

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**CALIBRAÇÃO DE SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA E ESTIMATIVA  
DA TRANSPIRAÇÃO DO CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO SOL**

**GUSTAVO ANDRÉ CABRAL**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
ABRIL - 2013**

# **CALIBRAÇÃO DE SONDA DE DISSIPÇÃO TÉRMICA E ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO DO CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO SOL**

**GUSTAVO ANDRÉ CABRAL**

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2009

Dissertação submetida ao Colegiado de curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade dos Sistemas Hidroagrícolas

**Orientador: Dr. Vital Pedro da Silva Paz**

**Co-Orientador: Dr. Lucas Melo Vellame**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

C117

Cabral, Gustavo André.

Calibração de sonda de dissipação térmica e estimativa da transpiração do cacauero cultivado a pleno sol / Gustavo André Cabral. – Cruz das Almas, BA, 2013.

82f.; il.

Orientador: Vital Pedro da Silva Paz.

Coorientador: Lucas Melo Vellame.

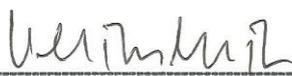
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.

1.Cacau – Cultivo. 2.Cacau – Evapotranspiração – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

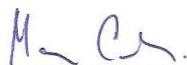
CDD: 633.74

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

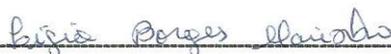
**COMISSÃO EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO  
ALUNO GUSTAVO ANDRÉ CABRAL**



Dr. Vital Pedro da Silva Paz  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB  
(Orientador)



Dr. Mauricio Antônio Coelho Filho  
Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical - CNPMF



Dra. Lígia Borges Marinho  
Universidade Estadual da Bahia – UNEB/Juazeiro

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias em.....Conferindo o Grau de  
Mestre em Ciências Agrárias em.....

## DEDICO

Aos meus pais Marcos e Jurinha,

Por todo amor, dedicação, incentivo e por serem meus exemplos de vida. Agradeço a Deus por serem meus pais.

Ao meu irmão Maicol e minha irmã Marcele, meus grandes amigos.

A minha avó Nelci Cabral, pelo carinho.

*In memorian* de meus avôs, Pedro Duarte e Acilda Duarte, pelas raízes.

Em especial ao meu avô Homero Cabral *in memorian*, que em meio a essa trajetória nos deixou e sentiremos saudades.

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força para superar as dificuldades, pela vida e oportunidade concedidas.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias pela formação profissional.

À Agropecuária Chapadão, do grupo BAGISA, na pessoa do Sr. Orlando Feiler, por ceder a área experimental e apoio irrestrito.

A Comissão Executiva do Plano de Lavoura (CEPLAC) por ceder mudas.

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

A orientação do prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz, e por ser exemplo de profissional.

Ao meu co-orientador e amigo Lucas Melo Vellame, pela paciência, por sua ajuda nos momentos mais críticos e por ser também um exemplo a ser seguido. Sua participação foi fundamental para a realização deste trabalho.

A todos os professores do programa, em especial aos professores Tales Miler, Aureo Oliveira, Francisco Adriano, Carlos Ledo e Eugenio Coelho, pela importância na minha vida acadêmica.

A Lígia Marinho e Cícero Silva, pelo incentivo e participação neste trabalho.

A Greice Ximena e Jorge Copquer, pelo apoio e incentivo.

Aos estagiários e amigos Luciano, Fábio, Reizandra e Izabel pelo apoio e convivência.

Ao amigo Magno, pela ajuda na parte elétrica.

Aos colegas de curso, em especial a Bruce, Kelly, Arthur, Jussimar, Rosângela, Maria Augusta, Jamile, Lucylia, Murillo, Marlos, Maxuel, Diego e Felipe, pela convivência, cooperação e amizade.

Ao professor José Alberto, pelo incentivo para que cursasse o mestrado.

A Daniella pela paciência, e pelo incentivo constante para que eu não esmorecesse nos momentos em que eu tendia a isto.

De maneira alguma poderia deixar de agradecer a Edilson (Boi) com quem sempre pude contar.

Aos funcionários do NEAS, Mairi e Lene pelo grande apoio.

De modo geral, é preciso destacar o afeto, solidariedade e compreensão dos familiares. Quero agradecer aos meus tios, Iara, Rosita, Antônio e Celso pelo carinho. E aos meus primos, Ângela, Jorge, Caroline, Pedro, Maria Fernanda, André, Laura, Jennyfer e Lucas pela fraternidade.

A todos meus verdadeiros amigos, estejam próximos ou distantes, no espaço ou no tempo.

## SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO	
ABSTRACT	
INTRODUÇÃO	1
<b>Capítulo 1</b>	
CALIBRAÇÃO DA SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA E GRADIENTES TÉRMICOS NATURAIS EM PLANTAS JOVENS DE CACAUEIRO .....	9
<b>Capítulo 2</b>	
ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO SOL UTILIZANDO SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA	47
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72

# **CALIBRAÇÃO DE SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA E ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO DO CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO SOL**

Autor: Gustavo André Cabral

Orientador: Vital Pedro da Silva Paz

Co-Orientador: Lucas Melo Vellame

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar o método da sonda de dissipação térmica (SDT) na estimativa da transpiração do cacauzeiro cultivado a pleno sol. O estudo foi constituído de dois experimentos. O primeiro experimento foi realizado no campo experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizada no município de Cruz das Almas – BA, (12° 48` S; 39° 06` W; 225 m de altitude). O estudo foi conduzido com plantas de cacauzeiro seminal, em fase inicial de desenvolvimento e foram transplantadas em vasos de 60 litros e 500 litros. Determinou-se o fluxo de seiva pelo método da SDT, com sondas de 1 cm de comprimento considerando a área de seção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta. As diferenças naturais de temperatura medidas no caule foram correlacionadas com duas sondas tomadas como de referência. Com os resultados verificou-se que o método da (SDT) com o coeficiente linear da equação modificada  $F = 0,000135 K^{1,231} AS$ , mostrou-se eficaz na estimativa de fluxo de seiva. O segundo experimento foi conduzido na Fazenda Nova Conquista, no município de Nova Redenção - Bahia (S 12° 51`46`` e W 41° 08`14``). Foram escolhidas seis plantas (4 plantas seminais e 2 clones CCN51), em pomar de plantas adultas de cacauzeiro cultivado a pleno sol. O percentual de disponibilidade de água no solo foi calculado a partir da relação da disponibilidade de água no solo pela disponibilidade total de água no solo. Com os resultados obtidos, verificou-se que com os sensores de dissipação térmica permitiram estimar a transpiração do cacauzeiro nas condições do experimento.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao*, fluxo de seiva, gradientes térmicos

# **CALIBRATION OF HEAT DISSIPATION PROBE AND ESTIMATE OF TRANSPIRATION BY CACAO TREE PLANTATION UNDER FULL SUNLIGHT**

Author: Gustavo André Cabral

Advisor: Vital Pedro da Silva Paz

Co-Advisor: Lucas Melo Vellame

**ABSTRACT:** The objective of study was evaluating heat dissipation probe (SDT) method in the estimate of transpiration of cacao tree plantation under full sunlight. The study consisted of two experiments. . The first experiment was carried out experimental camp belonging to the Engineering Center of Water and Soil - NEAS, Federal University of Bahia in the Reconcavo, located in the municipality from Cruz das Almas – BA, (12° 48` S; 39° 06` W; 225 m by altitude). The study was conducted with seminal cacao tree plants, in development early phase and it were transplanted in pots 60 liters and 500 liters. It was determined sap flow by SDT method, With probes of length 1 cm considering the effective sectional area of the xylem driving the crude sap. Natural differences by temperature measurement in the stem were correlated with two probes taken as reference. With the results can be to observe SDT method with the linear coefficient of the modified equation  $F = 0,000135 K^{1,231} AS$  proved effective in estimate sap flow. The second experiment was carried by in the Nova Conquista farm, in Nova Redenção municipality - Bahia (S 12° 51`46`` e W 41° 08`14``). It were selected six plants (seminal plant 4 and CCN51 clone 2), in orchard of cocoa tree mature plants plantation under full sunlight. The percentage of available soil water was calculated from the ratio of water availability in the soil for total available water in the soil. With the results obtained, it was found an increase in the sap flow with the replacement of water in the soil. The results obtained with thermal dissipation sensors possible estimating cacao transpiration in the experiment conditions.

