

**JUSSÁLVIA DA SILVA PIMENTEL**

**ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CAFEEIROS  
UTILIZANDO SENSORES DE DISSIPACÃO TÉRMICA**

**RECIFE - PE  
Fevereiro - 2008**

JUSSÁLVIA DA SILVA PIMENTEL

ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CAFEEIROS UTILIZANDO  
SENSORES DE DISSIPACÃO TÉRMICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Água e Solo

Orientador: Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

RECIFE - PE  
Fevereiro - 2008

A Deus

## **AGRADEÇO**

À minha mãe Judite e ao meu pai Sálvio (*in memoriam*) pelo amor. Aos meus irmãos Jusiânio, Judácia e Junívio e sobrinho Hiago pela compreensão da minha ausência.

## **DEDICO**

Á Pietro, pelo carinho, dedicação e presença

## **OFEREÇO**

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal Rural de Pernambuco através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização deste trabalho, a minha eterna gratidão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aprovação do projeto que viabilizou a execução da pesquisa.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" em nome do Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti pela parceria e colaboração trabalho, indispensáveis na execução do trabalho.

Ao Prof. Dr. Tonny José Araújo da Silva, pelos ensinamentos, amizade, pela orientação e principalmente dedicação à pesquisa durante meu trabalho, apesar de todos os empecilhos.

Aos professores: Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro pela concessão do espaço para o laboratório e empréstimo de materiais de uso no campo; Dr. João Carlos Borges Ferreira Júnior pelas dicas no trabalho de campo; e Dr. Roberto Carlos Orlando por tornar possível a construção da câmara de calibração.

Aos demais professores do Departamento de Tecnologia Rural, por terem colaborado com minha formação

A Dr<sup>a</sup> Edna Maria Bonfim da Silva pela colaboração no trabalho e ao Dr. Juan Sinfioriano Delgado Rojas (ESALQ) pelas informações sobre a câmara de calibração.

À administração da UAG - Unidade Acadêmica de Garanhuns pela concessão do uso de suas dependências para execução de parte do trabalho.

Aos alunos de graduação da UAG Luiz Carlos de Moura Pimentel e Ana Marcela Ferreira Barros pela colaboração nos trabalhos de campo.

A Fazenda São Luís pela concessão da área para a execução da pesquisa, principalmente ao funcionário Valdir pela disponibilidade em ajudar sempre que necessário.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia Rural que contribuem com esse trabalho, Lulinha e Júnior Granja.

Ao Laboratório de Física do Solo, principalmente a Anacleto pelas análises do solo.

Aos meus colegas do curso em Engenharia Agrícola: Adriana de Carvalho Figueiredo, Aérica Cirqueira Nazareno, George Brito Silva, Júlio José do Nascimento Silva, Lígia Borges Marinho, Manuel Leal Costa Neto, Michelle Andréa da Silva Borges, Pedro Rogério Giongo, pela convivência.

As pessoas que tive a oportunidade de conviver Júnior, Chico e principalmente Taís Emanuelle.

A Felizarda e George pela acolhida na chegada a Recife e principalmente pela convivência diária, obrigada pela paciência. A Leandra e Pablinho, também.

O meu muito obrigado a todos que contribuíram com esse trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	ix
RESUMO.....	x
SUMMARY .....	xi
1 – INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Importância econômica do café .....	3
2.2 - Requerimentos climáticos do cafeeiro.....	5
2.3 - Necessidades hídricas .....	6
2.4 - Estimativa da transpiração pela medida do fluxo de seiva.....	7
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 - Caracterização da área experimental .....	12
3.2 - Descrições das medidas realizadas .....	13
3.3 - Estimativa da evapotranspiração de referência .....	15
3.4 - Construção, calibração e instalação dos sensores .....	16
3.5 - Montagem do experimento.....	19
3.6 - Medidas de fluxo de seiva.....	21
3.7 - Calibração da Equação de Granier .....	22
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
4.1 - Caracterização meteorológica no período experimental .....	25
4.2 - Biometria do cafeeiro .....	27
4.3 - Equação de calibração.....	29
4.4 - Avaliação do método de Granier.....	30
4.5 - Avaliação quanto ao ângulo de inserção.....	38
4.6 - Avaliação quanto ao período de coleta .....	41
4.7 - Comparação da transpiração com os elementos meteorológicos .....	45
5 - CONCLUSÕES .....	53
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	54

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
1. Estação tensiométrica composta por tensiômetros de punção (A) e leitura realizada por tensímetro digital (B) .....	14
2. Curva característica na camada de 20 a 40 cm (referente à profundidade de 30 cm) do solo no local do estudo.....	15
3. Materiais utilizados na construção do sensor (A) e ligação dos termopares com a resistência (B) .....	17
4. Sensor de dissipação térmica (A) e calibração do sensor feita em meio isotérmico (B).....	18
5. Circuito regulador de corrente constante .....	18
6. Representação esquemática do ângulo de inserção dos sensores nos quadrantes amostrados em cada planta .....	20
7. Representação esquemática das parcelas experimentais no cultivo de café .....	21
8. Esquema do sensor de Granier inserido perpendicularmente no tronco .....	22
9. Representação esquemática da câmara de calibração de fluxo de seiva para simulação do fluxo de seiva .....	23
10. Câmara de calibração de fluxo de seiva .....	23
11. Variação diária da temperatura média do ar e da umidade relativa no período de 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE .....	26
12. Variação diária da evapotranspiração de referência e radiação solar global período de 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE .....	26
13. Variação da tensão da água no solo nas diferentes profundidades de 10, 30, 50, 70 e 100 cm, avaliados de outubro a janeiro na área do experimento.....	27
14. Relação entre $u$ (densidade de fluxo de seiva) e $K ((T_m - T) / T)$ obtidos na câmara de calibração de fluxo de seiva .....	29
15. Variação da diferença de temperatura entre sondas do sensor de uma planta avaliada ao longo de um dia com alta radiação ( $26 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ ).....	32
16. Variação da diferença de temperatura entre sondas do sensor de uma planta avaliada ao longo de um dia com baixa radiação ( $14 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ ) .....	32
17. Variação da diferença de temperatura entre sondas dos sensores nas plantas 16, 17, 18 e 19 nos dias 14, 15 e 16 de outubro.....	33
18. Valores da temperatura do ar e irradiância nos dias 14, 15 e 16 de outubro, obtidos dentro da área do café .....	34
19. Valores de densidade de fluxo de seiva de uma planta de café em 24 horas .....	35

20. Variação de densidade de fluxo de seiva em 3 plantas (planta 21, 20 e 22) nos dias 9 e 10 de outubro em cafeeiro .....	35
21. Transpiração acumulada do cafeeiro para as plantas avaliadas no período de 08/10/07 a 05/01/08 em Garanhuns – PE .....	37
22. Variação da transpiração em cada ângulo de inserção nas 6 repetições durante o período de avaliação do cafeeiro, em Garanhuns – PE .....	41
23. Períodos avaliados: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração (visão do sistema de aquisição de dados e fonte de alimentação) e P3 - início da frutificação .....	42
24. Variação da transpiração ao longo dos períodos avaliados nas plantas de café para os períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação .....	43
25. Variação da transpiração em cada período definido em relação ao ângulo de inserção do sensor. ....	45
26. Relação entre fluxo de seiva e irradiância nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação .....	46
27. Relação entre fluxo de seiva e temperatura do ar nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação.....	47
28. Relação entre fluxo de seiva e umidade relativa nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação.....	48
29. Variação diária da densidade de fluxo de seiva e intensidade de radiação em 24 horas.....	49
30. Variação diária da densidade de fluxo de seiva e temperatura do ar em 24 horas .....	49
31. Variação diária da densidade de fluxo de seiva e umidade relativa em 24 horas .....	50
32. Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 5 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro .....	50
33. Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro .....	51
34. Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro .....	51
35. Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro .....	52



## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
1. Produção de café em grãos nos principais municípios produtores na região do Planalto de Garanhuns - PE, em 2005.....	4
2. Altura da planta, perímetro, diâmetro e área da seção reta do tronco, área foliar e ângulo de inserção dos sensores de fluxo de seiva em respectivas plantas.....	28
3. Transpiração acumulada (L) e área foliar das plantas amostradas no período de 08/10/07 a 05/01/08 em Garanhuns – PE .....	38
4. Valores médios de transpiração ( $L d^{-1}$ ) e ângulos de inserção do sensor de Granier no período entre 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE .....	39
5. Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) em relação a cada ângulo de inserção do sensor de Granier nas plantas de café, em Garanhuns – PE .....	40
6. Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) e períodos de avaliação de 10 dias, antecedente a floração, na floração e início da frutificação, em cafeeiros cultivados em Garanhuns – PE .....	44
7. Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) para cada ângulo de inserção do sensor de Granier nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 – na floração e P3 - início da frutificação do cafeeiro, em Garanhuns – PE .....	44

## ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CAFEIROS UTILIZANDO SENSORES DE DISSIPACÃO TÉRMICA

Autor: JUSSÁLVIA DA SILVA PIMENTEL  
Orientador: Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

### RESUMO

O aumento da produtividade com o uso da irrigação pode ser conseguida por melhor eficiência e precisão do uso da técnica no campo. Alguns métodos são capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida por uma planta, entre eles, há o "método de dissipação de calor" ou método de Granier. Esse trabalho teve como objetivo: Monitorar o fluxo de seiva em 24 plantas adultas de *Coffea arabica*; Avaliar em função da posição de inserção do sensor na planta (Norte, Sul, Leste ou Oeste) e comparar os resultados com os elementos meteorológicos, como radiação solar, temperatura, umidade relativa e também a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith. O cafezal com 3 anos, localizado em Garanhuns-PE é irrigada por gotejamento. Foram instalados em 24 cafeeiros sensores de dissipação térmica adaptados de Granier (1985), onde o conjunto termopar e resistência foram inseridos na agulha. O ângulo de inserção variou em cada tratamento, foram instalados tensiômetros em diferentes profundidades do solo e medidos a área foliar, o diâmetro do tronco e altura das plantas. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 6 repetições, foi feito teste Tukey a 5% de significância. Com os sensores construídos e instalados nas plantas foi possível determinar a densidade de fluxo de seiva a partir da variação da diferença de temperatura entre as sondas e acompanhar a transpiração em função da transição entre os períodos diurno e noturno. As alturas das plantas variaram entre 1,91 e 2,5 m e área foliar de 3,67 e 12,25 m<sup>2</sup>, máxima e mínima respectivamente. Não houve diferença significativamente entre os ângulos de inserção para o fluxo de seiva. O experimento foi dividido em 3 períodos: antecedente a floração (09/10/07-18/10/07), na floração (22/10/07-01/12/07) e depois da floração (27/12/07-05/01/08) e avaliados quanto a transpiração. Após o período da floração o fluxo foi mais intenso, mas na média sem diferença significativa. Quanto os elementos meteorológicos, a radiação e a umidade relativa foram os fatores mais determinantes da transpiração.

**Palavras chaves:** *Coffea arabica*, fluxo de seiva, irrigação, evapotranspiração

## ESTIMATING OF TRANSPIRATION IN CROP COFFEE USING HEAT DISSIPATION SENSORS

Author: JUSSÁLVIA DA SILVA PIMENTEL  
Adviser: Prof. Dr. TONNY JOSÉ ARAÚJO DA SILVA

### SUMMARY

The increase in productivity with the use of irrigation can be achieved by improved efficiency and accuracy of the use of the technique in the field. Some methods are capable to directly determine the amount of water consumed by a plant, among them, there is the "heat dissipation method" or Granier method. The aim of this study was: Track the sap flow in 24 adult plants of *Coffea arabica*; Evaluate according to the position of insertion of the sensor in the plant (North, South, East or West) and compared the results with the meteorological elements, such as radiation, temperature, relative humidity and too the evapotranspiration estimated by the Penman-Monteith equation. The coffee plantation with 3 years, located in Garanhuns-PE is drip irrigated. Were installed in 24 coffee sensors, thermal dissipation adapted from Granier (1985), where the set thermocouple and resistance were inserted the needle. The angle of insertion varied in each treatment, were installed tensiometers at different depths of soil and measured the leaf area, the diameter of the trunk and height of crop coffee. The design was used completely randomized to 4 treatments and 6 repetitions, Tukey test was done at 5% significance. With sensors built and installed in the plants were determined the density of sap flow from the variation of the difference in temperature between the probes and monitor the transpiration depending on the transition between day and night periods. The heights of the plants ranged between 1,91 and 2,5 m, leaf area of 3,67 and 12,25 m<sup>2</sup>, maximum and minimum respectively. There was no significant difference between the angles of insertion to the sap flow. The experiment was divided into 3 periods: antecedent to flowering (09/10-18/10), the flowering (22/10-01/12) and after flowering (27/12-05/01) and evaluated as transpiration. After the period of flowering the flow was more intense, but with no significant difference in the average. As the meteorological elements, radiation and relative humidity were the most determinant factors of transpiration.

Keywords: *Coffea arabica*, sap flow, irrigation, evapotranspiration

## 1 - INTRODUÇÃO

No Brasil o café é cultivado há cerca de três séculos, ao longo dos quais houve uma intensa evolução nos sistemas de cultivo, com isso a cafeicultura tem se constituído numa das mais importantes atividades do setor agroindustrial brasileiro, tanto para o abastecimento interno como para a exportação. Isso o torna um produto valorizado, exercendo importante função social, através da geração de recursos e empregos.

No início, a produção se concentrou na região sudeste, estendendo-se posteriormente até o extremo Norte da região Sul. As adversidades climáticas, como exemplo, as geadas, indicaram por meio do zoneamento agrícola o cultivo do cafeeiro em áreas com menor risco climático. Atualmente, as áreas cafeeiras estão concentradas na região Centro-Sul e dentre os cinco maiores estados produtores estão, respectivamente: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia e Paraná, a exceção é a Bahia como único representante da região Nordeste.

Com a expansão da cafeicultura para regiões que possibilitam a obtenção de bebidas com qualidade superior e maior rendimento econômico, a produção passa a ser cada vez mais dependente da complementação hídrica. Essas novas regiões, em grande parte, são afetadas por condições climáticas que prejudicam o desenvolvimento e a produção do cafeeiro, sobretudo pela ocorrência de deficiência hídrica severa em fases fenológicas críticas da planta, tornando necessário o uso da irrigação para boa produção.

Neste contexto, a irrigação é um fator decisivo para se obter alta produtividade e qualidade dos grãos, obrigando os produtores adotarem esta prática para garantir sua competitividade. Por outro lado, verifica-se a necessidade de implantação de medidas que venham a racionalizar o uso de água na agricultura, levando em conta que a agricultura é mundialmente o maior usuário desse recurso.

Entretanto, para que a aplicação de água seja eficiente, é fundamental o conhecimento adequado da demanda hídrica da cultura, que, por sua vez, é regulada por suas características intrínsecas ao solo e clima da região. Essa aplicação eficiente não envolve somente equipamentos modernos, mas também um manejo adequado do sistema de irrigação, isto é, uma aplicação precisa do volume, com uma freqüência adequada e em quantidade que a planta necessita para seu desenvolvimento.

O aumento da produtividade com o uso da irrigação pode ser conseguido por melhor eficiência e precisão do uso da técnica no campo. Melhorar essa precisão implica em aprimorar as estimativas das necessidades hídricas das plantas às suas necessidades reais, e o conhecimento do consumo permitirá uma utilização/distribuição racional da água. Esse aprimoramento requer uma adequação que está implicitamente associado ao conhecimento da evapotranspiração da cultura e a condição hídrica do solo.

Quantificar o consumo de água de forma mais precisa significa melhorar as metodologias existentes, buscando novas técnicas que permitam avaliações mais rápidas, simples e precisas. Com isso, têm sido desenvolvidos e testados numerosos métodos capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida por uma planta lenhosa de tamanho relativamente grande. Entre eles, há o método térmico conhecido como "método de dissipação de calor" que vem recebendo atenção nos últimos tempos por utilizar princípios físicos relativamente simples e poder ser aplicado diretamente no campo sem alterar as condições fisiológicas e micrometeorológicas da planta.

O método de dissipação de calor permite estimar a transpiração da planta através da determinação do fluxo de seiva e em combinação à medida da evaporação do solo através de microlisímetros ou tensiômetros (balanço hídrico), instalados na entrelinha do plantio, podem ser ferramentas importantes no manejo da irrigação.

Dessa forma levando em consideração a carência de informações sobre as relações hídricas em cafezais, objetivou-se por meio desse trabalho: Construir e calibrar sensores de dissipação térmica; Monitorar o fluxo de seiva em 24 plantas adultas de *Coffea arabica*; Avaliar o fluxo de seiva em função da posição de inserção do sensor na planta (sensores direcionados para Norte, Sul, Leste ou Oeste) e comparar os resultados com os elementos meteorológicos, como radiação solar, temperatura, umidade relativa e também comparar com a evapotranspiração de referência estimada por meio da equação de Penman-Monteith.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 - Importância econômica do café

Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, sendo responsável por mais de 30% do mercado internacional, volume equivalente à soma da produção dos outros cinco maiores países produtores. É também o segundo mercado consumidor, atrás somente dos Estados Unidos.

A safra nacional de 2007 foi de 33 milhões de sacas beneficiadas, provenientes de cultivos distribuídos em aproximadamente 2 milhões de ha em área de produção e 192 milhões de ha de cafezal em áreas de formação, e com produtividade média de 16,27 sacas por ha. A primeira estimativa de produção para o ano de 2008 indica que o País deverá colher em torno de 44 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado. O resultado dessa primeira pesquisa representa um crescimento de aproximadamente 30,9%, quando comparado com a produção da temporada anterior. A produção do café arábica no país representa 76% do total estimada em 33 milhões de sacas, tendo o estado de Minas Gerais como o maior produtor (50,1% da produção nacional). O café robusta (Conilon) apresenta em sua primeira estimativa uma produção de 10 milhões de sacas. O estado do Espírito Santo é o maior produtor de robusta com uma participação de 35,9% da produção nacional. A área cultivada com café estimada em 2.303,7 mil hectares é 1,68% superior aos cultivados na safra anterior. Desse total, 92,6%, estão em produção e os 169,7 mil hectares restantes estão em formação (CONAB-IBGE, 2008).

Quanto a dados de produção de café no estado de Pernambuco junto aos órgãos destinados a fazer as estimativas, não o inclui no ranking de grandes produtores, é classificado como “outros” assim como o Acre, Pará, Ceará, Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal que representam, em conjunto, 1,9% da produção nacional inicialmente prevista (IBGE, 2007).

Um levantamento realizado pelo Banco do Nordeste para diagnosticar o perfil econômico de Pernambuco, indicou valor da produção para o café (em coco) no estado de R\$ 3.880.000,00 (Duarte & Silva Filho, 2002). A Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária de Pernambuco (SPRRA) aponta para a existência cerca de mil cafeicultores no estado, responsáveis por uma produção anual de 80 mil sacas. O volume atende a apenas 23 % da demanda pernambucana, que é de 350

mil sacas/ano. A área plantada é de 8 mil hectares, distribuída entre a Mata Norte (500 ha) e 40 municípios do Agreste (7500 ha)(Gazeta Mercantil, 2003).

