. 1-49, 1986.
- KARASAWA, S.; DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R. Subestimação da transpiração do cafeeiro (*coffea arabica* L.) em formação pelo método de granier. In: REUNIÓN ARGENTINA 5.; LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2004, La Plata. **Anais...** Buenos Aires: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 1 CD-ROM.
- KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; MELO, R.W. de; SILVA, C.R. da; FAVARIN, J.L. Instalação e calibração de lisímetros de pesagem por célula de carga em cafezal adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 2005. 1 CD-ROM.
- LEWIS, J.M. The story behind the Bowen ratio. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 76, n. 12, p. 2433-2443, 1995.
- LOUSTAU, D.; DOMEQ, J.C.; BOSCH, A. Interpreting the variations in xylem sap flux density within the trunk of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.): application of a model for calculating water flows at tree and stand levels. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 55, p. 29-40. 1998.
- LUNDBLAD, M.; LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. **Annals of Forest Science**, Paris, v. 58, p. 625-638, 2001.
- MARIN, F.R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida 'Tahiti'**. 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

- MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima de cafezal adensado**. 2003. 118 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A.; VILLA NOVA, L.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 839-844, 2001.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. In: REUNIÓN ARGENTINA 5.; LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2004, La Plata. **Anais...** Buenos Aires: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004. 1 CD-ROM.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida ‘Tahiti’. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São José dos Campos, v. 17, n. 2, p. 219-228, 2002.
- MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, Washington, v. 33, n. 6, p. 385-396, 1958.
- MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, R.J. **Plantio e formação da lavoura cafeeira**. Lavras: UFLA; FAEPE, 1998. 40 p.
- McNAUGHTON, K.G.; LAUBACH, J. Unsteadiness as a cause of non-equality of eddy diffusivities for heat and vapour at the base of an advective inversion. **Boundary-Layer Meteorology**, Dordrecht, v. 88, p. 479-504, 1998.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symposium of Society of Experimental Biology**. Cambridge, v. 19, p. 205-234. 1965.
- NACIF, A.P.; MALAFAIA Jr., S. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café CBP&D/Café: Um marco importante para o agronegócio café brasileiro In: ENCONTRO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO DA CAFEICULTURA NO CERRADO, 6., Araguari. **Anais...** Araguari: ACA, UFU, 2001. p. 11-27.
- NAZARENO, R.B.; RODRIGUES, G.C.; GUERA, A.F.; SAMPAIO, J.B.; SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P.M.R. Crescimento de *Coffea arabica* L. cv Catuaí Rubi MG-1192 em diferentes regimes hídricos durante a estação seca dos cerrados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: EMBRAPA-CBP&D Café, 2003. p. 119-120.
- NICOLAS, E.; TORRECILLAS, A.; ORTUNO, M.F.; DOMINGO, R.; ALARCÓN, J.J. Evaluation of transpiration in adult apricot trees from sap flow measurements. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 72, p. 131-145, 2005.

- NUTMAN, F.J. Studies on the physiology of *Coffea arábica* L. III. Transpiration rates of whole trees in relation to natural environmental conditions. **Annals of Botany**, London, v. 1, p. 681-693, 1941.
- OLIVEIRA, G.M. de; LEITÃO, M.M.V.B.R. Estimativa de evapotranspiração e as conseqüências devido aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 343-347, 2000.
- PAÇO, T.A. do; FERREIRA, M.I.F.R. **Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos** – necessidades de rega em pomar de pessegueiro, 2004. Disponível em: <<http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/>>. Acesso em: 17 abr. 2006.
- PEREIRA, H.C. Field measurements of water use for irrigation control in Kenya coffee. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 49 p. 459-466, 1957.
- PEREIRA, A.R. **Introdução à micrometeorologia**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Exatas, 2002. 74 p.
- PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia** – fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.
- PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Difficulties with micrometeorological methods to estimate evapotranspiration in a small citrus orchard. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 18, n.1, p. 13-20, 2003.
- PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.
- PEZZOPANE, J.R.C. **Avaliação microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana ‘prata anã’**. 2004. 136 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- PRUEGER, L.H.; HATFIELD, J.L.; AASE, J.K.; PIKUL Jr., J.H. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 730-736, 1997.
- REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 446 p.
- RIGHI, E.Z. **Balço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 151 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

- SAKURATANI T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 37, p. 9-17, 1981.
- SANTIAGO, A.V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal**. 2002. 37 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Árbore, [1996?]. 140 p.
- SANTOS, C.M. dos; TEODORO, R.E.F.; MENDONÇA, F.C.; CAETANO, A.R.; DOMINGUES, E.P.; BRONZI, S.S. Diagnóstico da cafeicultura irrigada no cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., 1998, Araguari. **Anais...** Araguari: ACA, UFU, 1998. p. 120-144.
- SELLAMI, M.H.; SIFAOURI, M.S. Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap flow inside the oasis. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 59, p. 191-204, 2003.
- SILVA, M.G. **Densidade de fluxo de seiva e relações hídricas do café (*Coffea arabica* L.) para região de Varre-Sai, RJ**. 2003. 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, Campos dos Goytacazes, 2003.
- SILVA, R.M.; FERREIRA, M.I.; PAÇO, T.A. do; OLIVEIRA, A.V.; OLIVEIRA, M. **Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do entre douro e minho**, 2004. Disponível em: <<http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/>>. Acesso em: 17 abr. 2006.
- SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 2001. 118 p. (Boletim Técnico Engenharia na Agricultura, 4).
- SMITH, D.M.; ALLEN, S.J. Measurement of sap flow in plants stems. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 305, p. 1833-1844, 1996.
- TAUSEND, P.C.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C. Water utilization, plant hydraulic properties and xylem vulnerability in three constanting coffee (*Coffea Arabica*) cultivars. **Tree Physiology**, Victoria, v. 20, p. 159-168, 2000.
- TAUSEND, P.C.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G. Control of transpiration in three coffee cultivars: the role of hydraulic and crown architecture. **Trees – Structure and Function**, Heidelberg, v. 14, p. 181-190, 2000.
- TAVARES, R.A.F.R. **Medição da transpiração e caracterização do estado hídrico em *Prunus persica***. 1993. 74 p. Trabalho (Graduação) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 1993.



TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 335-348, 2000.

TOURNEBIZE, R.; BOISTARD, S. Comparison of two sap flow methods for the estimation of tree transpiration. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 55, n. 6, p. 706-713, 1998.

VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. (Ed.). **Water transport in plants under climatic stress**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.

VALE, S.M.L.R. do. A cadeia agroindustrial do café e seus desafios gerenciais. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Os efeitos da irrigação sobre a qualidade e a produtividade do café**. Viçosa: UFV, 2004. p. 1-29.

VERMA, S.B; ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 7, p. 330-338, 1978.

VILELA, L.A.; DELGADO-ROJAS, J.S. **Determinação do fluxo de seiva pelos métodos de balanço de calor e de dissipação**. Lavras: UFLA, 2003. 23 p.

VILLA NOVA, N.A. **Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz**. 1973. 89 p. Tese (Live-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.

VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, J.L.; ANGELOCCI, L.R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

WALLIS, J.A.N. Water use by irrigated Arabica coffee in Kenya. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 60, p. 381-388, 1963.