**Key-words:** *Theobroma cacao*, sap flow, thermal gradients

## INTRODUÇÃO

A fruticultura vem se transformando, ano a ano, num dos mais importantes segmentos da agricultura. A inserção de novas tecnologias, condições climáticas favoráveis tem propiciado a produção de frutas de excelente padrão de qualidade, com grande aceitação nos mercados interno e externo, gerando empregos e rendas, além de possibilitar a permanência do homem no campo (SANTOS, 2010).

Frutíferas, grãos e gramíneas tem sido uma realidade, para a expansão agrícola do Brasil. Os casos mais notáveis são o cultivo da uva no semiárido e da soja e da cana-de-açúcar em quase todo o país (LEITE et al., 2007). No entanto, culturas como o cacaueteiro tem se limitado à região amazônica (Rondônia e Pará), e as regiões do sul da Bahia e norte do Espírito Santo, áreas essas consideradas “tradicionalis” (BEGIATO et al., 2009).

O cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) é originário do continente americano, provavelmente das bacias dos rios Amazonas e Orinoco, onde ainda hoje é encontrado em estado nativo em várias regiões, desde o Peru até o México (ALVIM & BASTOS, 1982). O mesmo é uma dicotiledônea da família das Malváceas, que em condições silvestres cresce no substrato intermediário da floresta e pode alcançar até 20 m de altura (MULLER & VALLE, 2012).

No Brasil o cultivo do cacaueteiro foi se expandindo pelas margens do rio Amazonas e introduzido na Bahia em 1746, onde encontrou boas condições edafoclimáticas formando a principal região produtora do país. Atualmente também há plantios nos estados do Espírito Santo, Pará, Rondônia, Mato Grosso e Amazonas (SILVA NETO, 2001).

Áreas tradicionalis de cultivo do cacaueteiro têm enfrentado diversos problemas, destacando-se os fitossanitários e os econômicos. Novas técnicas de irrigação, fertirrigação, manejo e material genético melhorado, possibilitam a implantação da cultura em regiões consideradas não tradicionalis (CODEVASF, 2009). Pelo fato, de ser uma cultura tradicionalmente plantada em ambientes

úmidos, sem irrigação, até o momento, são escassos na literatura os trabalhos sobre consumo hídrico do cacaueteiro, informações essas, extremamente importantes para um correto planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação.

Amorim & Valle (1993) relatam que o cacaueteiro é uma planta típica dos climas tropicais e sub-tropicais, onde o consumo de água pelos vegetais é geralmente alto. O cultivo do cacaueteiro é realizado em regiões onde a precipitação pluviométrica é superior a 1200 mm anuais. O mesmo tem como característica depositar suas folhas no solo, o que reduz as perdas de água por evaporação.

A quantificação do consumo de água das culturas é de suma importância para diversas aplicações na agricultura, tais como estudos de zoneamento agrícola, monitoramento agroclimático, manejo de irrigação e drenagem e estudos hidrológicos em geral (FLUMIGNAN & FARIA, 2009). A variável meteorológica utilizada na estimativa das necessidades hídricas das culturas é a evapotranspiração. A mesma é um dos principais componentes do ciclo hidrológico, e refere-se ao total de perda de água para a atmosfera, das plantas e da superfície do solo pela combinação simultânea da transpiração com o da evaporação (SEDIYAMA, 1998).

Allen et al. (1998), define evapotranspiração como a combinação de dois processos separados, por um lado a água perdida da superfície do solo por evaporação, e por outro lado a água perdida pela cultura através da transpiração. A transpiração é o mecanismo que fornece a principal energia para a absorção de água das plantas contra a força de gravidade e a resistência à fricção no trajeto da água do solo para a atmosfera (ALBUQUERQUE & DURÃES, 2008).

A transpiração das plantas é regulada por fatores ambientais como a radiação solar, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, e ainda por características biológicas, como exemplo área foliar das plantas, idade da planta, condição da folha, grau de controle dos estômatos, quantidade de água no solo, entre outros.

A medida direta da evapotranspiração das culturas exige a implantação de uma estrutura física mais onerosa, pelo fato de necessitar a instalação de equipamentos especiais, o que limita o seu conhecimento e utilização prática. Quaglia & Barbieri (2003) asseguram que as observações lisimétricas servem

para calibração dos métodos empíricos de estimativas da evapotranspiração, desde que os valores medidos e os estimados sejam confrontados por meio do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), e dos índices de erro e de ajustamento.

Têm sido desenvolvidos e testados por pesquisadores, vários métodos que permitam avaliações mais precisas e simples, com o intuito de determinar diretamente a quantidade de água consumida por uma planta lenhosa e de grande porte, a exemplo do cacauzeiro. O método da sonda de dissipação térmica, metodologia apresentada por Granier (1985), consiste no fornecimento contínuo de calor no tronco, e vem ganhando destaque nos últimos anos por utilizar princípios físicos simples e poder ser aplicado diretamente no campo sem alterar as condições fisiológicas e micrometeorológicas da planta (PIMENTEL et al., 2010).

Os sistemas de medição de fluxo xilemáticos estão cada vez mais sendo utilizados para quantificar o uso de água pelas plantas (REGALADO & RITTER, 2007; GEBAUER et al., 2008; GARTINER et al., 2009; ZHANG et al., 2011 e DAVIS et al., 2012).

O método de sonda de dissipação térmica funciona através da inserção perpendicular de duas sondas termopares na mesma linha axial no tronco da planta. A sonda superior é aquecida constantemente a uma potência elétrica de 0,1 W, por centímetro de comprimento do sensor, e a inferior mede a temperatura ambiente da planta. A corrente elétrica é fornecida por meio de fonte de tensão ou fonte de corrente, onde a última apresenta vantagem de manter a potência na sonda constante quando resistências elétricas dos fios de cobre variam com a temperatura ambiente.

A variação de temperatura entre as duas sondas é registrada por um sistema de aquisição de dados, e é proporcional a densidade de fluxo de seiva ocorrido em um intervalo de tempo analisado. O fluxo de seiva é mínimo ou nulo, quando ocorre a máxima diferença de temperatura entre as duas sondas, enquanto que a quantidade máxima de fluxo de seiva ocorre com a mínima diferença de temperatura entre as sondas (DELGADO-ROJAS, 2003).

A técnica de dissipação térmica é passível de erros que ainda são estudadas por vários autores (DELGADO-ROJAS et al., 2007; MCCULLOH et al., 2007; BUSH et al., 2010; ARAÚJO et al., 2012; VELLAME et al., 2012). O valor da área efetiva do xilema, exigida na equação de calibração e determinada por técnica destrutiva da planta, apresenta como uma fonte de

erro. Outra fonte de erro é representada pela presença de gradientes térmicos naturais no tronco, originária da perturbação térmica externa, ou seja, decorrente da incidência de radiação solar e dos efeitos da temperatura do ar e do solo sobre o caule.

Bush et al. (2010) usaram o método em estudo com as espécies *Elaeagnus angustifolia* L., *Gleditsia triacanthos* L., *P. gambelii* Nutt, *Sophora japonica* L., *Populus fremontii* S. Watson e *Tilia cordata* Mill., porém, usaram uma calibração própria obtida a campo e não a equação universal de Granier, pelo fato da equação original não calcular com acurácia o fluxo de seiva nas espécies estudadas. Taneda & Sperry (2008) também obtiveram resultados de calibração que diferem substancialmente da equação de Granier em um estudo em *Q. gambelii*.

Mcculloh et al. (2007) em estudo realizado em Gamboa, na República do Panamá, afirmam que as fontes de erros mais prováveis para a sonda de dissipação térmica estão relacionadas com a presença de gradientes térmicos naturais no tronco. Ford et al. (2004) avaliando a variação no perfil radial da densidade de fluxo de seiva em espécies de *Pinus*, concluíram que a normalização e precisão em medições de densidade de fluxo de seiva são necessárias, porque o mesmo pode ser utilizado para validar e comparar estimativas de uso de água e armazenamento em espécies lenhosas.