A cafeicultura em Pernambuco até décadas passadas, antes da regulamentação econômica imposta pelo Governo no setor que a extinguiu, tinha posição de destaque no contexto da economia do estado. Aos poucos, porém, o café tenta retomar os campos do agreste pernambucano com destaque às cidades de Taquaritinga do Norte, Garanhuns, Bom Conselho, Belo Jardim, Brejão e Triunfo (Nicoleli, 2006).

Dados fornecidos pelo IBGE sobre a produção de café em grãos nos principais municípios produtores da região do Planalto de Garanhuns, em 2005, encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção de café em grãos nos principais municípios produtores na região do Planalto de Garanhuns - PE, em 2005

<b>Municípios</b>	<b>Quantidade Produzida (t)</b>	<b>Valor da Produção (mil R\$)</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>	<b>Área Colhida (ha)</b>	<b>Rendimento (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Bom Conselho	55	172	110	110	500
Belo Jardim	100	300	50	50	2000
Brejão	616	2020	880	880	700
Garanhuns	390	1290	780	780	500
Taquaritinga do Norte	180	666	1250	1250	144

Fonte: IBGE-Cidades@ ([www.ibge.gov.br/cidadesat/](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/), em 12/11/07)

A técnica de irrigação vem sendo um dos investimentos mais praticados pelos produtores, pois, permite aumentar a produção e antecipar colheitas, garantindo melhores preços. Os cafeicultores da região dos brejos de altitude do Planalto de Garanhuns, que já utilizam sistemas de irrigação em suas lavouras, necessitam de estudos regionais relacionados à demanda hídrica para auxiliar na tomada de decisão com relação ao planejamento e à operação desses sistemas, possibilitando o manejo adequado dos recursos hídricos.

## 2.2 - Requerimentos climáticos do cafeeiro

Os cultivos comerciais de café são distribuídos desde o Havaí (20 a 25° N), passando por Cuba (22° N) até o estado no Paraná (22 a 23° S). Os cafeeiros são plantas sempre verdes, com folhas formadas ao longo de todo o ano, dependendo das condições de umidade do solo e temperatura do ar (Carr, 2001).

De acordo com Coste (1969), citado por Pezzopane (2004), o cafeeiro (*Coffea arabica* L.) é uma planta originária dos altiplanos da Etiópia, onde vegeta espontaneamente em sub-bosques nas regiões de Jimma e Kaffa, entre 6º e 9º N, desde 1.600 a 1.900 metros de altitude, onde a temperatura do ar oscila entre 17 e 20°C e as chuvas anuais variam entre 1.500 a 1.800mm, bem distribuídas, com um período seco definido, de quatro a cinco meses.

A importância das condições meteorológicas durante o crescimento e o desenvolvimento da cultura do café é reconhecida por muitos pesquisadores desta atividade agrícola. Por outro lado, as características agroclimáticas das diversas regiões produtoras de café podem influenciar diferentemente a produtividade final da cultura (Evangelista et al., 2002).

Segundo Santinato et al. (1996) temperaturas diárias superiores a 23 e 26°C, para as espécies de café arábica e conilon, respectivamente, associadas à seca na época do florescimento, podem favorecer o abortamento floral e a formação de “estrelinhas”, diminuindo consideravelmente a produtividade. Os mesmos autores afirmaram ainda, que temperaturas diárias inferiores a 18 e 22°C para as espécies de café arábica e conilon, respectivamente, favorecem a exuberância vegetativa e baixa diferenciação floral, com conseqüentes baixos níveis de produtividade, além de sintomas típicos de “crestamento” foliar no período de inverno, associados a ventos dominantes condicionando geada.

No Brasil, a geada é um fenômeno freqüente nas latitudes maiores que 19° S, englobando os estados de Minas Gerais (Triângulo Mineiro e Região Sul), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, onde sua ocorrência resulta em graves prejuízos econômicos, principalmente quando ocorrem precocemente no outono ou tardiamente na primavera (Pereira et al., 2002).

Com relação à precipitação, Alègre (1959), citado por Pezzopane (2004), aponta que a faixa ótima de precipitação deve situar-se entre 1.200 e 1.800 mm, embora trabalhos indiquem que o cafeeiro cresce sob ampla faixa de precipitações



(DaMatta & Rena, 2002), citado pelo mesmo autor. Além disso, a necessidade hídrica depende de outros fatores, como a distribuição anual das chuvas e o ritmo anual da evapotranspiração, o que pode compensar a ocorrência de precipitações relativamente baixas.

De acordo com Camargo (1985), o cafeeiro para vegetar e frutificar, normalmente, necessita dispor de umidade suficiente no solo durante o período vegetativo e frutificação. Na fase de colheita e abotoamento da planta, a umidade do solo pode reduzir bastante e aproximar-se do ponto de murcha permanente, em alguns casos, sem maiores problemas à cafeicultura.

Camargo (1985) analisando dados comparativos do balanço hídrico climatológico de várias regiões produtoras do Brasil sugere que a produção econômica do cafeeiro arábica suporta bem deficiências hídricas de até 150 mm anuais, principalmente quando a estação seca coincide com a maturação e a colheita. Contudo, segundo esse autor, mesmo com deficiência hídrica anual inferior a 100 mm, porém abrangendo o período de frutificação, podem ser observadas quebras de produtividade.

### **2.3 - Necessidades hídricas**

Segundo Reichardt & Timm (2004), qualquer cultura durante seu ciclo de desenvolvimento consome um enorme volume de água, sendo que cerca de 98% deste volume apenas passa pela planta, perdendo-se, posteriormente, na atmosfera pelo processo de transpiração. Este fluxo de água é, porém, necessário para o crescimento e desenvolvimento vegetal e, por este motivo, sua taxa deve ser mantida dentro dos limites próximos de ótimos para cada cultura.

A perda de água do solo por evaporação e através da sua superfície ou por transpiração pelas plantas é um parâmetro importante no ciclo hidrológico, em especial nas áreas cultivadas. Para cada grama de nutriente absorvido do solo pela planta, centenas de gramas de água precisam ser absorvidas (Reichardt & Timm, 2004).

De acordo com Righi (2004), devido às características fisiológicas do cafeeiro, é evidente a importância da irrigação no desenvolvimento da cultura nas principais regiões produtoras de café no Brasil. Portanto, na escassez de água anunciada, torna-se importante no manejo do cultivo a determinação correta da lâmina de

irrigação de modo a não desperdiçar recursos ou ter prejuízos na produção devido à deficiência hídrica.

A necessidade hídrica das culturas pode ser determinada a partir da estimativa da evapotranspiração (evaporação + transpiração) que ocorre na área de cultivo (ETc), variando conforme a espécie cultivada, o estágio e condições edafoclimáticas.

A estimativa da ETc envolve um procedimento que se desenvolve em duas etapas. Na primeira, estima-se a evapotranspiração de referência (ETo). Na segunda, a ETc é obtida ao multiplicar ETo por um coeficiente de cultura (kc) que integra as características da cultura e varia de acordo com a fase fenológica e do clima local (Doorenbos & Pruitt, 1977).

Smith (1991) e, posteriormente, Allen et al. (1998), por intermédio do documento "FAO - Irrigation and Drainage Paper 56", popularizaram o moderno conceito de análise e estimativa do consumo de água pelas culturas. Para tanto, utiliza-se de uma cultura de referência, denominada evapotranspiração de referência e de um coeficiente cultural, que permite a separação da evaporação do solo, da transpiração e do efeito da água no solo.

A evapotranspiração de referência passou a ser definida como a evapotranspiração promovida por uma hipotética cultura de grama que cobre todo o solo, em crescimento ativo, sem restrição hídrica nem nutricional (ótimas condições de desenvolvimento), fisicamente definida com a altura média de 0,12 m, albedo 0,23 e resistência da superfície de  $70 \text{ s m}^{-1}$ . O modelo utilizado como padrão para estimar a ETo passou a ser a equação de Penman-Monteith parametrizada. Este método foi selecionado porque é o que mais se aproxima da ETo da grama no local avaliado, tem embasamento físico e incorporam explicitamente tanto os parâmetros fisiológicos, quanto os aerodinâmicos (Pereira et al., 2002). Resultados obtidos em todo mundo confirmam a qualidade preditiva do modelo Penman-Monteith, sendo a restrição ao seu uso devida ao número de dados e cuidados necessários a sua obtenção (Silva et al., 2003a).

#### **2.4 - Estimativa da transpiração pela medida do fluxo de seiva**

Os métodos de medidas do fluxo de seiva só permitem conhecer uma das componentes da evapotranspiração, a transpiração, mas permite acompanhar, a

uma escala temporal fina, o funcionamento hídrico das plantas no seu meio ambiente natural e em condições não perturbadas, durante períodos prolongados (dias a meses). Em relação aos métodos micrometeorológicos, apresentam a vantagem de se poderem aplicar a vários níveis (do ramo à planta inteira) e de não requererem parcelas uniformes (Ferreira & Silvestre, 2004).

A estimativa 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 um problema nessa espécie, porque o uso de uma pasta siliconada para melhorar o contato sensor-caule causou posteriormente morte das plantas.

O método de Granier (sonda de dissipação térmica) consiste em fornecimento de calor, por meio de uma fonte regulável de energia elétrica e de potência constante no interior do caule, pelo uso de uma sonda e relaciona 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). De acordo com Delgado-Rojas (2003), no período de um dia, a máxima diferença de temperatura entre os dois pontos de medida significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, enquanto que a mínima diferença significa uma taxa máxima de fluxo de seiva através dessa área de transporte.

A grande vantagem do método de Granier é a facilidade de confecção e instalação do sensor, quando comparado com outros métodos térmicos (Braun, 1997).

Granier (1985) propôs uma relação entre a densidade de fluxo de seiva  $u$  ( $10^{-6}$  m s<sup>-1</sup>) e um fator  $k$  característico de cada espécie vegetal. Trabalhando com três espécies lenhosas (*Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra* e *Quercus pedunculata*) esse autor encontrou a seguinte relação:

$$k = (\Delta T_m - \Delta T) / \Delta T = 0,0206 * u^{0,8124} \quad R^2=0,96 \quad (1)$$

sendo,  $\Delta T_m$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a diferença máxima de temperatura entre os dois pontos de medida, que normalmente acontece durante a madrugada e  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) a diferença de temperatura real.

Essa relação é transformada na equação 2, para se ter o fluxo de seiva  $F$  ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) em qualquer espécie lenhosa, conforme recomendação do introdutor do método:

$$F = 118,99 * 10^{-6} * k^{1,231} * SA \quad (2)$$

sendo,  $SA$  a área do lenho condutor da seiva bruta, dada em  $\text{m}^2$ , normalmente considerada a área ocupada pelo xilema e  $k$  calcula-se através da equação 1 a partir das medidas térmicas registradas através do sensor.

Outros autores como Cabibel & Do (1991), utilizando 4 espécies de plantas e Köstner et al. (1998), utilizando 6 espécies de plantas, encontraram relações muito próximas a de Granier. Por esta razão, os autores preferem utilizar a equação original de Granier como padrão para qualquer planta lenhosa.

Essa técnica também é passível de erros de medida, sendo uma delas a existência do gradiente natural térmico no caule, quando o sensor é instalado muito próximo do solo (Cabibel & Do, 1991; Ferreira & Zitscher, 1996; Lundblad et al., 2001). Delgado-Rojas et al. (2003), citado por Karasawa (2006), observaram uma sub-estimativa acima de 50% no fluxo de seiva em cafeeiro do cultivar Mundo Novo Aputã de 6 anos de idade em Piracicaba e segundo eles, a principal causa foi a influência do gradiente natural térmico.

Outra fonte de erro é representada pelas variações espaciais da densidade de fluxo de seiva no tronco, que exige a adequada instalação da sonda (Lu et al., 2000).

A posição de inserção da sonda em relação aos pontos cardeais 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  $120^{\circ}$  entre si ao redor do caule a 1 m do solo. Instalando quatro sensores, uma em cada ponto cardinal e a duas alturas, a 1,5 m e 8,5 m do solo em *Pinus pinaster* de 25 anos, Loustau et al. (1998) observaram que em dia ensolarado, os sensores mais baixos apresentaram respostas diferenciadas, ao passo que os mais altos não.

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). Outro aspecto ligado à área efetiva do xilema é a profundidade na qual a sonda é

instalada. Clearwater et al. (1999) verificaram subestimativa 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 et al. (2003), citado por Karasawa (2006), realizaram 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, concluíram que a confiabilidade da estimativa não foi comprometida. Afirmam ainda, que a estabilidade do valor da potência é mais importante do que a grandeza em si.

Outra variável que pode introduzir erros 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 gradiente natural térmico (Delgado-Rojas, 2003). Granier (1985), na sua proposta original, recomenda a distância de 0,05 m, ao passo que Tournebize & 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 et al. (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 recentes foram realizados por Delgado-Rojas et al. (2004) e Karasawa et al. (2004), citados por Karasawa (2006), 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.

David et al. (1997), comparando o método de dissipação de calor em cultura de eucalipto com o método de Penman-Monteith (PM), quando as condições hídricas do solo eram ótimas, observaram uma tendência similar de variação.

Entretanto, à medida que o solo vai secando, a evapotranspiração pelo método de PM passa a ser proporcionalmente superior ao método de Granier.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido no Planalto de Garanhuns, localizado ao Sul da Chapada da Borborema, na mesorregião do Agreste Pernambucano com altitude média de 980 m. O clima é mesotérmico, com temperatura média anual de 20°C e precipitação pluviométrica de 1333,1 mm, sendo os meses de maio e junho os mais chuvosos, segundo normal climatológica com série de 30 anos (Mota & Agendes, 1986).

O experimento foi instalado na Fazenda São Luís em plantas de café (*Coffea arabica* L.) da variedade Catuaí Vermelho (algumas plantas de Catuaí Amarelo) com 4 anos de plantio no município de Garanhuns (8°53'25"S; 36°29'34"W; 822,76m). O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo, segundo Silva, et al. (2001). A área total plantada é de 7,5 ha, sendo a área experimental composta por 24 plantas ocupando aproximadamente 130 m<sup>2</sup>. O espaçamento adotado na fazenda é de 3,0 x 0,8 m dando uma densidade de 4166 plantas/ha. A área é irrigada por gotejamento com espaçamento entre gotejadores de 0,8 m e vazão de 4 L h<sup>-1</sup> e, realiza fertirrigação com uréia, MAP e cloreto de potássio, de acordo com a recomendação de adubação para o estado de Pernambuco. No cafezal foi feita a seleção das plantas, de modo que fossem representativas da área e com troncos únicos (não bifurcados) para instalação dos sensores. As leituras foram iniciadas em setembro de 2007, estendendo-se até janeiro de 2008.

O sistema de irrigação era acionado automaticamente em turno de 2 h por dia sempre das 24h00 às 2h00, devido ao custo de taxa de energia ser reduzida no período noturno.

Os tratos culturais adotados no experimento foram os mesmos utilizados na área total do cafezal. Não houve aplicação de herbicidas, fungicidas e inseticidas durante a condução. No período da instalação do experimento, as entrelinhas estavam ocupadas por plantas de milho e feijão recém-colhidos e o resíduo seco foi deixado como cobertura morta na área da entrelinha.

Durante o período de avaliação (na primavera e início do verão) não houve chuva representativa na região, no máximo 2,2 mm/dia. O acompanhamento da

variação da umidade no perfil do solo foi feito por quatro conjuntos de tensiômetros instalados próximo à quatro plantas da área experimental.

Os elementos meteorológicos como temperatura do ar, umidade relativa, precipitação, velocidade e direção do vento e radiação incidente (radiação global) foram registrados numa estação meteorológica automática do Sistema INMET (Registro A-322) instalada a aproximadamente 4 km da área. Ainda, no centro da área experimental foram instalados um piranômetro para determinação da radiação incidente e dois psicrômetros de termopares para medidas de temperatura do ar e umidade relativa. Na área experimental, todos os dados coletados, exceto dos tensiômetros, foram registrados automaticamente através de um sistema de aquisição e armazenamento de dados, “datalogger” da Campbell Scientific, modelo CR23X, com amostragem de leituras a cada 30 segundos e médias armazenadas a cada 15 minutos.

### 3.2 - Descrições das medidas realizadas

Para a estimativa da área foliar foram retirados os ramos de 3 plantas representativas da mesma área do estudo, separadas as folhas em terços inferior, médio e superior, determinadas as massas frescas de cada porção (terço) e retirada uma amostra de 20% a base de peso para efetuar as medições dos comprimentos das folhas e determinada a área foliar, segundo a equação 3, proposta por Viudes et al. (2004):

$$Af = 0,224 * C^{2,1173} \quad R^2=0,96 \quad (3)$$

onde C é o comprimento medido em cm e Af é a área foliar dada em cm<sup>2</sup>.

Estabelecidas as proporções da área foliar total de cada terços, adotou-se o número de folhas do terço médio como representativo para se determinar a área foliar total das 24 plantas do experimento por método não destrutivo, ou seja, contando-se o número de folhas do terço médio (considerando um comprimento médio de folha de 8,3 cm) e realizando o somatório dos resultados da equação 3. A área total de cada planta foi obtida da área estimada no terço médio em relação à planta toda.

Foi estimado o diâmetro do tronco por meio da medida do perímetro. Para isso, utilizou-se fita crepe colada em torno do mesmo e ajustada suas extremidades



de acordo com o calibre do tronco, removida e colada em papel para posterior medição com régua. Essa medida foi tomada a aproximadamente 12,5 cm do colo da planta.

Para a determinação da altura de planta foi utilizada uma mira falante, (equipamento de uso em topografia), a qual foi colocada próxima à planta e fotografada no nível de sua altura máxima. As medidas de altura foram feitas com base nas análises das fotos.

Foi medida ainda a tensão de água no solo com o uso de tensiômetros. Esses foram construídos no laboratório na Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE) com tubos de PVC e cápsula porosa. Os orifícios no solo para instalação dos tensiômetros foram feitos com trado de rosca. Antes da inserção no solo foi feito uma pasta com água e solo e colocando-se uma pequena porção no final do orifício. Esse procedimento visa melhorar o contato da cápsula com o solo. As quatro estações tensiométricas, cada uma com 5 tensiômetros foram instalados nas profundidades de 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 e 1,0 m, correspondendo as camadas de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-1,2 m, respectivamente. A leitura dos tensiômetros foi realizada pelo uso de tensímetro digital (Figura 1).



Figura 1 - Estação tensiométrica composta por tensiômetros de punção (A) e leitura realizada por tensímetro digital (B)

O solo foi analisado fisicamente e sua textura classificada como franco argilo-arenoso. Também foi obtida a curva característica pelo método do funil e nos pontos

de capacidade de campo e ponto de murcha permanente, pelo Extrator de Richards. Todas as análises foram feitas no Laboratório de Física de Solo da UFRPE. A caracterização da umidade do solo no campo foi feita com base nas leituras dos tensiômetros realizada a cada 2 dias, em média. Aplicando os valores de tensão na curva característica de umidade, obtida utilizando o programa TableCurve foi obtida a equação que descreveu a curva característica (Figura 2).