Estudos realizados por pesquisadores brasileiros a exemplo de Delgado – Rojas et al. (2007) trabalhando com plantas jovens de lima ácida “Tahiti”, concluíram que o gradiente térmico natural interfere significativamente sobre a estimativa da transpiração usando a sonda de dissipação térmica.

Para Vellame et al. (2011) em estudo com a cultura da manga em início de desenvolvimento, em vaso e em plantas adultas, para minimizar os gradientes térmicos em ramos expostos é necessário a utilização de cobertura de todo o ramo acima e abaixo do sensor, além de ser indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule para adequar a estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método Granier.

Levando em consideração a carência de informações sobre as relações hídricas em cacaueteiro, este trabalho teve como objetivo principal avaliar o método da sonda de dissipação térmica na estimativa da transpiração do cacaueteiro cultivado a pleno sol. Como objetivos específicos: calibrar a equação de determinação do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica

(método Granier), e estudar o efeito dos gradientes térmicos naturais no caule para estimativa da transpiração de plantas jovens de cacauzeiro.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P. E. P. & DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**. Brasília – DF: EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p. 227 – 236, 2008.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper No 56**, p. 27 – 35, 1998.
- ALVIN, P. T & BASTOS, C. S. **Atlas de bolso do cacau**. Ilhéus, BA, Brasil, CEPLAC/CEPEC, p. 32., 1982.
- AMORIM, S. M. C. de & VALLE, R. R. Absorção e resistência ao movimento da água no cacauzeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 28, n. 8, p. 907-913, 1993.
- ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, L. E. Método de dissipação térmica para a determinação de fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 558-562, 2012.
- BEGIATO, G. F., SPERS, E. E., CASTRO L. T., NEVES, M. F., Análise do Sistema Agroindustrial e Atratividade dos Vales do São Francisco para a Cacaucultura Irrigada. **Custos e @gronegocio on line** – v. 5 n. 3 – Set/Dez- p. 02 – 04, 2009.
- BUSH, S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLERINGER, J. R. Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology**, Volume 30, p. 1545-1554, 2010.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA (CODEVASF). **Cadeia produtiva de cacau: oportunidade de investimento em cacaucultura no Vale do São Francisco e do Parnaíba**. Brasília, p. 31, 2009.

DAVIS, T. W.; KUO, C. M.; LIANG, X.; YU, P. S. Sap Flow Sensors: Construction, Quality Control and Comparison. **Sensors**, v. 12 p. 954-971, 2012.

DELGADO-ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citrus, com base para o manejo de irrigação.** p. 110 - 113, TESE (Doutorado) ASALQUE/USP, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J. S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

FLUMUGNAN, D. L. & FARIA, R. T. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros em fase de formação. **Bragantia**, v. 68, n. 1, p. 269-278, 2009.

FORD, C. R.; MCGUIRE, M. A.; MITCHELL, R. J.; TESKEY, R. O. Assessing variation in the radial profile of sap flux density in Pinus species and its effect on daily water use. **Tree Physiology**, v. 24, p. 241–249, 2004.

GARTINER, K.; NADEZHDINA, N.; ENGLISCH, M.; CERMAK, J.; LEITGEB, E. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 590-599, 2009.

GEBAUER, T.; HORNA, V.; LEUSCHNER, C. Variability in radial sap flux density patterns and sapwood area among seven co-occurring temperate broad-leaved tree species. **Tree Physiology**, v. 28, p.1821–1830, 2008.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tron des arbres. **Annales Sciences Forestieres**, v. 42, p. 193 – 2000, 1985.

LEITE, J. B. V.; MARTINS, A. B. G.; SODRÉ, G. A.; VAREJÃO, E.; FEILER, O. O.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R.; LOPES, U. V.; LOBÃO, D. E.; MOURA, J. I. L.; SGRILLO, R. B. e NASCIMENTO, M. N. É possível produzir cacau em Regiões Semi-áridas? Quebrando um paradigma! In: **International**

**Cocoa Research Conference**, 15, San José, Costa Rica .Lagos Nigeria, Cocoa Producer's Alliance. Vol. I. p. 331-341, 2007.

MCCULLOH, K. A.; WINTER, K.; MEINZER, F. C.; GARCIA, M.; ARANDA, J; and LACHENBUCH, B. A comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot grown saplings. **Tree Physiology**, v. 27, p.1355–1360, 2007.

MULLER, M. W. & VALLE, R; R., **Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro**. Brasília, DF. CEPLAC/CEPEC/SEFIS, P. 31 – 40, 2012.

PIMENTEL, J. da S.; SILVA, T. J. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da transpiração em cafeeiro utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 187-195, 2010.

QUAGLIA, L. & BARBIERI, V. **Construção de um lisímetro com célula de carga e dispositivo de drenagem**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23., 2003, Rio Grande do Sul. Anais... Rio Grande do Sul: 1 CD.

REGALADO, C. M. & RITTER, A. An alternative method to estimate zero flow temperature differences for Granier's thermal dissipation technique. **Tree Physiology**, v. 27, p.1093–1102, 2007.

SANTOS, E. O. Agrossíntese, os bons Frutos da Bahia. Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária, 2010. Disponível em: [http://www.seagri.ba.gov.br/agrosintese\\_BaAgricV6N1.asp](http://www.seagri.ba.gov.br/agrosintese_BaAgricV6N1.asp). Acesso: 05 dez. 2012.

SEDYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n. 1, p.i – xii, 1998.

SILVA NETO, P. J. (da coordenação), **Sistema de Produção de Cacau para a Amazônia Brasileira**, Belém, Pará. CEPLAC, 2001, p. 125.

TANEDA, H. & SPERRY, J. S. A case-study of water transport in co occurring ring- versus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. **Tree Physiol**, 28:1641–1651, 2008.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. da S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, v. 24, núm 1, p. 116 – 122, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira `Valência` sob porta-enxerto limão `Cravo` e citrumelo `Swingle` em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 01, p. 024-032, 2012.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1207–1214, 2011.

## **CAPÍTULO 1**

### **CALIBRAÇÃO DA SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA E GRADIENTES TÉRMICOS NATURAIS EM PLANTAS JOVENS DE CACAUEIRO**

## **CALIBRAÇÃO DA SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA E GRADIENTES TÉRMICOS NATURAIS EM PLANTAS JOVENS DE CACAUEIRO**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito dos gradientes térmicos naturais presentes no caule para a estimativa da transpiração de plantas jovens de cacaueteiro, e calibrar a equação de determinação do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica (SDT). O experimento foi realizado no campo experimental pertencente ao NEAS, da UFRB, localizada no município de Cruz das Almas – BA, (12° 48` S; 39° 06` W; 225 m de altitude). O estudo foi conduzido em campo, com plantas de cacaueteiro seminal, em fase inicial de desenvolvimento e foram transplantadas em vasos de 60 litros e 500 litros. Determinou-se o fluxo de seiva pelo método da SDT, com sondas de 1 cm de comprimento considerando a área de seção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta. As diferenças naturais de temperatura medidas no caule foram correlacionadas com duas sondas tomadas como de referência. Com o objetivo de calibrar a equação geral de Granier para a estimativa de fluxo de seiva, foi modificado o coeficiente angular com o intuito de minimizar os desvios absolutos entre o fluxo de seiva e transpiração diária medida pelo lisímetro das plantas em estudo representando o fluxo de seiva. Com os resultados pode-se observar o método da SDT com o coeficiente linear da equação modificada  $F = 0,000135 K^{1,231} AS$ , mostrou-se eficaz na estimativa de fluxo de seiva. A correção dos gradientes térmicos naturais no caule foi indispensável para adequar a estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica.

**Palavras-chave:** Granier, fluxo de seiva, xilema

## **CALIBRATION OF THE HEAT DISSIPATION PROBE AND NATURAL THERMAL GRADIENTS IN YOUNG PLANTS OF CACAO TREE**

**ABSTRACT:** The objective of this work was studying the effect of the natural thermal gradients present on stem for estimate of transpiration of young plants of cacao tree, and to calibration the equation of sap flow for heat dissipation probe (SDT). The experiment was carried out experimental camp belonging to NEAS, by UFRB, located in the municipality from Cruz das Almas – BA, (12° 48` S; 39° 06` W; 225 m by altitude). The study was conducted in field, with seminal cacao tree plants, in development early phase and were transplanted in 60liters and 500 liters pot. Determined the sap flow for method by SDT, with length 1 cm probes considering xylem effective sectional area driving the crude sap. The differences natural measured temperature on stem was correlated with two probes taken as reference. With objective to calibrate the Granier general equation for estimating sap flow, it was modified slope in order to minimize the absolute deviations between the sap flow and daily transpiration measured by lysimeter study of plants representing the sap flow. With the results can be to observe SDT method with the linear coefficient of the modified equation  $F = 0,000135 K^{1,231} AS$ , proved effective in estimate sap flow. The correction natural thermal gradients on stem were essential to adjust the estimate of the sap flow density for heat dissipation probe method.

**Key-words:** Granier, sap flow, xylem

## INTRODUÇÃO

Técnicas que permitam quantificar a transpiração são muito úteis em estudos sobre relações hídricas de cultivares. Trabalhos baseados em metodologias de fornecimento de calor no caule têm sido utilizados em todo o mundo.

O método de dissipação térmica desenvolvido por Granier (1985) vêm sendo pesquisado por vários autores (GRANIER & BRÉDA, 1996; LU et al., 2000; MASSAI et al., 2000; DELGADO-ROJAS, 2003; DELZON et al., 2004; FORD et al., 2004; REGALADO & RITTER, 2007; GEBAUER et al., 2008; BUSH et al., 2010; ZHANG et al., 2011; VELLAME et al., 2012 e DAVIS et al., 2012). Nestes trabalhos verifica-se a necessidade em avaliar a precisão e exatidão do método, pois há evidências de erros, destacando-se os relacionados à calibração, à presença de gradientes térmicos naturais presentes nos troncos e a determinação da área da seção condutora de seiva.

Granier (1985) calibrou o método em laboratório, primeiramente utilizando três espécies de plantas lenhosas e, posteriormente, com outras seis, verificando que uma única equação de calibração pode ser utilizada em plantas lenhosas com diâmetro de caule superior a 4 cm. Para Bush et al. (2010) a calibração deve ser realizada quando possível, pelo fato da equação original de Granier não ser universalmente aplicável a diferentes espécies e tipo de xilemas.

Delgado–Rojas et al. (2006), em seringueira, concluíram que o método de Granier é utilizável para calcular fluxo de seiva, mais recomenda-se que uma calibração independente seja executada para garantir sua precisão, incluindo a determinação da área efetiva do xilema. Hultine et al. (2010b) em um estudo com *Tamarix ramosissima*, relataram que a equação geral de Granier (1985) não é universalmente aplicável a espécies lenhosas, tendo a necessidade da realização de calibrações localmente.

Os gradientes térmicos naturais presentes nos troncos vêm sendo constatado como uma das maiores fontes de erros desta técnica. Este gradiente é efeito da radiação solar e da temperatura do ar e do solo que atuam sobre o caule. Os erros ocasionados pela existência do gradiente natural do caule ocorrem principalmente quando o sensor é colocado muito próximo do solo (CABIBEL & DO, 1991; FERREIRA & ZITSCHER, 1996; LUNDBLAD et al., 2001).

Vellame et al. (2011) estudando laranja e manga relatam a necessidade em fazer à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule para a adequada estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método de Granier. O mesmo autor concluiu ainda que, deve-se utilizar cobertura de todo o ramo acima e abaixo do sensor, com proteção (tipo saia) utilizando papel laminado, objetivando-se minimizar erros ocasionados por gradientes naturais.

Delgado - Rojas (2003) conclui em um estudo com plantas jovem de lima ácida "Tahiti" que os valores diários de fluxo de seiva pelo método de dissipação térmica mostraram-se bem concordantes com os de transpiração medidos por lisimetria, desde que feita à correção de erro devido a ocorrências de gradientes térmicos naturais no caule.

A necessidade em se conhecer a área de seção condutora de seiva é de suma importância para o cálculo de fluxo de seiva pelo método de sonda de dissipação térmica visto que a mesma determina a densidade de fluxo no local de inserção. A técnica para o procedimento exige o sacrifício de uma amostra do tronco ou da destruição total da planta, fazendo com que a mesma torne-se um problema. Miller et al. (1980) relatam que o fluxo de seiva não é uniforme em toda área porque as propriedades condutoras do caule variam durante o envelhecimento da madeira. Meinzer et al. (2001) afirmam que ocorre imprecisão nas taxas de transpiração e essa variação de fluxo de seiva é ocasionada devido a incerteza da área condutora.

O objetivo do trabalho foi calibrar a equação de determinação do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica (método Granier) e estudar o efeito dos gradientes térmicos naturais presentes no caule para a estimativa da transpiração de plantas jovens de cacaueiro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização do experimento**

O experimento foi conduzido na área experimental do Núcleo de Engenharia de Água e Solo - NEAS, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, localizada no município de Cruz das Almas – BA, à latitude de 22°42' S, longitude 47°38' W e altitude de 220 m. O clima da região é classificado como úmido e sub úmido, com umidade relativa e temperatura

média anual de 80% e 24°C, respectivamente, e pluviosidade média anual de 1.143 mm (D'ANGIOLELLA et al., 1998).

Em estudos preliminares as plantas foram conduzidas expostas a ação direta do vento, ocasionando danos físicos e queima das folhas, acarretando na queda prematura dessas folhas e conseqüentemente mortes das plantas. Decidiu-se pela a instalação de quebra ventos entorno das plantas, utilizando-se Tela F9 mosquiteiro branco 1,00 x 50 m, marca NORTENE, como mostra a Figura 1, com o objetivo de minimizar as plantas a ação dos ventos.

Foram utilizados vasos (60 e 500 litros) preenchidos com solo sobre uma camada de 2,5 cm de espessura de brita revestida por uma manta tipo geotêxtil "Bidim". Na parte inferior foi instalado registros, para o sistema de drenagem.



Figura 1. Barreira protetora da cultura do cacauero em fase de desenvolvimento

### **Características físicas e químicas do solo**

O solo utilizado foi coletado da camada 0 – 20 cm na área da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB e classificados por Carvalho et al. (2002) como Latossolo Amarelo coeso A moderado, de baixa fertilidade química e apresentando horizontes subsuperficiais coesos.

O solo foi seco ao ar livre e posteriormente retiradas amostras para análises químicas (Tabela 1), realizadas no laboratório de análise de solo, água e tecidos vegetais da Casa Familiar Rural – CFR, localizado no município de Tancredo Neves, Bahia.

Tabela 1: Análise química do solo utilizada no experimento

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC	V	m
(água)	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							%	
7,39	17,63	0,77	0,15	3,50	0,70	0,00	0,49	5,61	91,26	0,0

### Lisímetros para estudo com plantas jovens

Foram utilizadas seis plataformas de pesagem (Figura 2) cujas características estão especificadas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificação dos lisímetros utilizados no experimento

Nº de plataformas	Dimensões (mm x mm)	Material	Nº de célula de carga	Capacidade (Kg x g)
4	500 x 400	Aço carbono	1	120 x 20
2	900 x 900	Aço carbono	4	1000 x 100

Os lisímetros de 1 à 4 correspondem as plataformas de pesagem com capacidade de 120 kg x 20 g, e os lisímetros 5 e 6 correspondem as plataformas de pesagem com capacidade de 1000 kg x 100 g . Para a aquisição de dados foi utilizado o “datalogger” CR1000 Campbell SCi., associado a multiplexadores de canais AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi, como pode ser observado na Figura 3 com medidas realizadas a cada 30 segundo; as médias de cada 1 hora foram lidas e armazenadas.