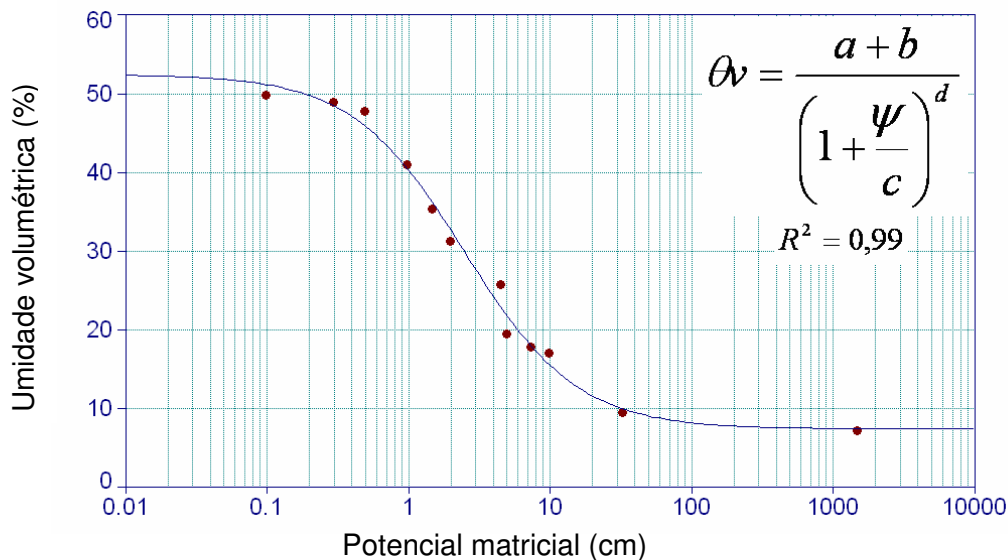


Figura 2 - Curva característica na camada de 20 a 40 cm (referente à profundidade de 30 cm) do solo no local do estudo

Sendo,  $\theta_v$  a umidade volumétrica e  $\psi$  a leitura de tensão no tensiômetro e  $a=7,3232241$ ,  $b=45,006681$ ,  $c=2,4890474$  e  $d=1,0936303$  (coeficientes gerados pelo programa).

### 3.3 - Estimativa da evapotranspiração de referência

A estimativa da evapotranspiração de referência foi feita com os dados dos elementos meteorológicos obtidos na estação meteorológica automática do sistema do INMET, localizada a 4 km da área experimental. Para o cálculo da ETo foi utilizado o modelo de Penman-Monteith, parametrizada por Allen et al. (1998), descrito de acordo com a equação 4:

$$ET_0 = \frac{0,408 * s(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{hr} + 273} u_2 * \Delta e}{s + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

Em que:

$ET_0$  - evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>)

$R_n$  - radiação líquida na superfície da grama (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$G$  - fluxo de calor do solo\* (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)

$T_{hr}$  - temperatura média do ar (°C)

$s$  - declividade da curva de pressão de saturação a  $T_{hr}$  (kPa °C<sup>-1</sup>)

$\gamma$  - constante psicrométrica, 0,063 (kPa °C<sup>-1</sup>)

$u_2$  - média horária da velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>)

$\Delta e$  – déficit de saturação de vapor do ar (kPa)

\* Os autores do método recomendam considerar  $G$  nulo quando não se tem medidas de fluxo de calor no solo.

### 3.4 - Construção, calibração e instalação dos sensores

Na construção das sondas de dissipação térmica foram utilizadas 2 agulhas de aço inoxidável de tamanho 40 x 18 (uso veterinário). Com auxílio de uma lima fina as agulhas foram cortadas no comprimento desejado (2,5 cm, correspondente ao raio médio dos caules dos cafeeiros avaliados). Ainda com a lima fez-se o desbaste da extremidade cortada da agulha, conferindo-lhe um acabamento levemente arredondado (sem arestas). Um fio de termopar tipo T com 0,011mm de diâmetro e comprimento de 28 cm foi dividido ao meio, em seguida separou-se o fio de constantan de um dos pedaços de 14 cm de termopar, descartado-se o condutor de cobre. Esse condutor de constantan de 14 cm foi utilizado para confeccionar a resistência aquecedora do sensor (resistência aproximada cerca de 6 ohms). A etapa seguinte foi confeccionar o cabo que liga os sensores ao sistema de registro de dados e fonte de corrente. Para isso, foi utilizado 50 cm de cabo emborrachado de 4 vias (4 x 0,14 mm<sup>2</sup>), o qual foi desencapado 8 cm nas extremidades (Figura 3A), reservando o isolador externo retirado de uma das extremidades desse cabo para ser usado como isolador do termopar que une as duas agulhas. Nesse isolador de 8 cm foi feito um furo central de aproximadamente 2 mm de diâmetro, sendo

inserido nesse furo os 4 condutores expostos do cabo desencapado, fazendo sair 3 condutores por uma das extremidades da capa isoladora e o quarto condutor sair na extremidade oposta. Em seguida os termopares foram ligados em série, unidos pelo o condutor de constantan ao centro, e, restando duas extremidades em cobre, uma para ligar em um dos condutores da extremidade que contém 3 fios e a outra no condutor da extremidade oposta da capa (isolador). Um fio de constantan de 14 cm, reservado anteriormente, foi enrolado com auxílio de lupa em torno do termopar (Figura 3B) ligado do lado do circuito que continha os 3 condutores e ligou - se suas extremidades aos 2 condutores restantes. Esse fio de constantan enrolado em torno do termopar servia como resistência da sonda dissipadora de calor.

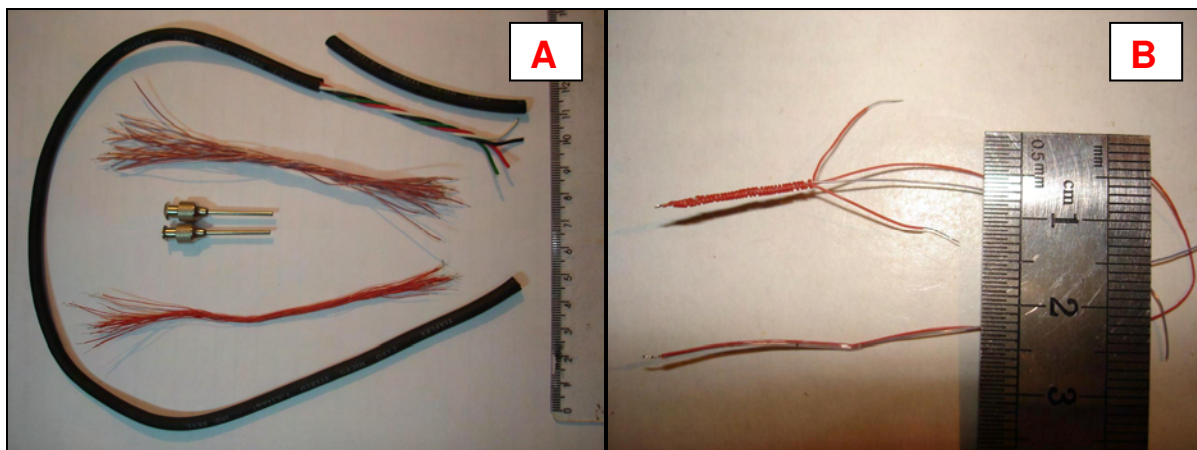


Figura 3 - Materiais utilizados na construção do sensor (A) e ligação dos termopares com a resistência (B)

As junções termoelétricas foram isoladas com verniz apropriado (isolante usado em eletrônica) e após secagem, inseriu - se os termopares nas agulhas. Em seguida revestiu-se todas as ligações (soldagem) dos cabos. Para isso, utilizou-se cerca de 3 cm de termocontráctil de 2,5 mm de diâmetro. Posteriormente, um termocontráctil com 12 cm de comprimento e 10 mm de diâmetro foram utilizado para recobrir as bases das agulhas e os cabos internos (Figura 4A). Nessa operação foi necessário aplicar ar quente fornecido por um soprador térmico.

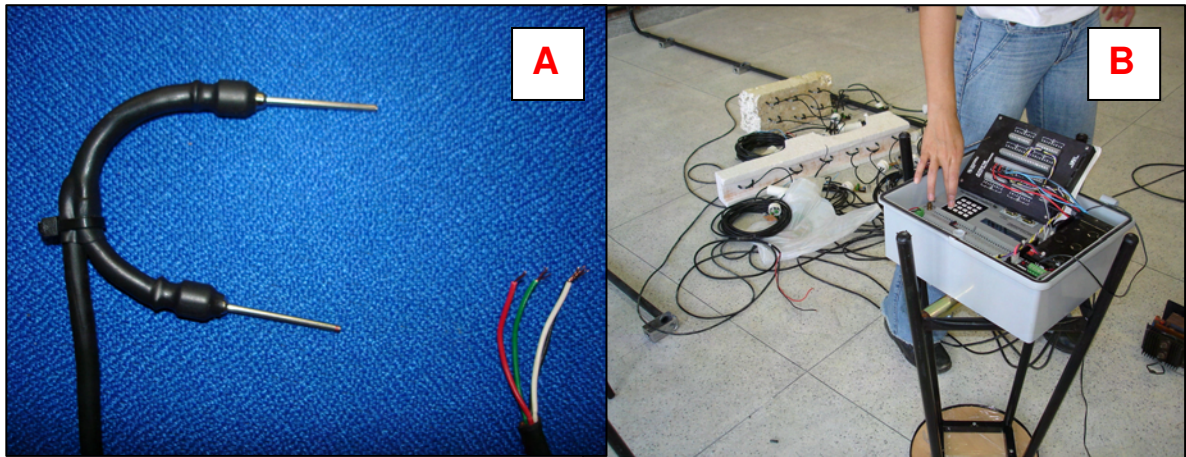


Figura 4 - Sensor de dissipação térmica (A) e calibração do sensor feita em meio isotérmico (B)

Um circuito regulador de corrente foi construído para cada sensor de dissipação (Figura 5). O objetivo desse circuito era manter a corrente constante, conseqüentemente, a potência dissipada, mesmo se a tensão variar entre 3 e 40 volts.

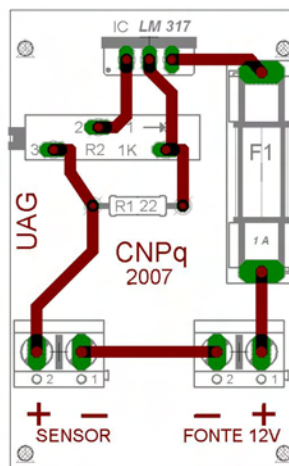


Figura 5 - Circuito do regulador de corrente constante

A partir da medida da resistência do circuito montado e através da equação da 1ª lei de Ohm (equação 5), calculou-se a corrente que deveria ser ajustada no circuito. Esse ajuste era feito por meio do potenciômetro de 1K, com auxílio de um multímetro na função “medida de amperagem”, conectado em série ao circuito:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad (5)$$

em que, I é a corrente dada em Ampere (A), P é a potência dada em Watts (W) e R é a resistência dada em Ohm ( $\Omega$ ). As leituras das resistências feitas através de

multímetro digital variaram entre 5,4 e 6,1  $\Omega$  permitindo uma corrente de 0,18 e 0,19 A. A fonte de alimentação dos circuitos de corrente constante dos sensores foi uma fonte regulada de 12 V ligada na rede elétrica local.

Antes da instalação no campo os sensores foram calibrados no laboratório. Eles foram inseridos em meio isotérmico (isopor), mantidos a mesma altura do solo e ligados ao sistema de aquisição de dados para registrar as leituras (Figura 4B). Foi verificada a variabilidade entre os sensores e realizados os ajustes necessários para uniformização da potência dissipada em 0,2 W. Através do regulador de corrente constante foi possível calibrar as temperaturas dos sensores com mínimas variações entre elas.

O sensor montado para esse experimento sofreu algumas modificações daquele proposto por Granier (1985) já que todo o conjunto (termopar + resistência) está inserido no interior da agulha. Com isso, o sensor tornou-se mais compacto, mais resistente ao manuseio de inserção e/ou remoção na planta sem causar danos aos elementos do circuito e à exposição às variações climáticas, bem como à resistência dos tecidos vasculares da planta, possibilitando a reutilização dos sensores em outros experimentos.

### **3.5 - Montagem do experimento**

Para inserir cada sensor no tronco, previamente foi feita retirada de ramos e galhos abaixo da altura de inserção dos sensores (brotos “ladrões”) e em seguida o caule da planta foi perfurado até o centro no sentido transversal ao tronco a 10 cm do solo e o segundo furo 5 cm acima do primeiro. Introduziu-se em cada furo um tubo de latão de 2,5 mm de diâmetro e 30 mm de comprimento. Esse tubo servia para facilitar a inserção dos sensores e a troca de calor entre o sensor e o caule da planta.

Realizou-se sorteio para definir a posição de inserção do sensor em cada planta de acordo com os pontos cardeais (Figura 6). A região de instalação dos sensores foi isolada termicamente cobrindo-se com plástico-bolha, para evitar o efeito da incidência da radiação eletromagnética sobre as medidas, a infiltração de água e ataques de insetos.

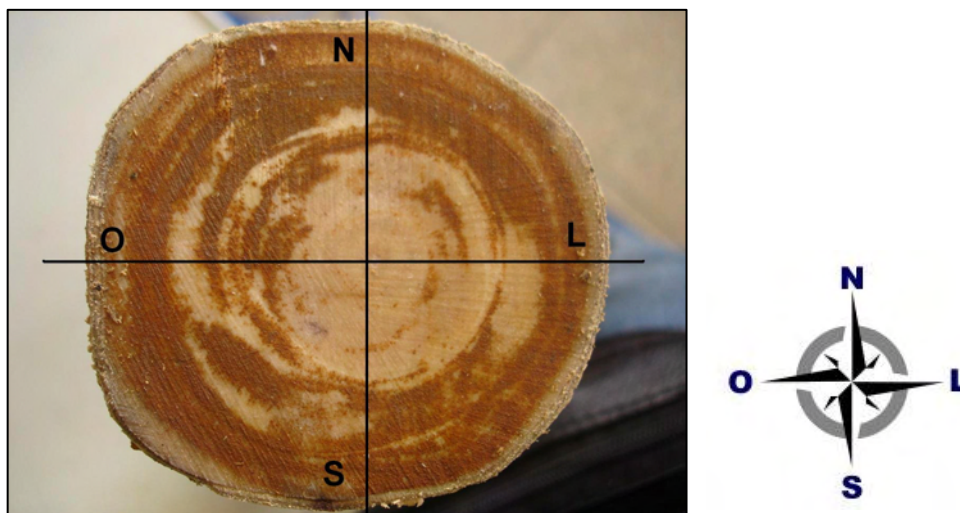


Figura 6 - Representação esquemática do ângulo de inserção dos sensores nos quadrantes amostrados em cada planta

O experimento foi instalado no início da Primavera com a inserção dos sensores nas plantas previamente selecionadas. Os cafeeiros apresentavam copa bem formada e intensa folhagem. Nessa época, o estágio fenológico se constituía de gemas florais entumescidas, ou seja, antes do lançamento dos botões florais.

A área efetiva de fluxo de seiva foi adotada como a área de toda a seção reta do tronco. Segundo Tavares (1993), citado por Delgado-Rojas (2003), o valor de  $\Delta T_{\text{máx}}$  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. Numa escala temporal diária e em ausência de stress hídrico severo, considera-se que este valor equivale à transpiração. Isto é, o fluxo de seiva integrado em 24 horas correspondeu à transpiração máxima diária da planta (Granier, 1985).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado constituído por quatro tratamentos e seis repetições, totalizando 24 parcelas ou plantas avaliadas. Os tratamentos foram relacionados à posição de inserção dos sensores sendo direcionados para o Norte, Sul, Leste ou Oeste. Os dados foram analisados por análise de variância, utilizando-se o programa SAS<sup>®</sup> (Statistical Analysis System, 2002), as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de significância.

A Figura 7 abaixo apresenta a disposição das plantas amostradas no campo, bem como a posição dos equipamentos de alimentação e aquisição de dados.

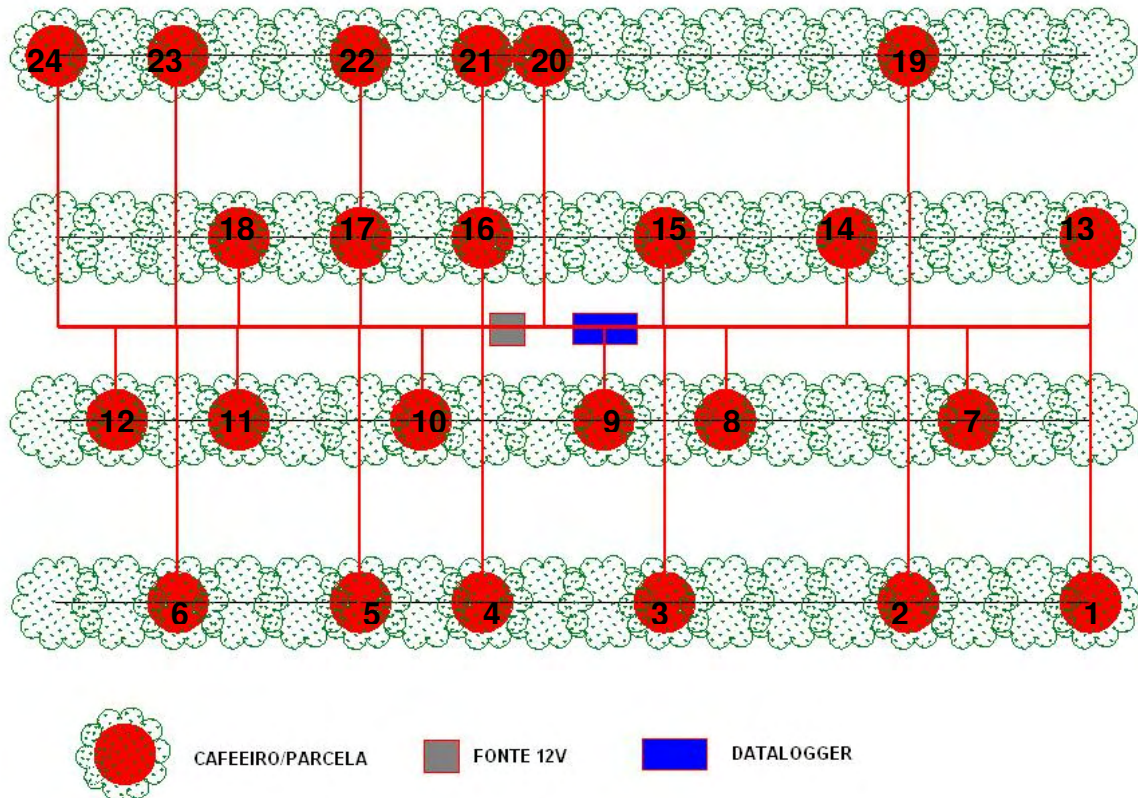


Figura 7 - Representação esquemática das parcelas experimentais no cultivo de café

### 3.6 - Medidas de fluxo de seiva

A medida do fluxo de seiva foi feita pelo método de dissipação de calor. O sistema consiste na inserção perpendicular ao tronco de duas sondas distanciadas entre si de 5 cm, na mesma linha vertical, ou seja, em direção ao eixo do tronco. A sonda superior era aquecida de forma constante com fornecimento de potência elétrica de 0,2 Watts de dissipação de calor. A variação da diferença de temperatura entre a sonda aquecida (superior) e a não aquecida (inferior) em cada instante foi determinada pelo transporte convectivo de calor através da seiva. Assim, a máxima diferença entre as duas sondas em um período significava que o fluxo de seiva foi mínimo ou nulo, enquanto que a mínima diferença significava uma taxa máxima de fluxo de seiva através dessa área de transporte (Granier, 1987). As diferenças de temperaturas dos sensores do experimento foram registradas em "datalogger" marca Campbell, modelo CR23X e um multiplexador de canal do mesmo fabricante, com amostragem de leituras a cada 30 segundos e médias armazenadas a cada 15



minutos. Na Figura 8 observam-se as duas sondas que compõem o sensor de Granier.

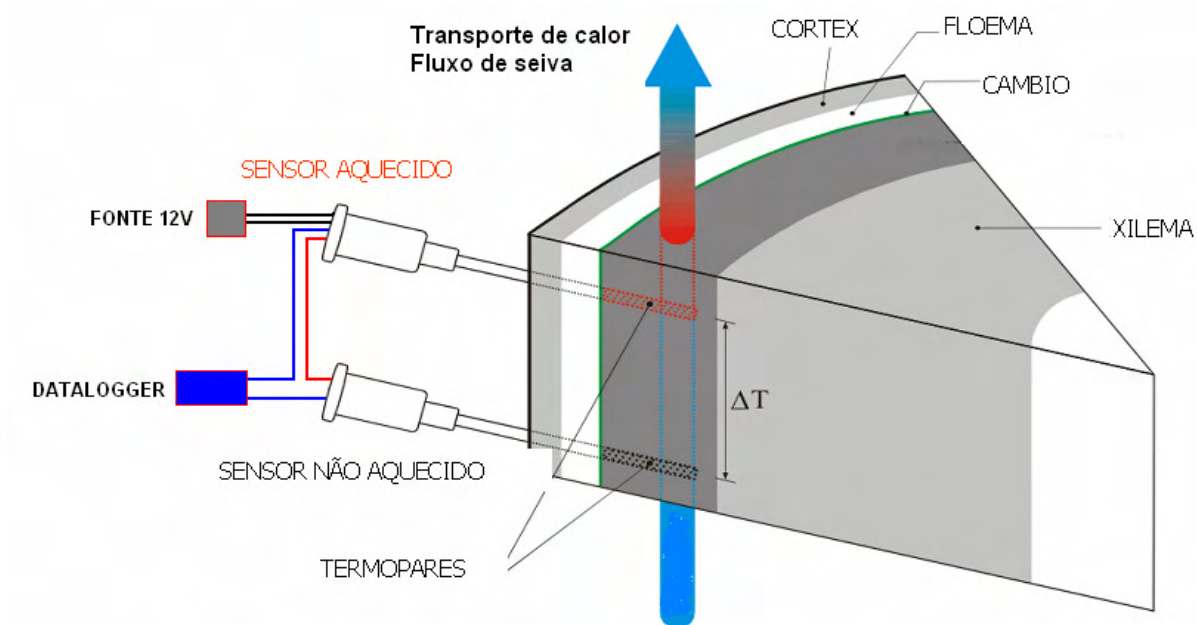


Figura 8 - Esquema do sensor de Granier inserido perpendicularmente no tronco

As modificações realizadas nos sensores inicialmente forneceram dados de diferenças de temperaturas entre os sensores, superiores aos observados em outros trabalhos (Marin, 2003; Paço, 2003; Karasawa, 2006), inclusive em relação ao estudo do Granier, por isso, foi necessário realizar uma calibração para obtenção de uma nova equação que correspondesse a valores equivalentes às leituras obtidas de fluxos de seiva no cafeeiro nas condições estudadas.

### 3.7 - Calibração da Equação de Granier

Para a calibração foi construída uma câmara de calibração de fluxo de seiva (Figuras 9 e 10). Essa câmara é constituída por uma bomba de compressão de ar utilizada por manter a pressão constante, um cilindro reservatório de água, uma câmara de pressão feita de aço inox com uma das extremidades em forma de cone invertido, ou seja, voltado para dentro do cilindro e este cone revestido com neoprene, duas hastes de rosca para facilitar a fixação do tronco a câmara de calibração e uma célula de carga para quantificar o volume da água que passa pelo tronco (peso da água, considerando densidade igual a 1). Esse sistema hidráulico foi

construído conforme descrito por Fernandes et al. (2001), Delgado-Rojas et al. (2006) e Delgado-Rojas (comunicação pessoal).

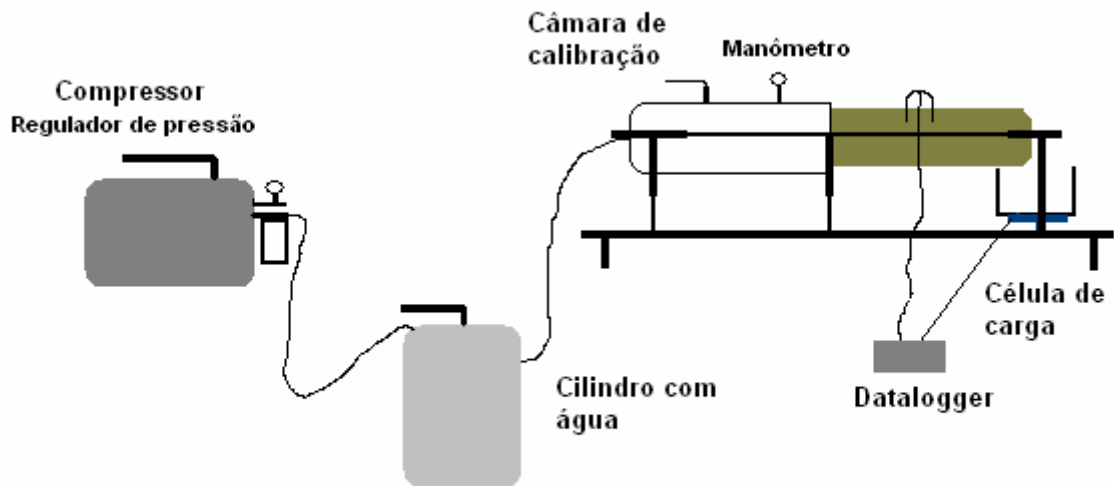


Figura 9 - Representação esquemática da câmara de calibração de fluxo de seiva para simulação do fluxo de seiva



Figura 10 - Câmara de calibração de fluxo de seiva

Foi usada uma seção do tronco de cafeeiro de cerca de 30 cm, após o corte o tronco foi imerso imediatamente em água até o momento do acoplamento à câmara de calibração. Esse procedimento foi realizado para minimizar a entrada de ar pelos vasos lenhosos que causaria restrição ao fluxo. O diâmetro do caule utilizado era um pouco inferior ao da câmara, para permitir uma perfeita vedação pelo neoprene. A

bomba de compressão forçava a água do reservatório a passar pela seção do tronco. Um reservatório coletor montado sobre uma célula de carga (precisão de 0,01 g) coletava a água na outra extremidade do tronco. Tanto as leituras da diferença de temperatura entre as sondas do sensor de fluxo de seiva, quanto os volumes de água coletados no reservatório para cada pressão aplicada eram registrados por um datalogger. As pressões aplicadas foram de 10, 50, 75, 100, 125 e 150 kPa, semelhante as utilizadas por Braun & Schmid (1999). O teste de calibração do método de Granier utilizando a câmara de calibração de fluxo de seiva foi realizado em 4 repetições. No procedimento de calibração foi inserido no tronco um par do sensor de Granier, com a sonda aquecida a montante da sonda de referência (não aquecida), espaçadas 5 cm entre si, para medir a diferença de temperatura entre as sondas que variava com a taxa do fluxo forçado de água. Para cada intensidade de pressão aplicada mantinha-se constante por 20 minutos e em seguida aplicava-se pressão maior. Para se obter a máxima diferença de temperatura entre os sensores, isto é, quando o fluxo é zero, a bomba de compressão de ar era desligada.

Todos dados eram armazenados no sistema de aquisição de dados ou "datalogger" da Campbell Scientific, modelo CR10X, com amostragem de leituras a cada segundo e médias armazenadas a cada 1 minuto.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Caracterização meteorológica no período experimental

No período avaliado, entre os meses de setembro de 2007 e janeiro de 2008, não houve intensa variação nas condições climáticas para a área de estudo. Em relação às temperaturas médias diárias do ar, observou-se menores valores no mês de outubro em torno de 21°C, com aumento a partir de novembro, se mantendo em torno de 23°C. A umidade relativa média diária em setembro foi de 75% e a partir de novembro e se manteve entre 66 e 67%. A variação temporal dos valores de temperatura média diária do ar e umidade relativa está apresentada na Figura 11, Na Figura 12 representa-se a variação temporal da radiação solar, que foi menor no mês de outubro com média de 21,58 MJ m<sup>2</sup> d<sup>-1</sup> e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) média de 4,9 mm d<sup>-1</sup> para todo o período. Essa variação observada dos parâmetros no mês de outubro com relação aos demais meses ocorre devido às características da região, que ainda em outubro ocorrem dias de intensa nebulosidade, baixa insolação, baixa temperatura, alta umidade relativa, elementos típicos nessa região no início da primavera.

Para o período não houve precipitação significativa, a máxima diária foi 2,2 mm, num total acumulado de 21,4 mm. De acordo com Lira et al. (2006), em estudo feito com as médias históricas da precipitação entre os anos de 1960 – 2000 esses são os meses menos chuvosos em Garanhuns, no qual a menor média observada foi no mês de outubro entre 1981-1990, que alcançou 9,3 mm.

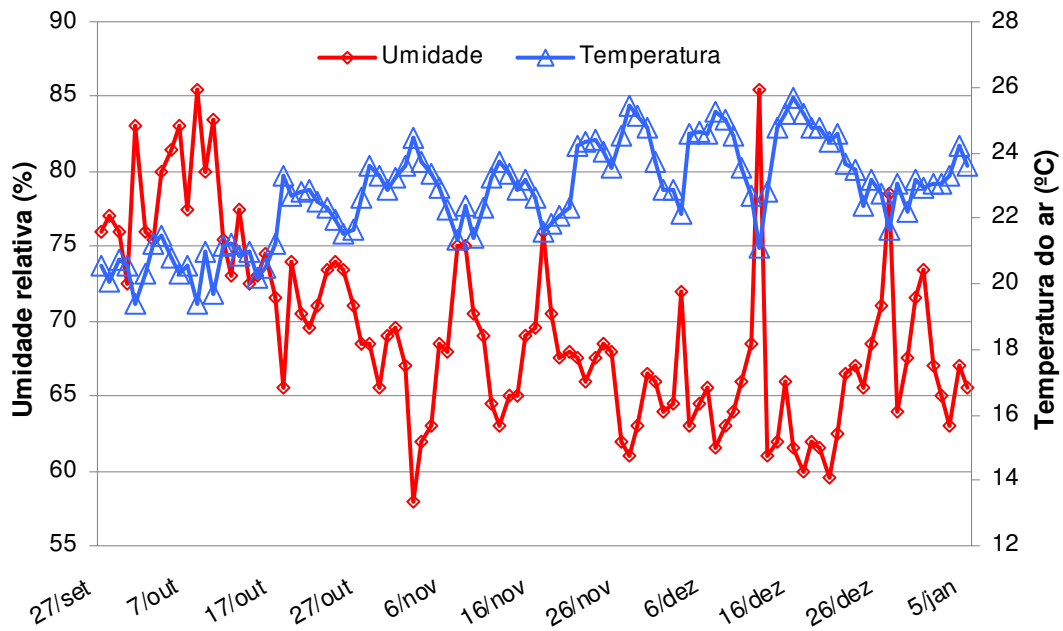


Figura 11 - Variação diária da temperatura média do ar e da umidade relativa no período de 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE

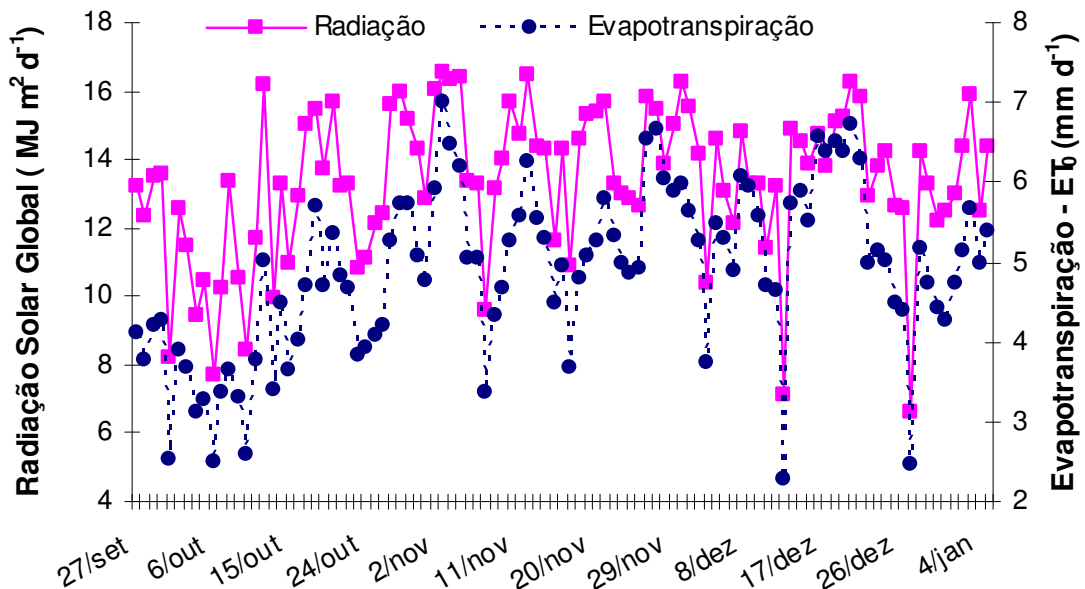


Figura 12 - Variação diária da evapotranspiração de referência e radiação solar global no período de 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE

Os valores das leituras dos tensiômetros estão apresentados na Figura 13 e pode ser observado que a maioria das leituras se concentraram entre 10 e 50 kPa,

excetuando a de 10 cm, em função, principalmente da intensa concentração de raízes na camada mais superficial do solo.

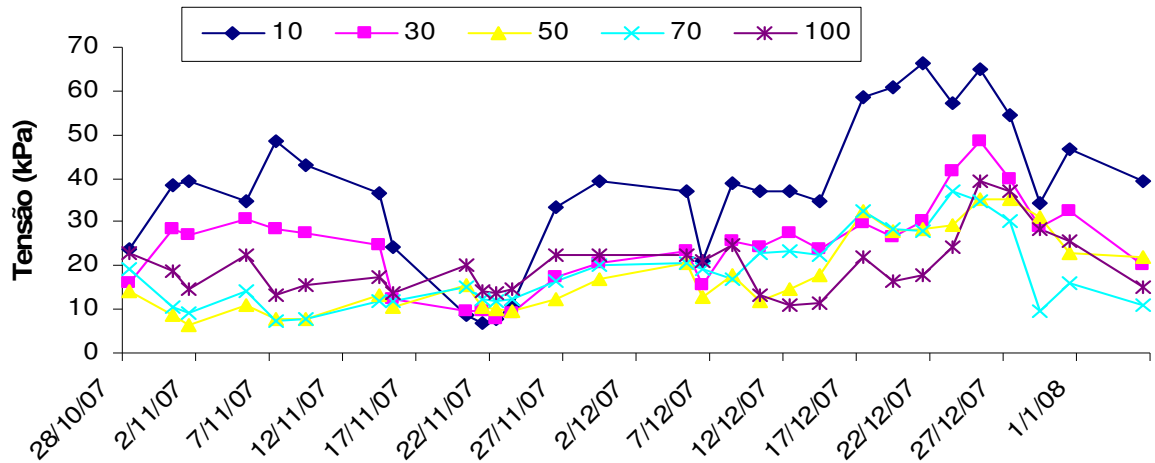


Figura 13 - Variação da tensão da água no solo nas diferentes profundidades de 10, 30, 50, 70 e 100 cm, avaliados de outubro a janeiro na área do experimento.

#### 4.2 - Biometria do cafeeiro

Para a caracterização das plantas avaliadas foram mensuradas algumas variáveis fitométricas (Tabela 2), conforme descrito na metodologia.

Em relação à altura das plantas e o diâmetro do tronco não variaram muito, em média 2,27 e 5,27 cm, respectivamente. Dentre as medidas realizadas, a que apresentou maior amplitude foi a área foliar com mínima de 3,67 m<sup>2</sup> por planta e máxima de 12,25 m<sup>2</sup>.

Tabela 2 - Altura da planta, perímetro, diâmetro e área da seção reta do tronco, área foliar e ângulo de inserção dos sensores de fluxo de seiva em respectivas plantas

<b>Planta</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Perímetro do tronco (cm)</b>	<b>Diâmetro do tronco (cm)*</b>	<b>Área do tronco (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Foliar (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ângulo de Inserção</b>
1	2,30	15,70	5,00	19,62	4,87	<b>Oeste</b>
2	2,17	17,90	5,70	25,50	3,67	<b>Norte</b>
3	2,40	17,10	5,44	23,27	8,82	<b>Norte</b>
4	2,40	17,30	5,51	23,82	12,25	<b>Norte</b>
5	2,40	14,90	4,74	17,67	10,44	<b>Leste</b>
6	2,47	15,20	4,84	18,39	7,36	<b>Oeste</b>
7	2,40	17,00	5,41	23,00	6,25	<b>Sul</b>
8	2,50	17,30	5,51	23,82	10,18	<b>Sul</b>
9	2,39	19,80	6,30	31,20	10,61	<b>Norte</b>
10	2,42	18,60	5,92	27,53	10,41	<b>Oeste</b>
11	2,36	17,10	5,44	23,27	5,49	<b>Oeste</b>
12	2,08	15,70	5,00	19,62	5,74	<b>Sul</b>
13	1,91	15,90	5,06	20,12	4,36	<b>Sul</b>
14	2,20	15,90	5,06	20,12	5,46	<b>Leste</b>
15	2,25	17,00	5,41	23,00	6,15	<b>Leste</b>
16	2,26	16,40	5,22	21,40	4,87	<b>Norte</b>
17	2,38	17,30	5,51	23,82	5,83	<b>Sul</b>
18	2,00	14,90	4,74	17,67	5,70	<b>Leste</b>
19	2,11	16,00	5,09	20,37	7,25	<b>Leste</b>
20	2,18	14,30	4,55	16,27	3,76	<b>Oeste</b>
21	2,33	15,80	5,03	19,87	6,75	<b>Oeste</b>
22	2,35	17,10	5,44	23,27	9,30	<b>Leste</b>
23	2,24	17,50	5,57	24,37	9,31	<b>Norte</b>
24	2,03	16,20	5,16	20,88	5,22	<b>Sul</b>

\*diâmetro estimado a partir do perímetro ( $2\pi r$ )

### 4.3 - Equação da calibração

Esse método de medida de fluxo de seiva apesar da simplicidade de confecção e instalação ainda apresenta numerosas fontes de erros, mas que podem ser solucionadas para utilização na agricultura. Uma das fontes de erros é a equação de calibração para as espécies exploradas comercialmente, pois a equação adotada como universal foi desenvolvida para clima temperado. Para fazer a nova calibração foram utilizados os dados obtidos das variáveis térmicas (K) do tronco do cafeeiro na câmara de calibração de fluxo de seiva e aplicada para a obtenção da densidade de fluxo (u), com isso foi obtida a função que descreveu a curva de calibração dos sensores modificados, obtendo-se novos coeficientes (Figura 14).