Figura 2. Plataformas de 120 kg (A) e 1000 Kg (B), para experimento em vasos

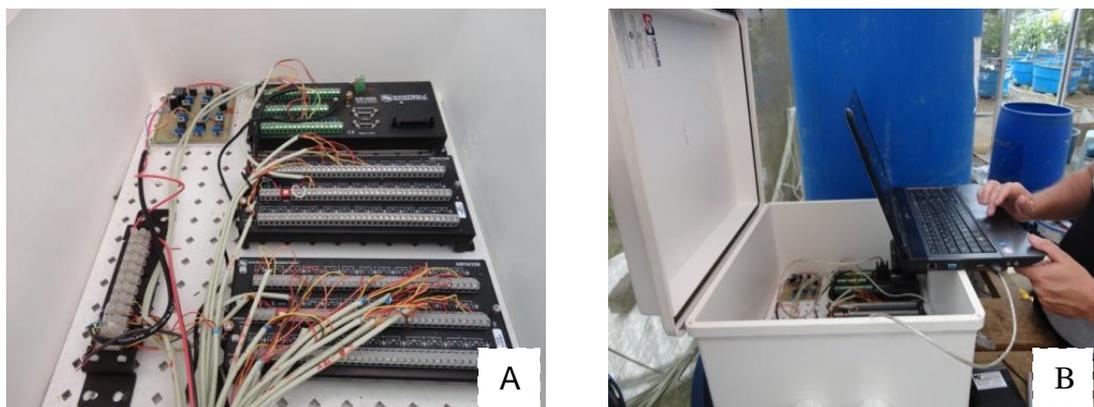


Figura 3. Sistema de aquisição (A) e coleta de dados (B)

Foram confeccionados pesos conhecidos de 1000 g e 5000 g usando sacos com britas pesados em balança analítica, com o objetivo de fazer a calibração dos lisímetros de pesagem. Os pesos foram aplicados em ordem crescente e decrescente em cinco ciclos de leituras, durante o período noturno, com intuito de minimizar a interferência provocada pela ação do clima. Após cada acréscimo e decréscimo de massa, aguardou-se a estabilização da voltagem de leitura do datalogger CR1000 Campbell SCi para a realização da anotação.

Foi determinado o erro máximo absoluto, o erro médio e a incerteza das medições na faixa de operação usadas nos lisímetros. Calculou-se a incerteza das medições conforme o método proposto por Gonçalves Jr (2004), como é apresentado na Eq. (1), para 5 medidas a 95% de confiabilidade:

$$I = \frac{(\delta t)}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Em que,

I - incerteza das medições;

$\delta$  - desvio padrão;

t – coeficiente de Student;

n – número de medidas.

### **Cultura, transplântio e condução**

O estudo foi realizado em plantas de cacauero seminal (6 plantas), em fase inicial de desenvolvimento, cujas as mudas foram cedidas pela Comissão Executiva do Plano de Ação da Lavoura Cacaueira – CEPLAC, localizada no município de Ilhéus, no Estado da Bahia. As mudas com seis meses de idade

foram acondicionadas em vasos de 500 litros em 19 de dezembro de 2011 e as mudas com 1 ano de idade foram transplantadas em vasos de 60 litros em 5 de junho de 2012, que colocados sobre plataforma de pesagem funcionaram como lisímetros.

Os vasos de 60 litros foram colocados em plataformas de pesagem com capacidade de 120 Kg, e os de 500 litros em plataformas de pesagem com capacidade de 1000 Kg. O experimento em vaso, na fase inicial da cultura do cacaueteiro foi implantado conforme a Figura 4.



Figura 4. Experimento em vasos em fase inicial de desenvolvimento

Foram preenchidos nos vasos, britas, manta tipo geotêxtil “Bidim” e solos em quantidades semelhantes ao do experimento, porém, sem a planta e cobertos com lona plástica com o objetivo de evitar a evaporação. Os solos acomodados nos vasos foram colocados para saturação em caixas de água com o volume de água equivalente a  $2/3$  da altura dos vasos. Os vasos foram mantidos durante 48 horas para que ocorresse a saturação completa.

Após o período de 48 horas, os vasos de 60 litros foram colocados em plataformas de pesagem de 120 Kg, como mostra a Figura 5, e colocados para drenar livremente, sendo medidas suas massas nos tempos zero e após 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156, 168, 180, 192 e 204 horas.



Figura 5. Vasos acondicionados em cima das plataformas de pesagem e colocados para drenar livremente.

Com bases nos resultados do experimento de drenagem, a capacidade de vasos foi estimada observando o tempo decorrido até a estabilização da massa (204 horas). O turno de rega foi de um dia e a irrigação realizada manualmente com o uso de proveta volumétrica.

Durante o período experimental foi realizado semanalmente o controle manual de plantas espontâneas. Foi realizada adubação química tomando como base o valor obtido pela diferença entre os teores de nutrientes fornecidos pelo efluente e a recomendação técnica para a cultura.

### **Funcionamento da sonda de dissipação térmica (SDT)**

Cada sensor do método da SDT é composto por uma sonda aquecida à potência constante e por uma sonda não aquecida (sonda de referência), que possuem internamente um termopar, conforme a Figura 6. A potência aquecida tem o valor de 0,1 W por centímetro de comprimento do sensor.

Determinou-se o fluxo de seiva pelo método de Sondas de Dissipação Térmica - SDT ou método de Granier (1985), que relaciona a densidade de fluxo de seiva (Fd) e a diferença de temperatura ( $\Delta t$ ) entre as duas sondas, aquecida e não aquecida, como segue na Eq. 2:

$$Fd = \alpha k^{\beta} = 118,9 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} \quad (2)$$

Em que,

Fd – densidade de fluxo de seiva,  $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ;

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre as duas sondas;

$\alpha$  e  $\beta$  – coeficientes empíricos.

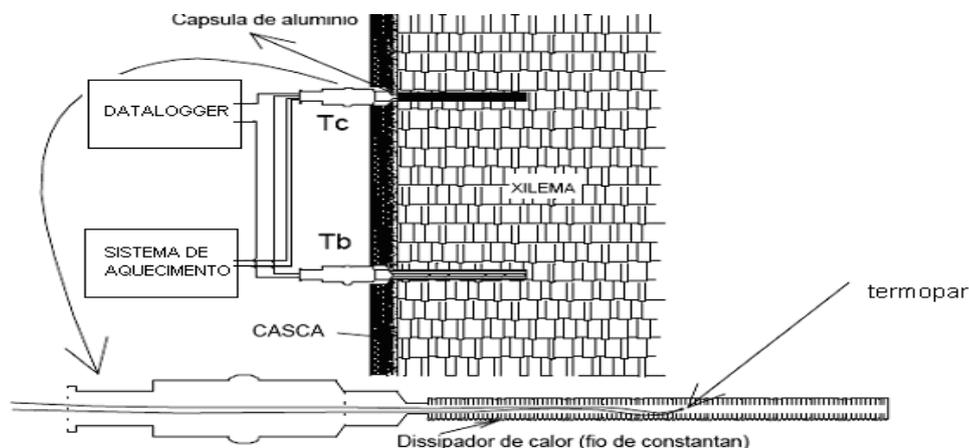


Figura 6. Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (Fonte: DELGADO – ROJAS, 2003)

O fluxo de seiva foi calculado considerando a área de seção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta, como sugere a Eq. 3:

$$F_s = F_d \cdot AS \quad (3)$$

Em que,

$F_s$  – fluxo de seiva,  $m^3 s^{-1}$ ;

$F_d$  – densidade de fluxo de seiva,  $m^3 m^{-2} s^{-1}$ ;

$AS$  – área de seção efetiva do xilema,  $m^2$ .

### Gradientes térmicos naturais em plantas em fase de desenvolvimento cultivadas em vasos

Com o objetivo de minimizar o efeito dos gradientes térmicos naturais do caule foi estabelecido o isolamento térmico do sensor, proposto por (VELLAME, 2007), como mostra a Figura 7.

As diferenças térmicas naturais (DTN) foram medidas com as sondas não aquecidas, sondas de referência, em duas plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros, no período de 28 de janeiro à 04 de fevereiro de 2013.

As diferenças naturais de temperatura medidas no caule foram correlacionadas com duas sondas tomadas como de referência, com o intuito de gerar por meio de regressão linear, modelos de estimativa para cada segmento de caule monitorado, como mostra a Eq. 4:

$$DTN_E = \alpha DTN_{ref} + \beta \quad (4)$$

Em que,

$DTN_E$  – diferença térmica natural estimada para cada sonda, °C;

$DTN_{ref}$  – diferença térmica natural tomada como referência, °C;

$\alpha$  e  $\beta$  – coeficientes empíricos.



Figura 7. Isolamento térmico do caule com papel alumínio em formato de saia, acima e abaixo do sensor, permitindo a dissipação de calor do volume coberto, entre o caule e o laminado

A diferença térmica com o sensor aquecido foi corrigida como segue a Eq. 5:

$$\Delta T = \Delta T_{m\acute{a}x} - DTN_E \quad (5)$$

Em que,

$\Delta T$  – diferença térmica atual corrigida, °C;

$\Delta T_{m\acute{a}x}$  – diferença térmica não corrigida medida pela sonda, °C;

$DTN_E$  – diferença térmica natural estimada para cada sonda, °C.

O fluxo de seiva ( $m^3 m^{-2} s^{-1}$ ) foi calculado com e sem correção das diferenças térmicas naturais pela equação de Granier, em duas plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros e 2 plantas nos vasos de 50 litros. No período de 28 de janeiro a 04 de fevereiro de 2013 realizou-se a comparação entre as medidas de fluxo de seiva com e sem compensação dos GTN.

Para a aquisição de dados foi utilizado o “datalogger” CR1000 Campbell Sci. associado a multiplexadores de canais AM 1632 Relay Multiplexer,

Campbell SCi, com medidas realizadas a cada 30 segundo; foram armazenadas as médias a cada 1 hora.

### Construção e Instalação das sondas de dissipação térmica

As sondas de dissipação térmica foram construídas no laboratório do Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS) da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas – BA. Foram construídas com 1 cm de comprimento utilizando-se termopares de “cobre-constantan” de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de 1,0 mm, preenchidas com resina para fixação.

A potência aplicada na sonda superior foi de 0,1W por centímetro de comprimento da sonda. Foram utilizadas fontes de corrente, pois estas apresentam a vantagem de manter a potência na sonda constante quando resistências elétricas dos fios de cobre variam com a temperatura ambiente. As Figuras 8 e 9 apresentam o diagrama eletrônico da fonte de corrente ajustável e a fonte de corrente constante ajustável, respectivamente.

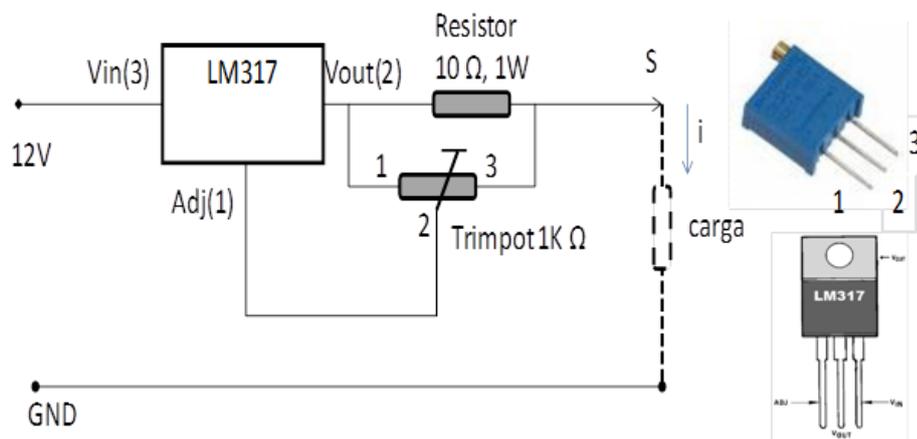


Figura 8. Diagrama eletrônico da fonte de corrente constante ajustável

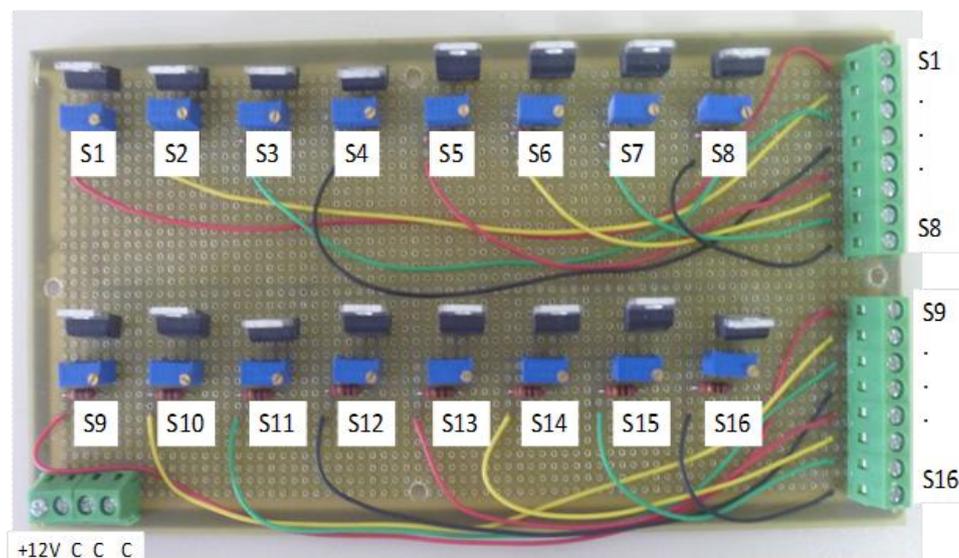


Figura 9. Fonte de corrente constantes ajustável

O processo de instalação das sondas de dissipação térmica no caule da planta encontra-se na Figura 10. Para a instalação das sondas foram feitos dois furos no caule de diâmetros igual ao da cápsula inserida. O furo inferior das plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros foram distanciados a 5 cm da superfície do solo e 8 cm do furo superior e das plantas acondicionadas nos vasos de 500 litros foram distanciados a 10 cm da superfície do solo e 8 cm do furo superior. As cápsulas tem um comprimento de 1 cm e foi construída com tubo metálico com a finalidade de possibilitar a retirada da sonda. As sondas foram revestidas com pasta térmica objetivando-se melhorar a condução de calor, e inseridas na cápsula.

### **Área de seção condutora de seiva no caule e posicionamento dos sensores**

O conhecimento da área de seção condutora no caule é requerido para a estimativa de fluxo de seiva pelo o método de Granier.

Com o intuito em estimar a área de seção (AS) foram seccionados ramos e troncos de diversos diâmetros de cinco plantas adultas distintas utilizadas no experimento em novembro de 2012. Após esse processo, foram feitas imagens das seções transversais, e com o auxílio de software CAD (desenho assistido por computador), foram determinadas as dimensões das regiões presentes no caule conforme ilustrado na Figura 11. A área de seção

condutora foi relacionada com o diâmetro externo do caule por meio de regressão linear.