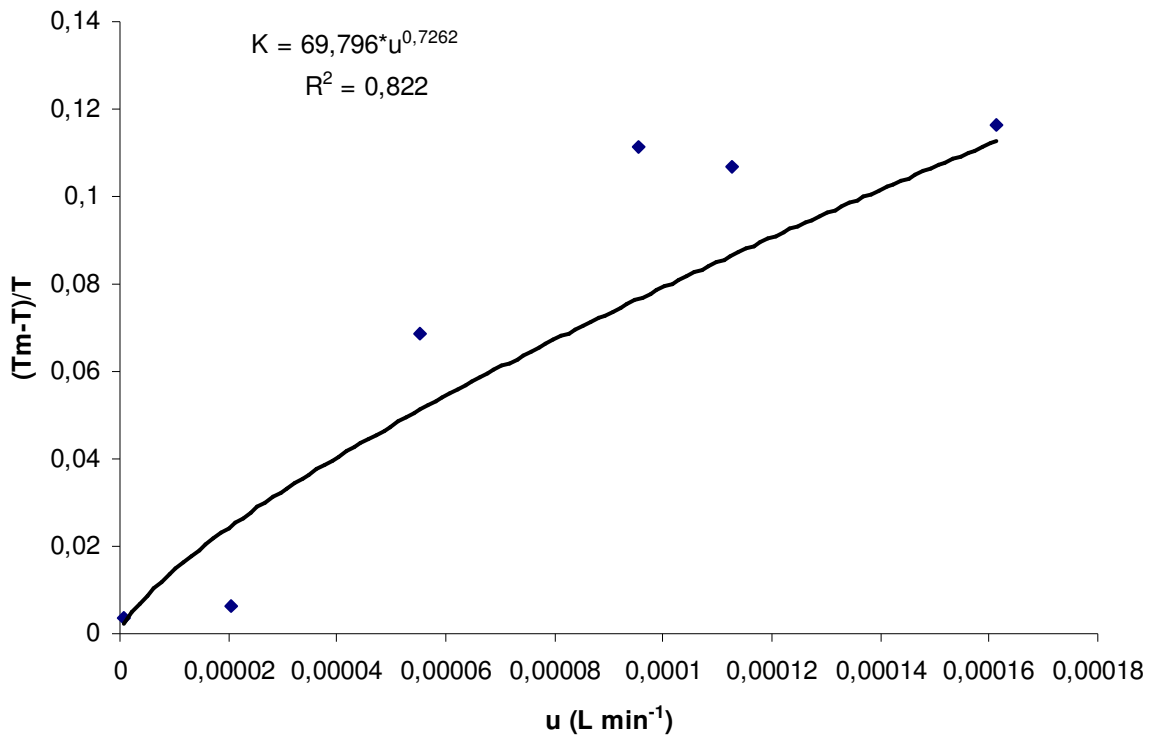


Figura 14 - Relação entre  $u$  (densidade de fluxo de seiva) e  $K$  ( $(T_m - T) / T$ ) obtidos na câmara de calibração de fluxo de seiva

A equação obtida a partir da regressão potencial dos dados foi invertida para obtenção da densidade de fluxo de seiva  $u$  em função da diferença de temperatura entre os sensores  $k$ , como recomendado por Granier (1985), resultando na equação 6.

$$F = 0,00312951 * K^{1,3583} * SA \quad (6)$$



Com a equação obtida foi possível obter os valores de transpiração do cafeeiro para as condições de estudo, bem como fazer comparações com os elementos meteorológicos para identificar aqueles que mais afetam no consumo hídrico das plantas.

Smith & Allen (1996), citado por Paço (2003), salientam que os parâmetros utilizados na calibração da equação de Granier não dependem das características das árvores ou da anatomia da madeira, mas se fundamenta nos princípios físicos que regem a transferência de calor e recomendam assim a calibração do método para espécies em que nunca foi validado.

Granier (1985) e Valancogne & Granier (1991), citados por Paço (2003), estabeleceram a relação  $u = 118,99 * 10^{-6} * k^{1,231}$  em *Pseudotsuga menziesii*, pinheiro (*Pinus nigra*), carvalho (*Quercus pedunculata*), macieira (*Malus domestica*) e castanheiro (*Castanea sativa*). Esta calibração foi também posteriormente confirmada em três espécies arbóreas tropicais (*Eucalyptus deglupta*, *Anacardium excelsum* e *Bursera simaruba*) por Clearwater et al. (1999) e por Braun & Schmid (1999) em videira. Cabibel & Do (1991) referem-se a uma calibração muito próxima desta, realizada em macieira, carvalho, castanheiro e numa fibra sintética, obtendo:

$$u = 136,83 * k^{1,2997} \quad (7)$$

Silva (2003), citado por Karasawa (2006), verificou que em condições de laboratório a equação de calibração obtida para cafeeiro tinha diferido muito pouco da original de Granier (1985) e Granier (1987). A equação obtida por Silva (2002), citada por Paço (2003) é:

$$u = 17697 * e^{2,4494 * K} \quad (8)$$

Delgado-Rojas et al. (2006) obteve em cafeeiro, trabalhando com câmara de calibração a seguinte equação:

$$u = 162,58 * 10^{-6} * k^{1,172} \quad (9)$$

#### 4.4 - Avaliação do método de Granier

O equipamento instalado no campo registrava a diferenças de temperaturas entre as duas sondas dos sensores, como ilustrado na Figura 15. Verifica-se que à medida que o dia amanhece, o fluxo de seiva aumenta e a diferença de temperatura diminui, isto é, a relação entre a temperatura e o fluxo é inversa, pois o fluxo

promove o resfriamento da sonda aquecida diminuindo a variação de temperatura entre as sondas. A Figura 15 apresenta a diferença de temperatura em um dia com intensa radiação solar ( $26 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ ) e a Figura 16 com radiação de  $14 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ , em plantas distintas, e é destacada a variação diária de temperatura, sendo  $2,4^\circ\text{C}$  e  $1,8^\circ\text{C}$ , respectivamente. Essa variação registrada mostra que o sensor apresenta alto coeficiente de resposta em relação às diferenças de temperaturas provocadas pelas mudanças na taxa de transpiração ocorridas durante o dia. Segundo Angelocci (2002), em condição hídrica normal da planta, essa variação do fluxo acompanha normalmente a demanda atmosférica do meio ambiente em função da radiação solar, temperatura, vento, umidade do ar, etc. No período noturno existe ainda um pequeno fluxo de seiva bruta através do tronco, para suprir a deficiência hídrica na parte aérea da planta que ocorre devido à transpiração durante o período diurno; este fluxo tende a se tornar mínimo ou nulo ao final da noite, sob condições de boa disponibilidade hídrica no solo.

Marin (2003) trabalhando com a variedade de cafeeiro Mundo Novo Apuatã com 5 anos de idade na região de Piracicaba, SP e utilizando método de balanço de calor obteve variação de temperatura entre extremidades de no máximo  $12^\circ\text{C}$  e Karasawa (2006), avaliando a cultivar Obatã IAC 1669-20 com 3 anos, em Piracicaba e utilizando o método de Granier obteve diferença de até  $10^\circ\text{C}$  entre sensores, e Paço (2003) em estudo com pessegueiro em Portugal e método de Granier obteve variação de aproximadamente  $9^\circ\text{C}$ . Maiores valores de diferença de temperatura entre as sondas, em média de  $25,5^\circ\text{C}$  conseguida nesse estudo é atribuída principalmente às alterações construtivas proposta nesse trabalho, conforme descrita anteriormente, em relação ao sensor original do método de Granier.

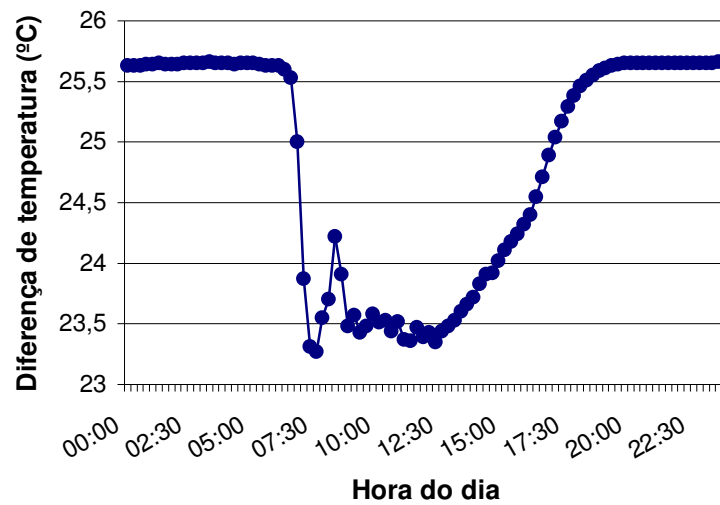


Figura 15 - Variação da diferença de temperatura entre sondas do sensor instalado em uma planta avaliada ao longo de um dia com alta radiação ( $26 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ )

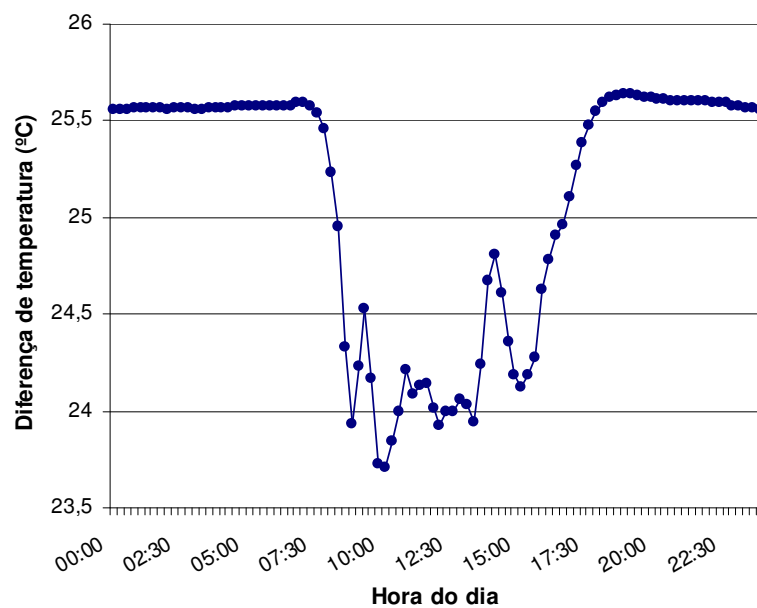


Figura 16 - Variação da diferença de temperatura entre sondas do sensor instalado em uma planta avaliada ao longo de um dia com baixa radiação ( $14 \text{ MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$ )

Na Figura 17 pode ser observado grande variação nas diferenças de temperatura entre sondas dos sensores instalados em cada planta. Para as 4 plantas representadas, com área foliar de 4,87, 5,83, 5,70 e 7,25  $\text{m}^2$  das plantas 16,17,18 e 19, respectivamente, verifica-se que as diferenças variam entre plantas, porém, pode ser destacado que essa variação de temperatura apresenta-se similar

em função da transição entre os períodos diurno e noturno. Isso mostra que a variabilidade pode ser atribuída aos sensores, ou como observado em Paço (2003) característica da própria planta. A Figura 18 apresenta a variação a cada 15 minutos para a diferença de temperatura e irradiância dentro do cafezal entre os dias 14, 15 e 16 de outubro.

Segundo Marin (2003), em geral, há uma tendência dos valores diários de fluxo de seiva acompanharem a variação de saldo de radiação medido no cafezal, apresentando, no entanto, uma amplitude de variação menor, tanto nos dias de elevada disponibilidade de energia, como naquele com baixos valores de saldo de radiação.

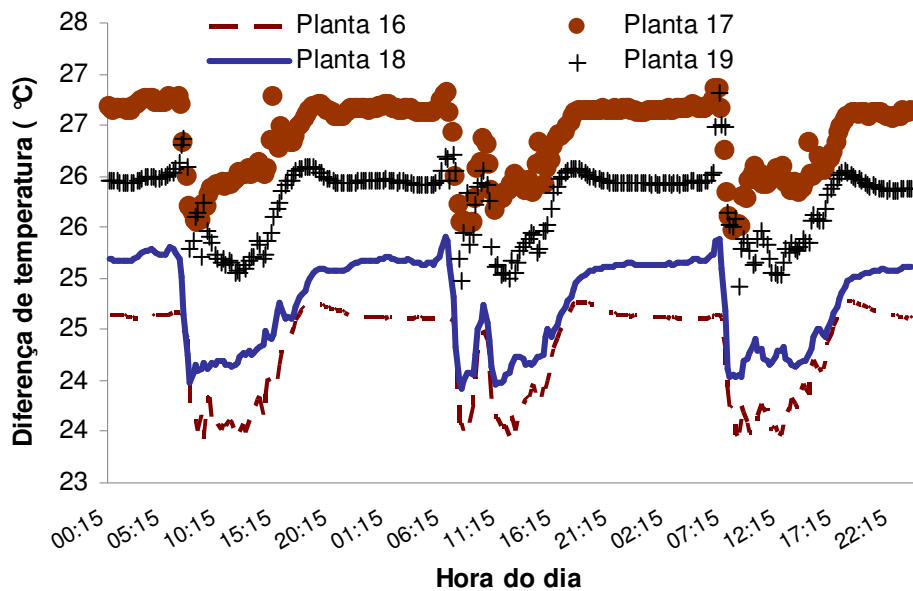


Figura 17 - Variação da diferença de temperatura entre as sondas dos sensores nas plantas 16, 17, 18 e 19 nos dias 14, 15 e 16 de outubro

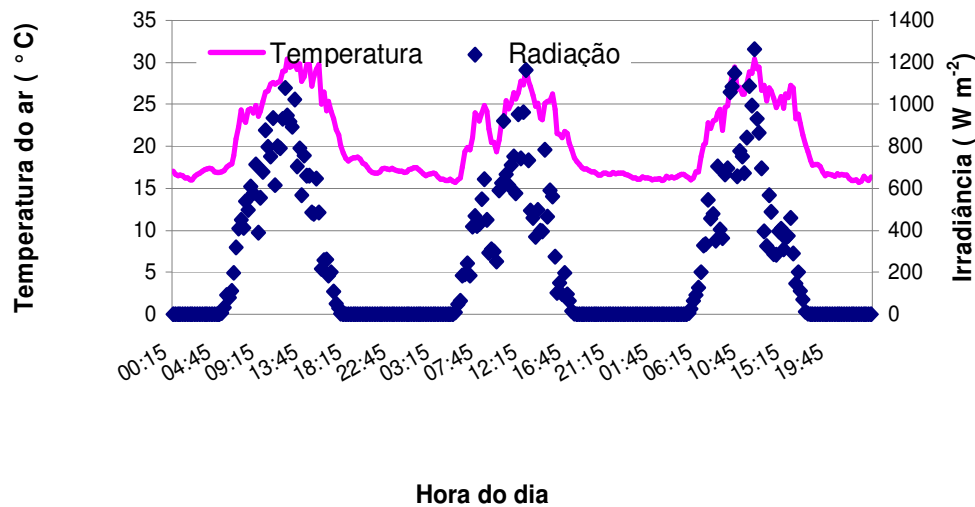


Figura 18 - Valores da temperatura do ar e irradiância nos dias 14, 15 e 16 de outubro, obtidos dentro da área do café

A partir das diferenças de temperatura entre as sondas dos sensores e área efetiva de fluxo de seiva de cada planta aplicados na equação 6, adaptada de Granier (1985), foi possível fazer a estimativa do fluxo de seiva do cafeeiro. Na Figura 19 está representada a densidade de fluxo de seiva de uma planta com leituras a cada 15 minutos e área foliar de 3,67 m<sup>2</sup>. Observa-se que nas primeiras horas do período matutino, a curva tem uma progressão vertical muito rápida. Shackel et al. (1992), citado por Delgado-Rojas (2003), verificaram que este comportamento anormal conduz a superestimativa da taxa de fluxo de seiva, nesse período de tempo. Segundo Delgado-Rojas (2003) tal comportamento pode ser explicado por consideração que, logo após o amanhecer, quando a planta começa a transpirar, o fluxo de seiva começa a aumentar, partindo de uma velocidade mínima (podendo ser nula) e como esta seiva é não aquecida (seiva fresca), ao atingir a parte inferior do segmento aquecido, provoca queda drástica da temperatura naquele ponto, elevando rapidamente a diferença entre a temperatura deste ponto e a do extremo superior do segmento. Como a dissipação de calor convectivo é promovida pelo aumento subsequente do fluxo de seiva, o valor de temperatura da extremidade superior e inferior tende a diminuir, voltando, portanto a sua tendência normal. Essa justificativa é atribuída ao método de balanço de calor, mas tal variação da curva pelo método de Granier é semelhante ao anterior, sendo o argumento compatível.

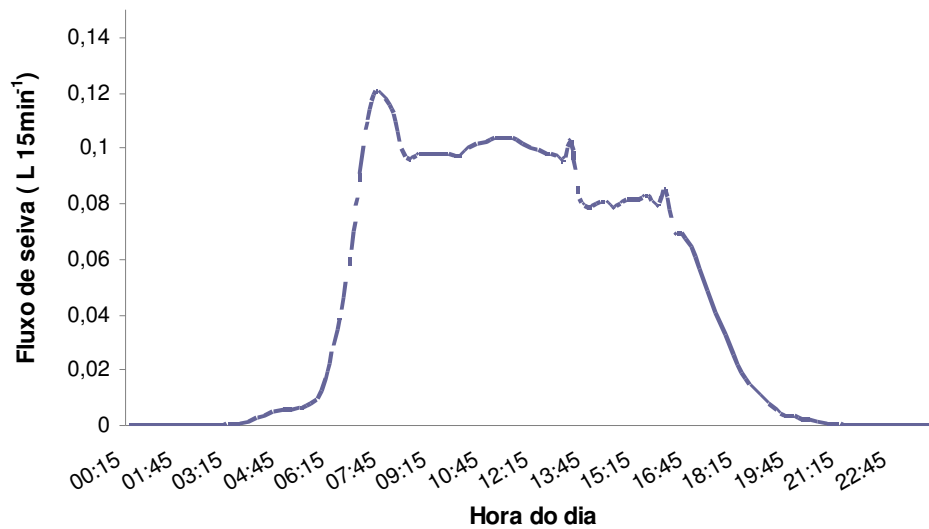


Figura 19 - Valores de densidade de fluxo de seiva de uma planta de café em 24 horas

As plantas representadas na Figura 20 possuíam área foliar de 6,75, 3,76, e 9,3 m<sup>2</sup> por planta e transpiraram respectivamente 4,44, 3,56 e 2,96 litros no dia 9/10 e 4,28, 3,70 e 2,5 litros no dia 10/10. Não houve relação direta da área foliar sobre o fluxo de seiva. Isso pode ser atribuído a presença de folhas velhas, pois as folhas jovens são mais ativas fotossinteticamente e responsáveis pelo somatório da transpiração, restrições de consumo devido à disponibilidade hídrica do solo ou falhas na estimativa da área foliar e do fluxo de seiva.

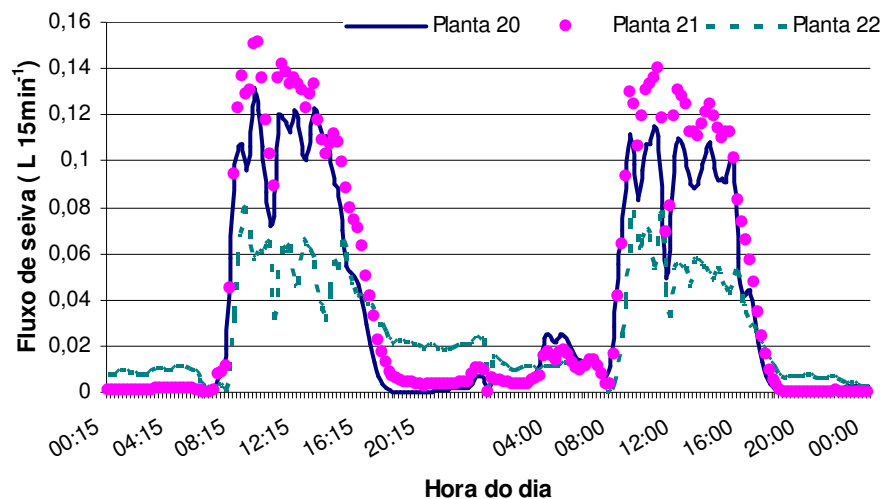


Figura 20 - Variação de densidade de fluxo de seiva em 3 plantas (planta 21, 20 e 22) nos dias 9 e 10 de outubro em cafeeiro

O método de Granier tem sido pouco usado em cafeeiros, tendo-se encontrado os trabalhos de Tausend et al. (2000), Dauszat et al. (2001), Silva (2003) citado por Karasawa (2006) e Delgado-Rojas (2006).

A qualidade das medidas de fluxo de seiva obtidas pelo método de Granier é difícil de ser avaliada em condições de campo, a não ser quando comparado com uso de lisímetros, já que não há outros métodos de medida direta da transpiração de árvores que forneçam resultados mais confiáveis.

Segundo Delgado-Rojas (2003) o uso do método de dissipação térmica resultou em valores diários de fluxo de seiva bastante concordantes com os dados de transpiração medidos pelos lisímetros, usado em plantas de citrus e houve uma dispersão grande dos dados com tendência de superestimativa média de 35% dos valores calculados pelo método de balanço de calor em relação ao método de dissipação térmica. Karasawa (2006) utilizando um fator de 1,3 sobre o fluxo obtido pelo método de Granier obteve a transpiração superestimada em média de 8% dos valores em relação à transpiração diária medida pelos lisímetros.

Segundo Paço (2003) em muitas situações há subestimativa, quando se realizam comparações metodológicas de medidas de fluxo de seiva. Por exemplo, Lundblad et al. (2001) encontraram uma subestimativa de cerca de 50% quando aplicaram o método de Granier em *Pinus sylvestris* e *Picea abies*, em simultâneo com um método de balanço de calor. Wilson et al. (2001), citado por Paço (2003), comparando resultados obtidos por este método em floresta mista de caducifólias, com o método das flutuações instantâneas encontraram subestimativas para a transpiração de cerca de 50 a 60%, obtidas com as copas secas. Para o pessegueiro (Ferreira et al. 1997), citado também por Paço (2003), a transpiração obtida por este método em simultâneo com o método das flutuações instantâneas e com um método de balanço de calor, mostrou também uma subestimativa superior a 30% em relação a ambos.

Paço (2003) obteve em média transpiração pelo método de Granier cerca de 78% inferior ao método do balanço de calor e 84% quando se considera o método das flutuações instantâneas, em escala de tempo horária.

A metodologia adotada nesse trabalho teve o intuito de minimizar as fontes de erros atribuídas ao método como: a calibração da equação de Granier; o tamanho da sonda correspondente ao raio do tronco do cafeeiro e a área efetiva do fluxo de seiva que atravessa a secção reta do tronco. Tais práticas foram decisivas na

determinação do fluxo de seiva pelo método, porém algumas recomendações podem ser feitas como a calibração individual de cada sensor construído e comparação com outro método de medida de transpiração, como por exemplo, a lisimetria.

Quando se compara a transpiração acumulada para todas as plantas no período estudado tem-se a dimensão da escala de consumo de água na fase acompanhada, de acordo com Figura 21. A planta 3 foi descartada na representação da transpiração acumulada por apresentar problemas logo após a instalação. De modo geral, os valores acumulados de consumo hídrico variaram muito, entre 95 e 629 L , mas permite totalizar o consumo para cada planta nas condições do experimento. Na Tabela 3 apresenta-se a transpiração acumulada e área foliar. Observa-se que não houve relação direta entre essas duas variáveis, pois outros fatores, como a proporção folhas novas e velhas, podem interferir mais que o número de folhas nas condições do estudo.

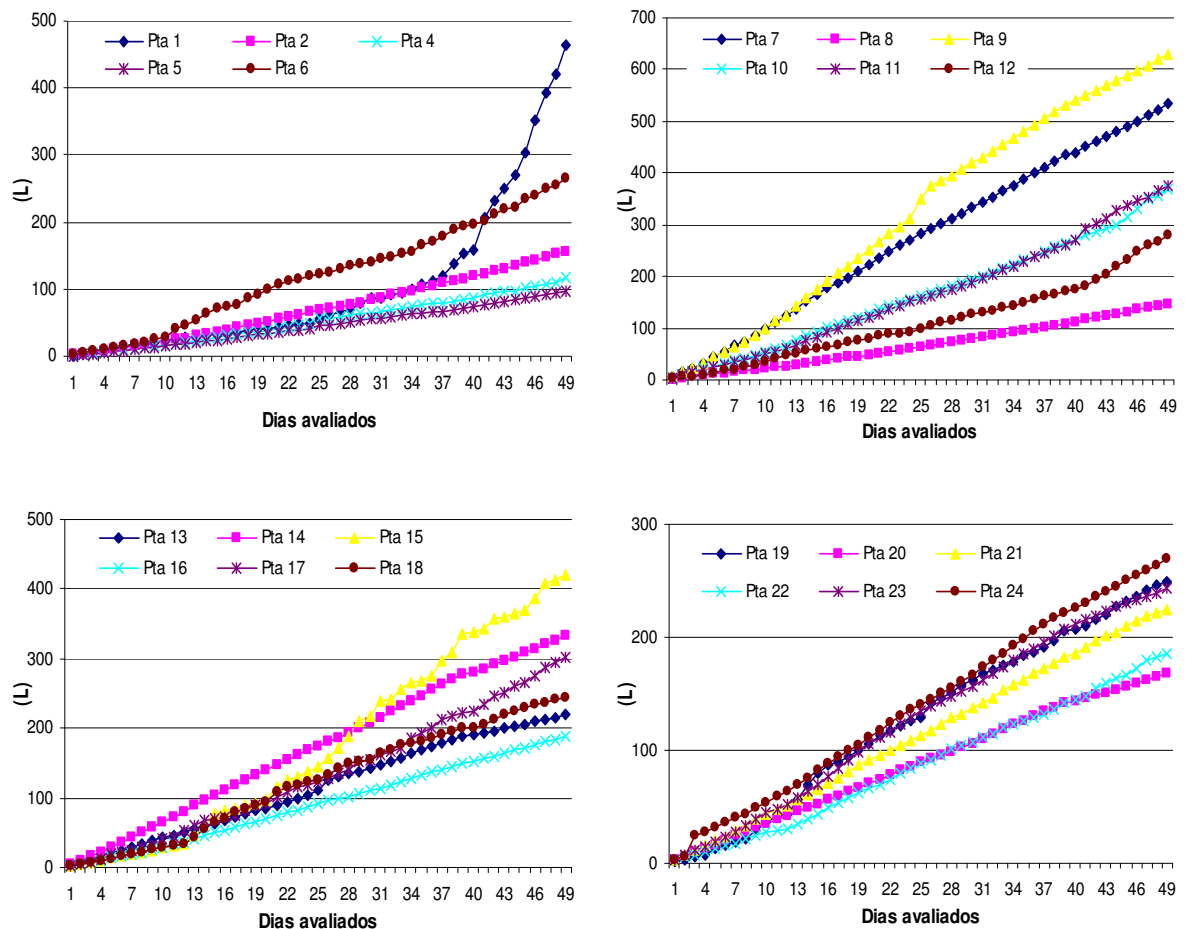


Figura 21 - Transpiração acumulada do cafeeiro para as plantas avaliadas no período de 08/10/07 a 05/01/08 em Garanhuns – PE



Tabela 3 - Transpiração acumulada (L) e área foliar das plantas amostradas no período de 08/10/07 a 05/01/08 em Garanhuns – PE

<b>Planta</b>	<b>Área Foliar (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Transpiração acumulada (L)</b>
1	4,87	465,54
2	3,67	155,95
4	12,25	116,71
5	10,44	95,77
6	7,36	265,53
7	6,25	533,35
8	10,18	146,15
9	10,61	629,21
10	10,41	369,83
11	5,49	374,90
12	5,74	279,42
13	4,36	219,19
14	5,46	332,92
15	6,15	420,87
16	4,87	188,40
17	5,83	302,42
18	5,70	244,03
19	7,25	248,78
20	3,76	167,50
21	6,75	225,32
22	9,30	185,13
23	9,31	244,20
24	5,22	269,11

#### **4.5 - Avaliação quanto ao ângulo de inserção**

Nas avaliações quanto à variação da densidade do fluxo de seiva em função da posição de inserção do sensor, como pode ser observado na Tabela 4, os valores de fluxos variaram muito, apresentando coeficiente de variação entre 34 e 67%. Essa variabilidade de densidades dos fluxos pode ser atribuída à diferença quanto a

própria planta (porte, área foliar, etc.), mas principalmente a modificação promovida no sensor que levou a necessidade de se calibrar uma nova equação.

Tabela 4 - Valores médios de transpiração ( $L d^{-1}$ ) e ângulos de inserção do sensor de Granier no período entre 27/09/07 a 05/01/08, em Garanhuns – PE

<b>Tratamento</b>	<b>(<math>L d^{-1}</math>)*</b>						<b>cv(%)</b>
<b>Norte</b>	3,11	5,83	2,37	12,31	3,72	4,92	67,25
<b>Sul</b>	10,97	2,96	5,48	4,51	5,78	5,27	46,57
<b>Leste</b>	1,92	6,86	7,78	5,04	4,74	3,67	42,42
<b>Oeste</b>	9,25	5,34	7,81	7,51	3,56	4,64	34,24

\*valores médios de 62 dias de leituras

Não houve diferença significativa entre os ângulos de inserção em função da transpiração como pode ser observado na Tabela 5, no teste de média de Tukey a 5% de significância. Como esperado, não foi observada maior concentração de fluxo em nenhum quadrante das plantas para as condições do estudo, onde a variação na incidência luminosa foi mínima principalmente no período avaliado e principalmente devido à proximidade com a linha do Equador (no experimento as linhas de plantio estão na direção Norte-Sul). Granier (1987), trabalhando com pinheiro (*Pseudotsuga menziessii*), mostrou que em três orientações de inserção do sensor (ângulo de  $120^\circ$ ) a 1 m do solo, as estimativas tiveram uma discordância de 6% com relação à média, mas em condições climáticas da Europa. Instalando quatro sensores, uma em cada ponto cardinal e a duas alturas, a 1,5 m e 8,5 m do solo em *Pinus pinaster* de 25 anos, Loustau et al. (1998) observaram que em dia ensolarado, os sensores mais baixos, apresentaram respostas diferenciadas, ao passo que os mais altos não. Essa resposta ocorreu, 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.

Tabela 5 - Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) em relação a cada ângulo de inserção do sensor de Granier nas plantas de café, em Garanhuns – PE

<b>Tratamento</b>	<b>Transpiração (<math>L d^{-1}</math>)</b>
<b>Norte</b>	5,38 a
<b>Sul</b>	5,83 a
<b>Leste</b>	5,00 a
<b>Oeste</b>	6,35 a

As letras iguais indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey (5%)

A Figura 22 apresenta a média da transpiração obtida segundo os ângulos de inserção e nota-se que há uma grande variação entre os fluxos (2 e 12 litros por dia).

Segundo Marin (2003), os valores de fluxo de seiva apresentaram grande variabilidade temporal entre as plantas ao longo do experimento, com valores variando de  $0,93 L d^{-1}$  com área foliar  $6,0 m^2$  até  $13,89 L d^{-1}$  com área foliar  $13,9 m^2$  e Karasawa (2006) obteve transpiração em torno de 2 e  $4,5 L d^{-1}$  em plantas com área foliar entre 0,5 e  $21,20 m^2$ . Franco e Inforzato (1950) citado por Karasawa (2006), por exemplo, encontraram valores médios diários entre 14,1 L em julho e 25,8 L em novembro, em Campinas, SP, para cafeeiros da variedade Bourbon, com área foliar média de  $31,46 m^2$  e ao avaliarem a variedade Caturra na Costa Rica (2 plantas por cova, espaçamento de  $2,0 \times 0,85 m$ ) com 10 anos após o plantio do cafezal, mas sem informação sobre a área foliar, Dauszat et al. (2001) encontraram valores médios de transpiração da ordem de  $2,0 L d^{-1}$  a partir do fluxo de seiva determinado pelo método de Granier.

No estudo de Gutiérrez & Meinzer (1994), os valores observados na variedade Catuaí Amarelo, em espaçamento  $3,6 \times 0,7 m$  no Havaí, com áreas foliares por planta entre 3,5 e  $16,9 m^2$  encontraram valores entre  $1,7 L d^{-1}$  e  $9,1 L d^{-1}$ , com o método de balanço de calor. Com cultivar Mundo Novo IAC 388-17 em Piracicaba, Villa Nova et al. (2002) citado por Karasawa (2006), estimaram valores entre  $0,45 L d^{-1}$  para área foliar de  $0,665 m^2$  a  $10,47 L d^{-1}$  para área foliar de  $8,53 m^2$ .

De maneira geral, os valores obtidos de transpiração se apresentam dentro dos intervalos obtidos pelos outros autores, exceto o da variedade Bourbon por se tratar de uma variedade de porte arbóreo, com 2 a 3 metros de altura. Mas, vale salientar que esses trabalhos foram desenvolvidos em regiões distintas e deve-se levar em consideração a fase fenológica que essas avaliações foram realizadas.

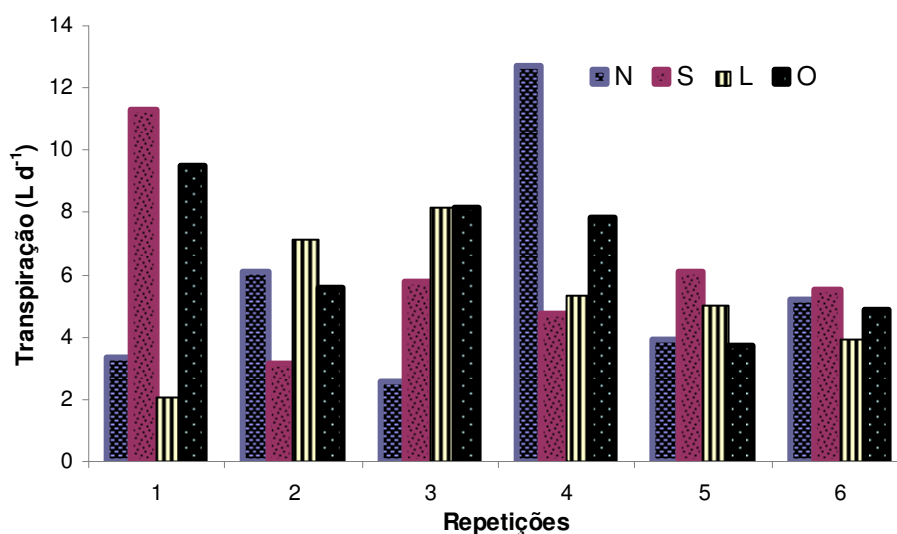


Figura 22 – Variação da transpiração em cada ângulo de inserção nas 6 repetições durante o período de avaliação do cafeeiro, em Garanhuns - PE

#### 4.6 - Avaliação quanto ao período de coleta

Como não houve diferença em função dos tratamentos, o estudo foi dividido em 3 períodos constituídos de 10 dias consecutivos, sendo : Período 1 – estabelecido entre os dias 09/10/07 a 18/10/07, denominado de antecedente a floração, nesta fase os botões florais estavam entumecidos; Período 2 – entre os dias 22/10/07 e 01/12/07 coincidindo com a própria floração que teve seu pico registrado no dia 26/10/07, de acordo com a Figura 23; Período 3 – entre os dias 27/12/07 e 05/01/08 denominado de pós-floração, nesta fase iniciou-se a formação dos frutos.



Figura 23 - Períodos avaliados: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração (visão do sistema de aquisição de dados e fonte de alimentação) e P3 - início da frutificação

Conforme a escala de nota proposto por Pezzopane et al. (2003) o período 1 é classificado entre as notas 1, em que as gemas entumescem e a nota 2 na qual os botões florais crescem devido à grande mobilização de água e nutrientes. O período 2 ficou entre a nota 3 que se estende até a abertura das flores até a nota 4 com a posterior queda das pétalas e o período 3 é equivalente a nota 5, que se inicia após a fecundação e a formação dos frutos, fase essa denominada de “chumbinho”. Camargo & Camargo (2001) definem esses períodos em apenas uma fase, a terceira, denominada de florada, que se inicia com o aumento do potencial hídrico das gemas e se estende até a expansão dos frutos com duração de quatro meses, de setembro a dezembro.

De acordo com a observação da Figura 24, os dados de fluxo variaram quanto os períodos definidos, mas de acordo com a Tabela 6 as médias não diferiram significativamente no teste Tukey a 5%, contudo tem que se destacar que para todas as fases avaliadas a demanda hídrica é muito intensa a ponto de definir a produtividade.

A não diferenciação significativa da transpiração para os períodos observados pode ter ocorrido devido ao pequeno intervalo de avaliação (10 dias), nos quais para as condições fisiológicas, não há alteração representativa. Portanto se a comparação abrangesse toda a fase de floração comparada com a colheita ou o período de repouso (entre a colheita e a próxima floração), por exemplo, possivelmente essa diferença se acentuaria.

Cafeeiros que recebem água com muita frequência, nessa fase, têm floração indefinida e uma florada principal ocorre quando se verifica período de restrição hídrica, seguido de chuva ou irrigação abundante, de acordo com Rena & Maestri (1985). Segundo Camargo & Camargo (2001), a florada se inicia após aumento do potencial hídrico nas gemas florais maduras, e nessa fase de temperatura ambiente elevada e intenso déficit hídrico, provoca a morte dos tubos polínicos pela desidratação, causando o abortamento das flores, resultando nas conhecidas “estrelinhas”. Segundo os mesmos autores, após a fecundação, surgem os chumbinhos e a expansão dos frutos, caso ocorra estiagem prolongada nessa fase, o estresse hídrico poderá prejudicar o crescimento e resultar na ocorrência de frutos de baixa qualidade.