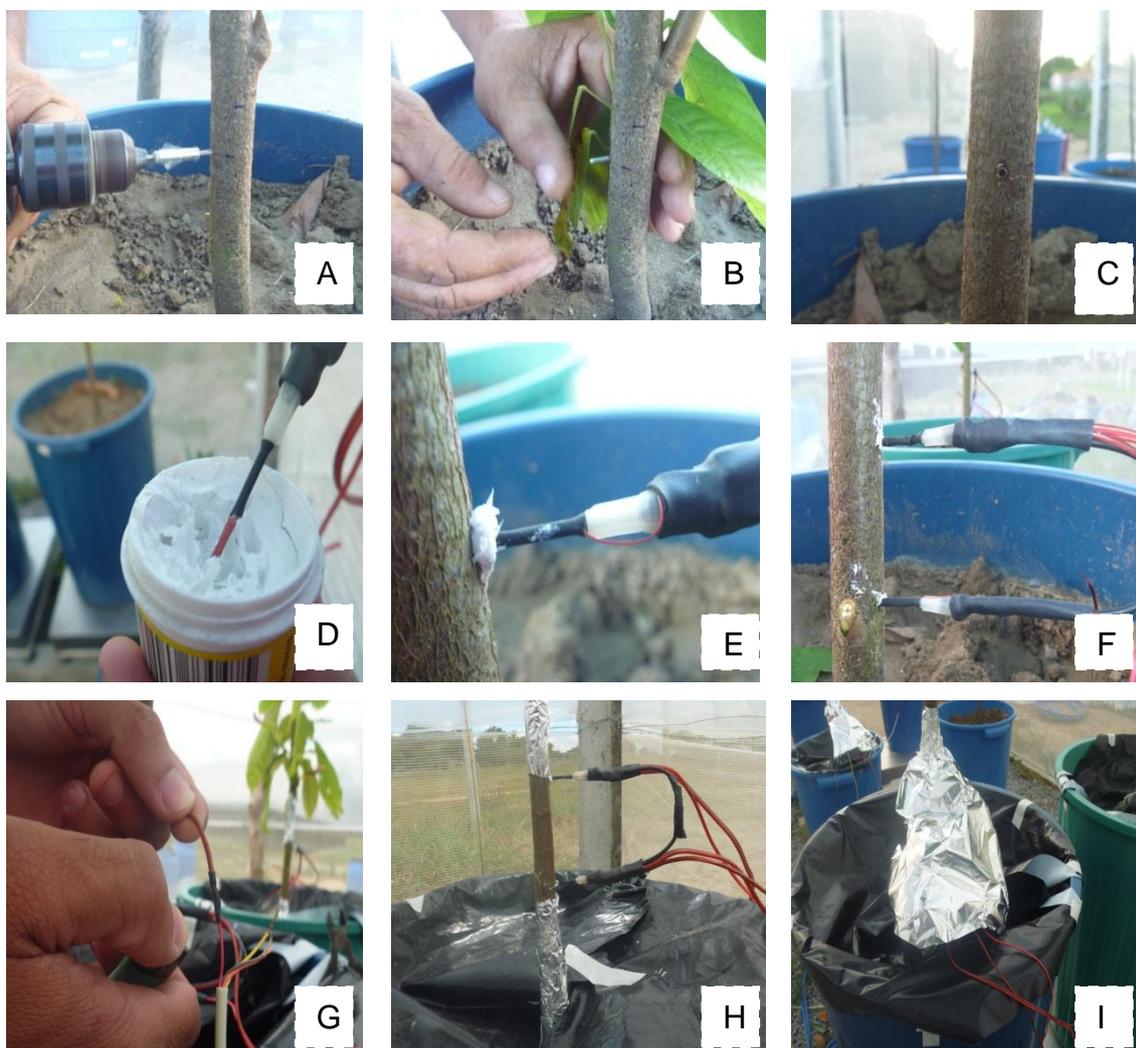


Figura 10. Procedimento de instalação de sondas de dissipação térmica em cacauzeiro na fase inicial de desenvolvimento. A – Furos no caule; B – Instalação das cápsulas de aço; C – Cápsulas inseridas; D – Preenchimento da sonda com pasta térmica; E – Instalação das sondas; F – Sondas inseridas; G – Ligar as sondas junto à fonte de corrente e ao (‘datalogger’ CR1000 Campbell SCi.); H - Caule isolado acima e abaixo do sensor e I - Isolamento do caule com papel alumínio em formato de saia.

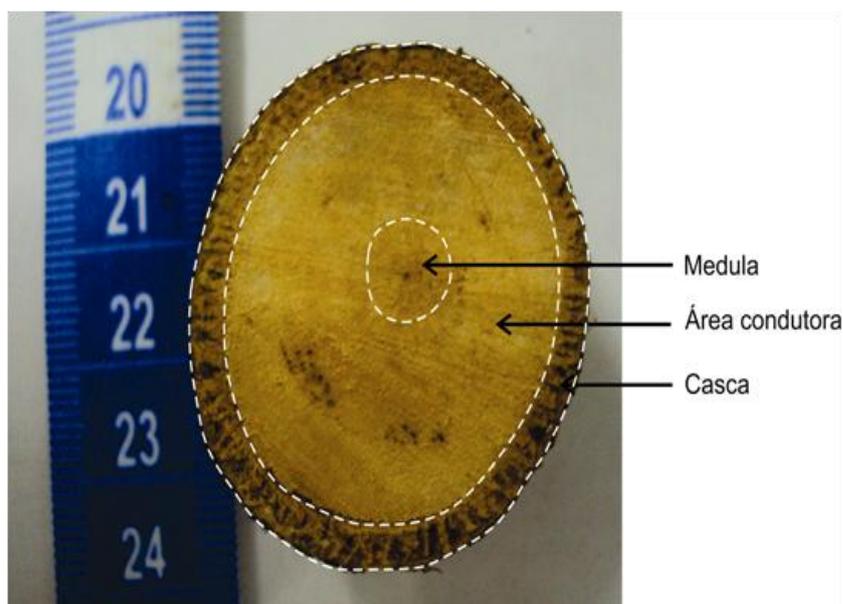


Figura 11. Seção transversal do caule

### Área foliar

As estimativas da área foliar (AF) do cacaueteiro foram realizadas pelo método não destrutivo, pois poupam as amostras. A AF foi determinada utilizando a relação entre as dimensões lineares da folha (C x L) e a respectiva área. Foram realizadas medidas do comprimento (C) e da largura (L) com o auxílio de uma régua milimetrada. A Eq. (6) utilizada para a estimativa da área foliar foi determinada conforme Oliveira et al. (2012). A Tabela 3 apresenta o número de folhas e a área foliar (cm<sup>2</sup>) das plantas em estudo.

$$AF = 0,6980(L C) \quad (6)$$

Em que,

AF - área foliar (cm<sup>2</sup>);

L - largura da folha (cm);

C - comprimento da folha (cm).

Tabela 3: Número de folhas, área foliar em plantas de cacaueteiro em fase inicial desenvolvimento

Planta	Número de folhas	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
Planta 1	43,00	52,49
Planta 2	61,00	106,35
Planta 3	92,00	319,20
Planta 4	75,00	205,89

Com o objetivo de calibrar a equação geral de Granier (Eq. 2) para a estimativa de fluxo de seiva, foi modificado o coeficiente angular com o intuito de minimizar os desvios absolutos entre o fluxo de seiva e transpiração diária medida pelo lisímetro das plantas em estudo representando o fluxo de seiva.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Calibração dos lisímetros

Conforme a metodologia apresentada procedeu-se a calibração dos lisímetros obtendo alta correlação entre leituras de células de carga (mV) e a massa do conjunto (Kg). As Figuras 12 e 13 apresentam o resultado do processo de calibração, obtidas por análise de regressão. Com os resultados obtidos foi possível verificar que os coeficientes de determinação para as duas curvas (crescente e decrescente) apresentaram valores semelhantes.

Ao realizarem calibrações semelhantes em lisímetros de pesagem, Fernandes et al. (2012), em um trabalho de instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga, concluíram que em condições de campo, pode-se fazer a calibração com a adição ou com a subtração de massas-padrões, fazendo-se uso de qualquer das duas séries de massas utilizadas. Carvalho et al. (2007), em um trabalho com instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem, encontraram também resultados satisfatórios para os coeficientes de determinação para as duas curvas (crescente e decrescente).

A utilização dos dados gerados pelo sistema de pesagem com confiabilidade, requer uma observação acurada nos dados obtidos durante o processo de calibração, o que não pode ser verificado apenas pela análise de regressão linear. Schmidt (2008), estudando a necessidade hídrica da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) tipo sumatra cultivado em ambiente protegido no recôncavo da Bahia, concluiu que a regressão linear não deve ser o único parâmetro a ser utilizado para a avaliação da calibração de lisímetros de pesagem. Para o autor, um coeficiente de determinação elevado não representa integralmente a acurácia existente no sistema.