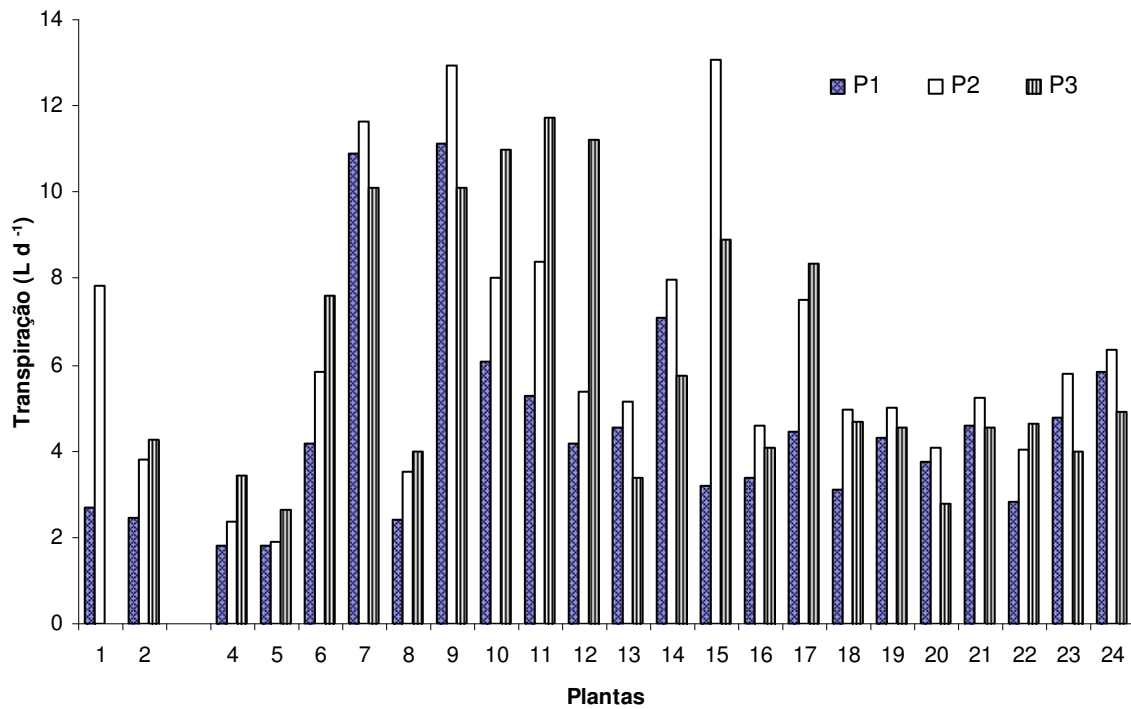


Figura 24 - Variação da transpiração ao longo dos períodos avaliados nas plantas de café para os períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação

Tabela 6 - Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) e períodos de avaliação de 10 dias, antecedente a floração, na floração e início da frutificação, em cafeeiros cultivados em Garanhuns – PE

<b>Tratamento</b>	<b>Transpiração (<math>L d^{-1}</math>)</b>
<b>Antes da floração</b>	4,76 a
<b>Floração</b>	6,55 a
<b>Início da frutificação</b>	7,98 a

As letras iguais indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey (5%).

Para cada período avaliado também foi feita comparação de médias quanto ângulo de inserção do sensor, como apresentado na Tabela 7. Não houve diferença significativa para as posições, isso indica que não houve fluxo preferencial em relação à distribuição do perfil radial de fluxo de seiva. Esse perfil de distribuição foi feito por Paço (2003), em pessegueiro com diâmetro entre 5 e 8 cm em que a densidade de fluxo variou de  $0,2 m^3 m^{-2} d^{-1}$  em 1 cm de profundidade e zero em 4,5 cm, utilizando sondas inseridas radialmente no tronco, com sensores colocados a várias profundidades e ângulos de inserção pelo método deformação do campo de temperaturas.

Tabela 7 - Transpiração média ( $L d^{-1}$ ) para cada ângulo de inserção do sensor de Granier nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 – na floração e P3 - início da frutificação do cafeeiro, em Garanhuns – PE

<b>Tratamento</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
<b>Norte</b>	4,48 a	5,64 a	4,89 a
<b>Sul</b>	5,16 a	6,31 a	6,68 a
<b>Leste</b>	3,52 a	5,87 a	4,92 a
<b>Oeste</b>	4,21 a	6,28 a	11,20 a

As letras iguais indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey (5%).

Quando se compara os períodos em relação ao ângulo de inserção como observado na Figura 25, pode-se destacar acréscimo da transpiração para os dois primeiros períodos. Mas na média, as plantas com os sensores voltados para o Leste e o Norte no último período há uma diminuição do fluxo e aumento de fluxo para os sensores instalados a Oeste. Isso pode ser atribuído a problemas com o

fornecimento de energia elétrica que foi interrompido em dezembro e mesmo após o religamento, alguns sensores apresentaram alterações nos padrões de leitura.

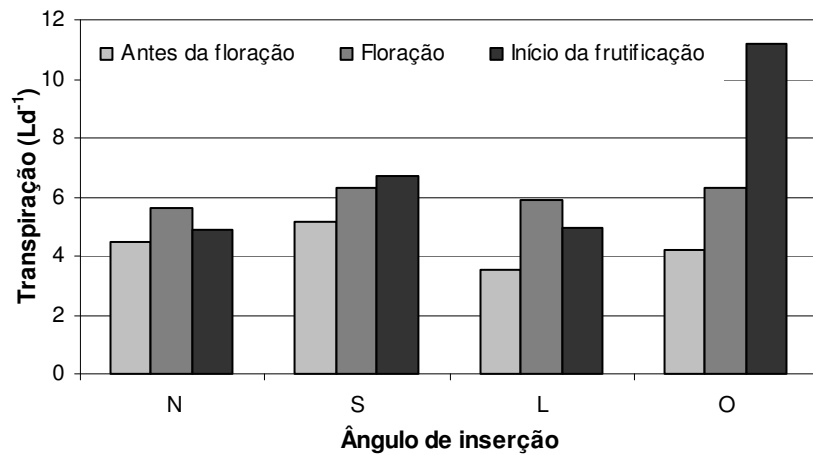


Figura 25 - Variação da transpiração em cada período definido em relação ao ângulo de inserção do sensor

#### 4.7 - Comparação da transpiração com os elementos meteorológicos

A densidade de fluxo de seiva foi comparada com alguns elementos meteorológicos como temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa obtidos dentro da área experimental, com leitura as registradas a cada 15 minutos.

Nas Figuras 26, 27 e 28 representam a regressão linear obtidas com as médias de cada intervalo preestabelecidas de leituras do fluxo e do respectivo elemento. Como podem ser observados todos os elementos avaliados obtiveram boa relação com o fluxo de seiva, sendo os maiores a radiação solar com coeficiente de determinação em torno de 0,8 e umidade relativa com 0,79.



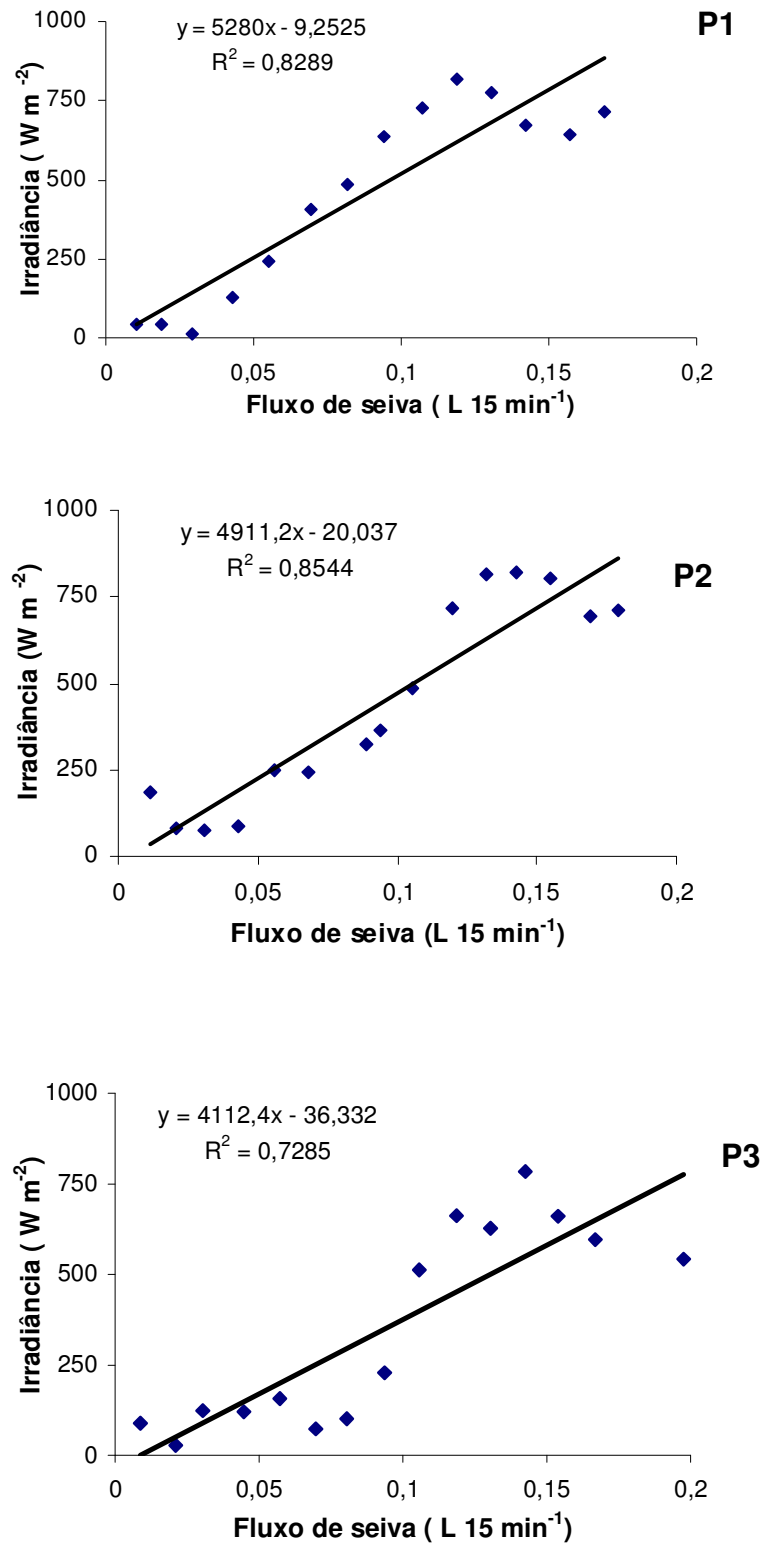


Figura 26 - Relação entre fluxo de seiva e irradiância nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação

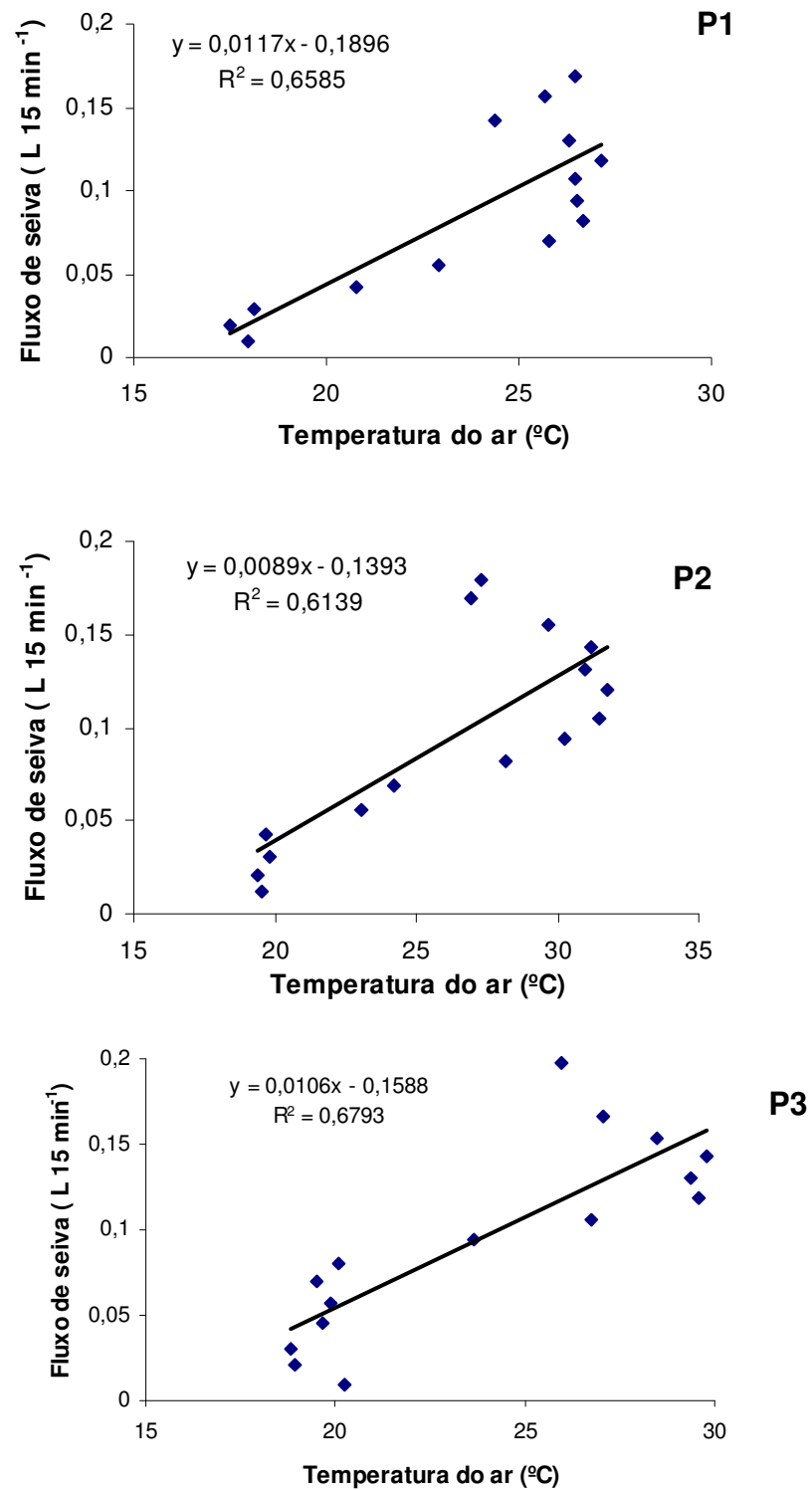


Figura 27 - Relação entre fluxo de seiva e temperatura do ar nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação

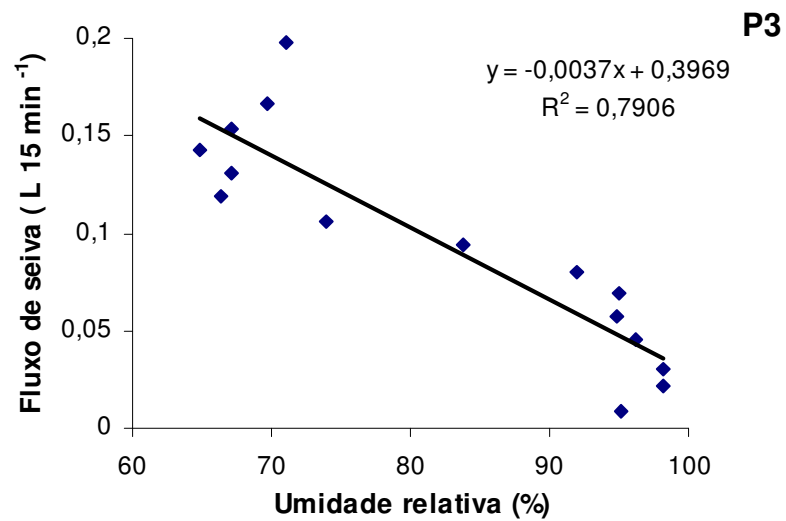
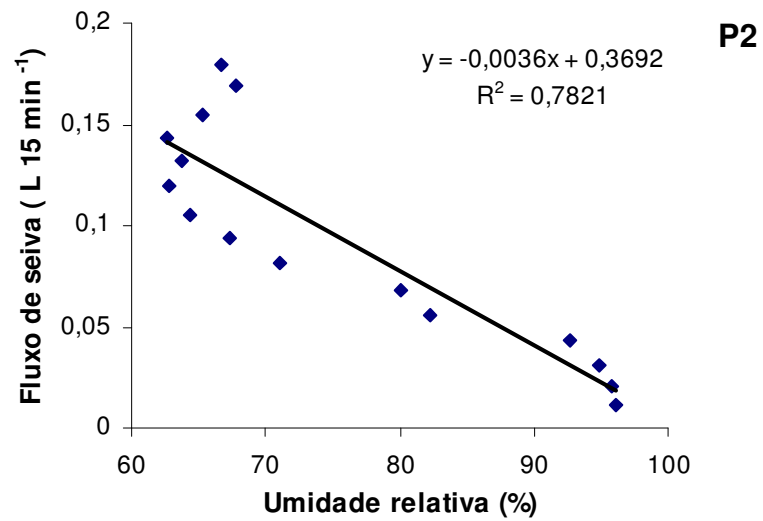
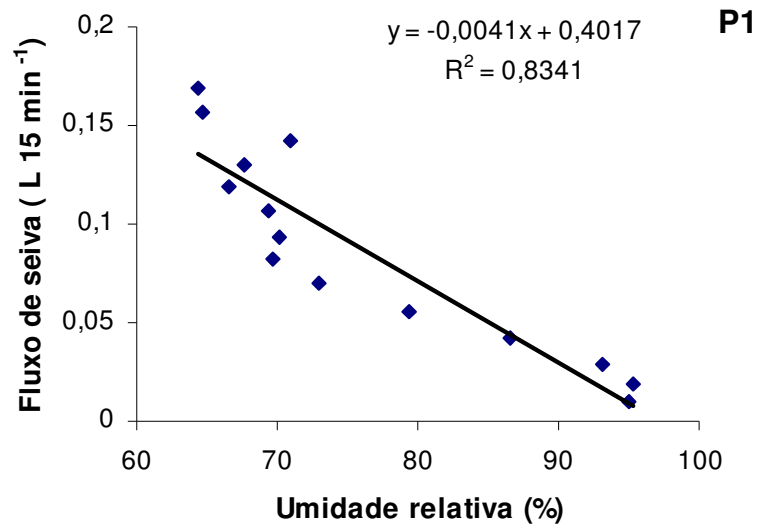


Figura 28 - Relação entre fluxo de seiva e umidade relativa nos períodos: P1 - antecedente a floração, P2 - pico da floração e P3 - início da frutificação

Nas Figuras 29, 30 e 31 estão apresentadas a comparação da variação do fluxo de seiva ao longo de um dia (05/10) com a radiação, temperatura do ar e umidade relativa, respectivamente. Pode se observar uma relação positiva entre a radiação e temperatura ao longo do dia e negativa com umidade relativa, como esperado para as condições atmosféricas.

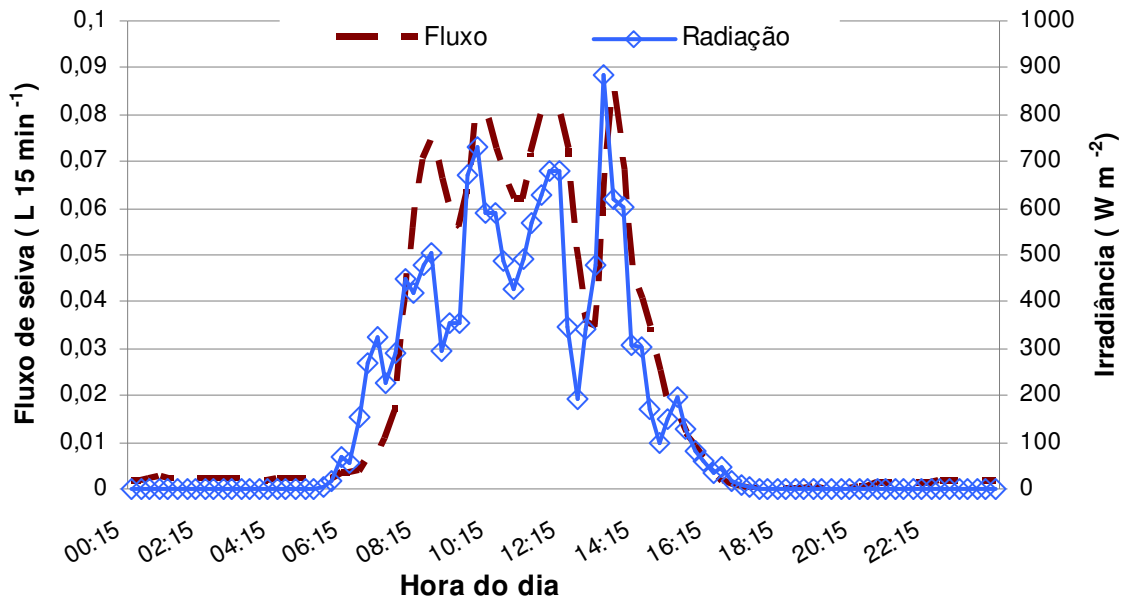


Figura 29 - Variação diária da densidade de fluxo de seiva e irradiância em 24 horas

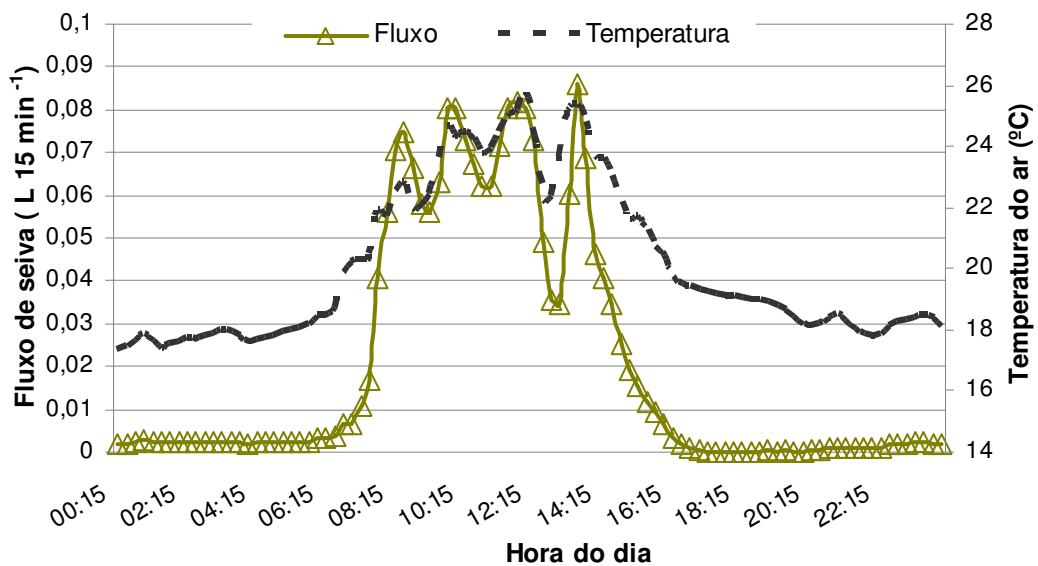


Figura 30 - Variação diária da densidade de fluxo de seiva e temperatura do ar em 24 horas

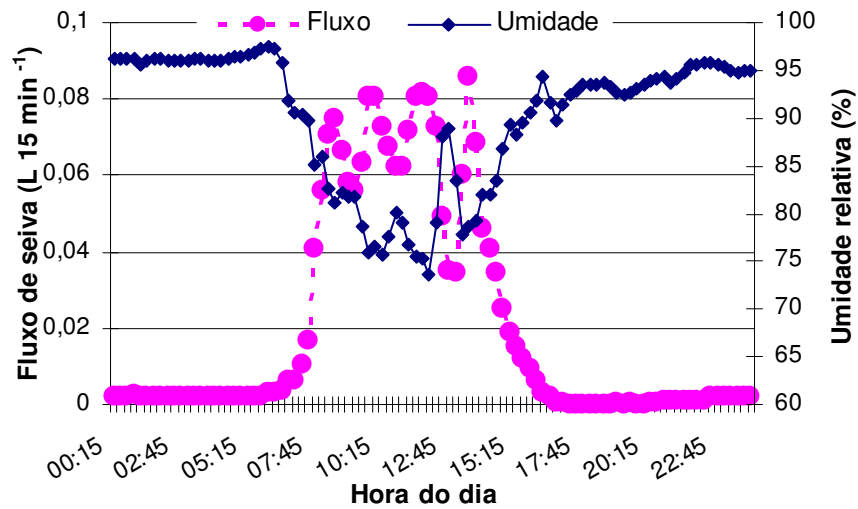


Figura 31 - Variação diária da densidade de fluxo de seiva e umidade relativa em 24 horas

A evapotranspiração de referência foi relacionada com a transpiração para o período antecedente a floração, e estão representadas nas Figuras 32, 33, 34 e 35. Nota-se concordância entre a transpiração e a evapotranspiração de referência para a maioria das plantas.

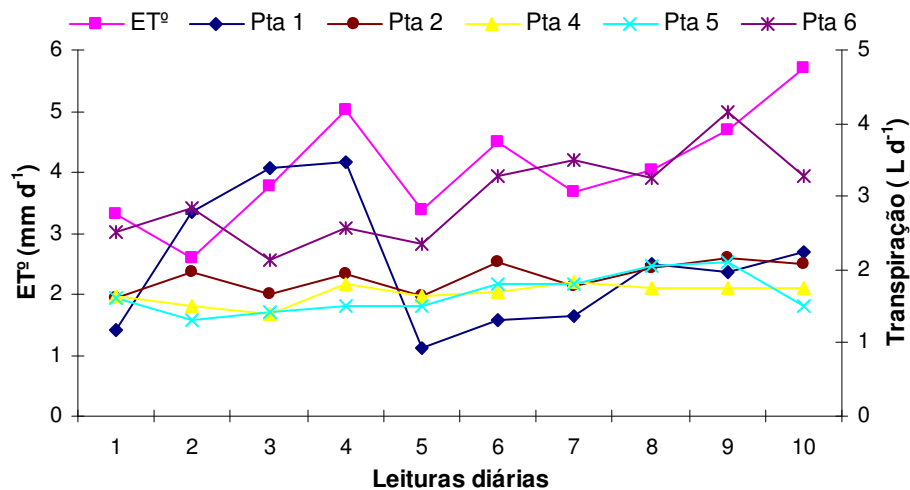


Figura 32 - Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 5 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro

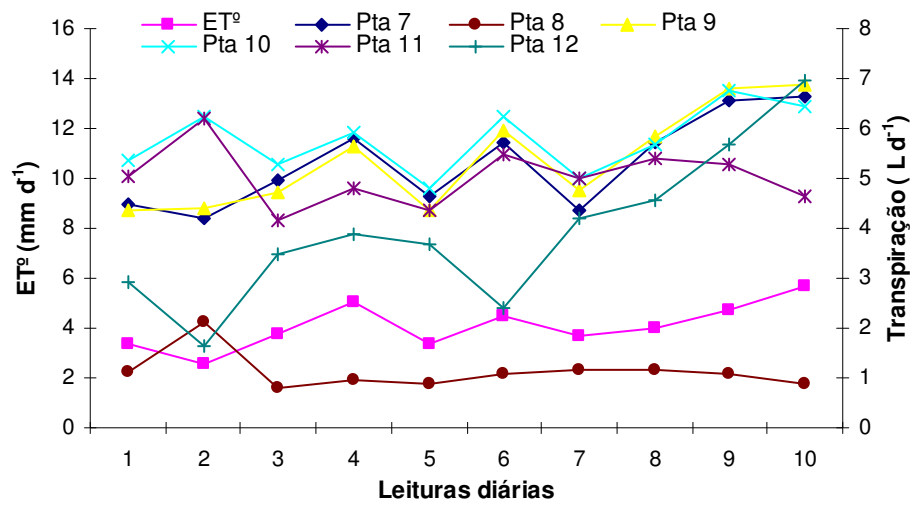


Figura 33 - Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro

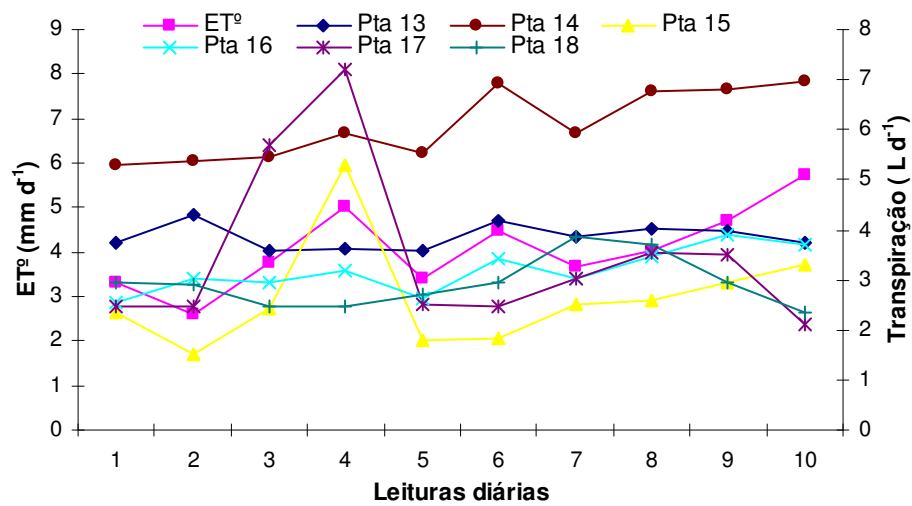


Figura 34 - Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro

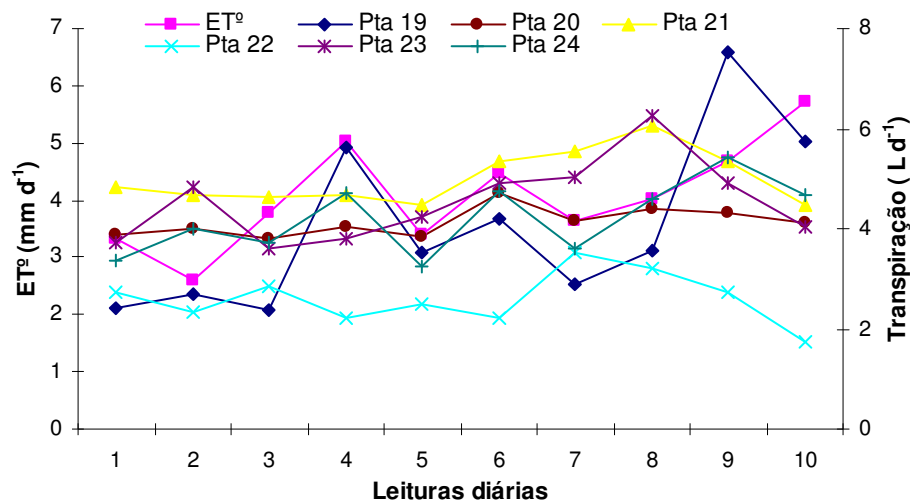


Figura 35 - Variação da evapotranspiração de referência e da transpiração em 6 plantas no período 1 (09/10/07-18/10/07) em cafeeiro

Segundo Silva et al. (2003b) a evapotranspiração de referência, radiação solar e déficit de pressão de vapor tiveram influência sobre a densidade de fluxo de seiva, sendo que as duas primeiras influenciaram de forma linear, antes e após a colheita do café, tanto em parcela irrigada quanto a não irrigada. O padrão diário de densidade de fluxo de seiva assemelhou-se ao da radiação solar.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o sensor de dissipação térmica modificado do método de Granier permitiram estimar a transpiração dos cafeeiros nas condições do experimento.

A calibração da equação de Granier gerou novos coeficientes para o cafeeiro e foi possível utilizar essa equação com dados obtidos em condições de campo.

De acordo com o ângulo de inserção (Norte, Sul, Leste ou Oeste) não houve diferença significativa quanto à densidade de fluxo de seiva, isto implica afirmar que, segundo as condições do estudo, o fluxo se distribui uniformemente no tronco.

Quanto a ângulo de inserção e períodos estabelecidos também não houve diferença entre os tratamentos, sendo que no último período os valores da transpiração foram alterados em relação aos demais.

As transpirações acompanharam a variação da evapotranspiração de referência em escala diária.

A densidade de fluxo de seiva foi influenciada pelos elementos meteorológicos medidos, principalmente pela radiação solar e umidade relativa, nas condições experimentais.



## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO: Guidelines for computing crop water requirements.** (Irrigation and Drainage Paper, 56). Roma, 310 p. 1998.

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera.** Piracicaba: O autor, 268 p. 2002.

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.

BRAUN, P.; SCHMID, J. Sap flow measurements in grapevines (*Vitis vinifera* L.). 1. Stem morphology and use of the heat balance method. **Plant and Soil**, Amsterdam, v. 215, p. 39-45, 1999.

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. **Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 20, n. 7, p. 831-839, 1985.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definições e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-80, 2001.

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

CLEARWATER, M.J.; MAINZER, F.C.; ANDRADE, J.L. Potential errors in measurement of no uniform sap flow using heat dissipation probes. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, p. 681-687, 1999.

[CONAB.GOV.](http://www.conab.gov.br) [página de internet] Brasília. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira. Café – Safra 2008 – Primeira estimativa janeiro de 2008**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso: 18/01/2008.

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.

DAVID, T.S.; FERREIRA, M.I.; DAVID, J.S.; PEREIRA, J.S. Transpiration from a mature Eucalyptus globules plantation in Portugal during a spring-summer period of progressively higher water deficit. **Oecologia**, New York, v.110, p.153-159, 1997.

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**. 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.; FOLEGATTI, M. V.; ANGELOCCI, L.R. Calibração do método de sonda de dissipação térmica na determinação do fluxo de seiva em cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. **Anais...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **FAO: Guidelines for predicting crop water requirements**. (Irrigation and Drainage Paper, 24). Roma, 179 p. 1977.

DUARTE, A. O.; SILVA FILHO, G. E. **Perfil econômico de Pernambuco**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2002.

EVANGELISTA A. W. P.; CARVALHO L. G.; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, 2002.

FERNANDEZ, J. E.; PALOMO, M. J.; DÍAS-ESPEJO, A.; CLOTHIER, B. E.; GREEN, S. R. GIRÓN, I. F.; MORENO, F. Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: test, root flow and diagnostics of water stress. **Agricultural Water Management**, v.51, p. 99-123, 2001.

FERREIRA, M.I.; SILVESTRE, J.C. Medição da transpiração em cobertos descontínuos: vinha em diferentes declives, na região do oeste. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7, 2004, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, p.1-11. 2004.

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, p.1-3, 1996.

Gazetamercantil.com.br [ página de internet] São Paulo. Gazeta Mercantil. 2003. Disponível em:<[http:// www.gazetamercantil.com.br](http://www.gazetamercantil.com.br)> Acesso em 12/12/2005.

GRANIER, A. Mesure du flux de sève brute dans le tronc du douglas par une nouvelle méthode thermique. **Annales des Sciences Forestières**, Nancy, v. 44, n. 1, p. 1-14, 1987.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Nancy, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

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.

IBGE.GOV.[página da internet] Brasília. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em 12/11/07.

IBGE.GOV.[ página da internet ] Brasília. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/comentarios.pdf>> Acesso em 24/01/08.

KARASAWA, S. **Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência**. 2006. 97 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; CERMÁK, J. Sap flow measurements in forest stands: methods and uncertainties. **Annales Science Foresty**. v.55, p.13-27, 1998.

LIRA, V. M.; OLIVEIRA, F. M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. Alterações da precipitação em municípios do estado de Pernambuco. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 1, p. 52-61, 2006.

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.

LU, P.; MÜLLER, W.J.; CHACRO, E.K. Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. **Tree Physiology**, v.20, p. 683-692, 2000.

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 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.

MARSHALL, D.C. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiology**, Washington, v. 33, n. 6, p. 385-396, 1958.

MOTA, F. S.; AGENDES, M. O. O. **Clima e agricultura no Brasil** 1.ed., Porto Alegre: Sagra, 151 p. 1986.

NICOLELI, M. **Análise da competitividade do café orgânico produzido em Taquaritinga do Norte para o mercado pernambucano**. 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Administração e Desenvolvimento Rural). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.

PAÇO, M. T.A. **Modelação da Evapotranspiração em Cobertos Descontínuos Programação da Rega em Pomar de Pessegueiro**. 2003. 251 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2003.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENDELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478 p. 2002.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SENDELHAS, P.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p. 1997.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

PEZZOPANE, J. R. M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'**. 2004. 158 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 1.ed. Ed. Barueri: Manole. 478 p. 2004.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 26-40, 1985.

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.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore Agrícola e Comércio Ltda, Divisão Stoller do Brasil. 146 p.1996.

SILVA, F. B. R. et al., **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE**. Mapa Exploratório – Reconhecimento de solos do município de Garanhuns – PE. Recife: Embrapa Solo – UEP, 2001.

SILVA, T. J. A.; MONTENEGRO, A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BONFIM, E. M. S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina - PE. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 511-520, 2003a.

SILVA, M. G.; SOUSA, E. F.; SALASSIER, B.; GOMES, M. C. R.; DETMANN, E.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; VIEIRA, H. D.; PINTO, J F.; ANDRADE, W. E. B. Densidade de fluxo de seiva do cafeeiro, antes e após a colheita, em parcela irrigada e não irrigada. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003b.

SMITH M. **FAO: Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Roma, 45 p. 1991.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS:** Statistical Analysis System-Getting Started with the SAS Learning Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2002.

TABLECURVE.v.1.12. Jandel Scientific - AISN software; 1993.

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.

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.

VIUDES, A. M.; ALVES JÚNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E.; SILVA, C. R.; SILVA, T. J. A. Parâmetros fitométricos para estimativa da área foliar do café arábica. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 12, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: XII SIICUSP – Agropecuária, 2004.