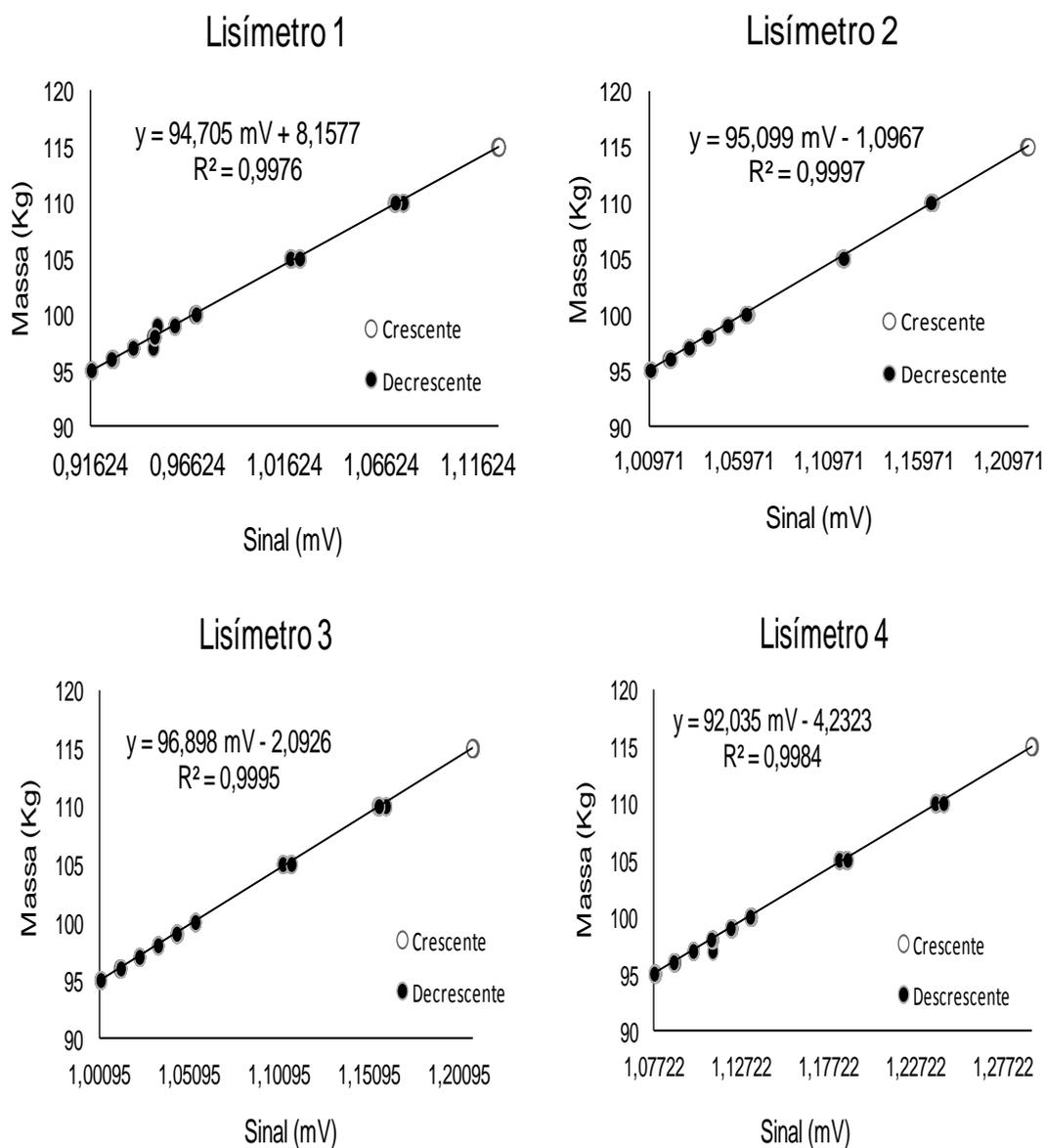


Figura 12. Análise de regressão da calibração dos lisímetros de 120 Kg

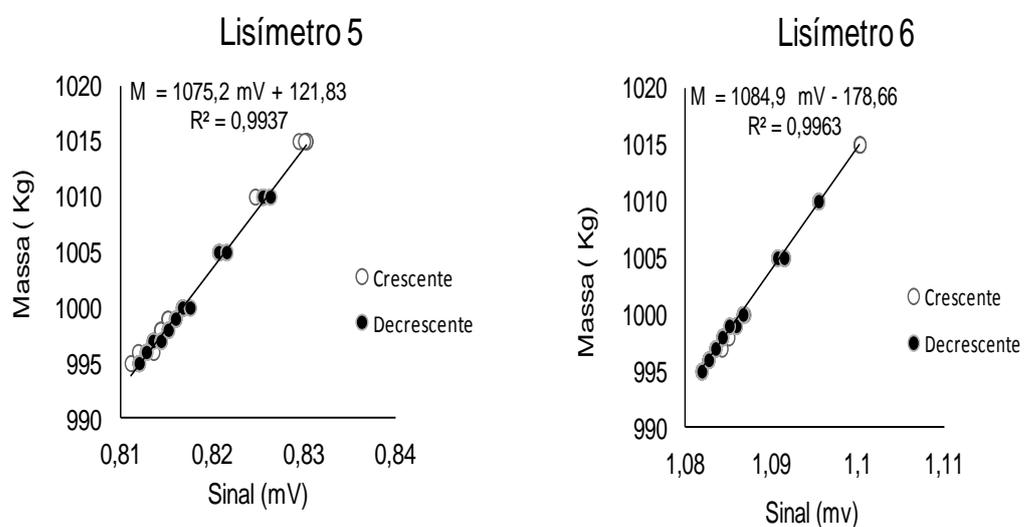


Figura 13. Análise de regressão da calibração dos lisímetros de 1000 Kg

Nas Tabelas 4 e 5 são descritos os erros obtidos nos cinco ciclos com a adição e subtração de massas para a calibração do lisímetro de pesagem de acordo com a metodologia sugerida por Wheeler & Ganji (1996), e aplicada por Vellame (2005) e Santos (2006). Os erros apresentados estão em valores adequados ao estudo, dada sua pequena magnitude e pela redução do erro de repetitividade (incerteza) quando tomadas as médias horárias. A repetitividade foi o valor que mais interferiu na acurácia do instrumento. A adoção de leituras médias ao invés de apenas uma leitura pôde contribuir substancialmente para a redução do erro de acurácia do sistema de pesagem.

Tabela 4: Erros dos lisímetros de pesagem de 120 Kg

	<b>Erro</b>			
	Lisímetro 1	Lisímetro 2	Lisímetro 3	Lisímetro 4
Erro Máx. Absoluto (Kg)	0,281	0,210	0,462	0,294
Erro Médio (Kg)	0,081	0,066	0,098	0,074
Incerteza (%)	0,3	0,1	0,3	0,3

Tabela 5: Erros dos lisímetros de pesagem de 1000 Kg

	<b>Erro</b>	
	Lisímetro 5	Lisímetro 6
Erro Máx. Absoluto (Kg)	1,359	1,653
Erro Médio (Kg)	0,380	0,290
Incerteza (%)	0,8	1,1

### **Área de seção condutora de seiva no caule e posicionamento dos sensores**

A relação entre a área de seção condutora de fluxo de seiva (AS) e o perímetro externo do caule é apresentada na Figura 14. Os dados apresentaram bom ajuste por equação linear. Da área total da seção reta do caule, a seção condutora de fluxo (AS) representa 78,95 %, a casca 11,39 % e a medula 9,66 %.

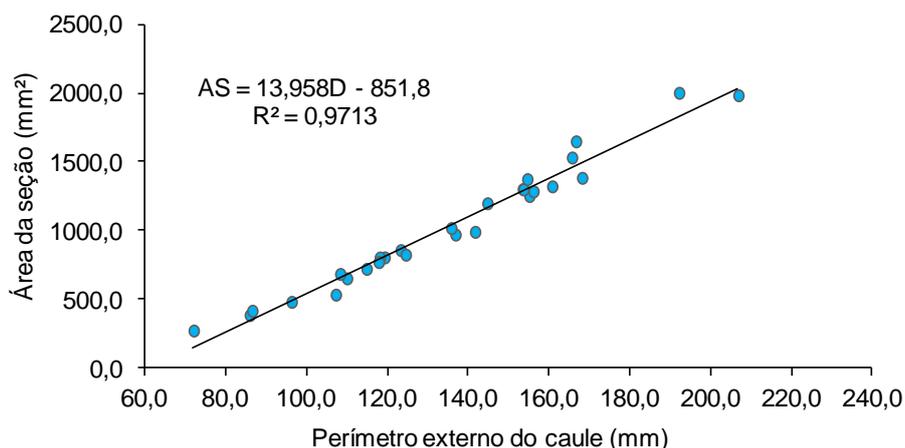


Figura 14. Área de seção condutora de seiva bruta (AS) em função do perímetro externo do caule, entre 65 e 240 mm de diâmetro

A área de seção condutora de seiva foi obtida a partir da equação apresentada na Figura 14. Com isso, foi possível estimar a AS das plantas nas quais os sensores foram instalados, permitindo obter a transpiração por planta por meio da multiplicação entre a densidade de fluxo de seiva e a área de seção de cada planta. A Tabela 6 representa o perímetro externo do caule (mm) e a área de seção condutora de seiva bruta (m<sup>2</sup>) das plantas estudadas.

Tabela 6: Perímetro externo do caule, área de seção condutora de seiva bruta em plantas de cacaueteiro em fase inicial desenvolvimento

Planta	Perímetro externo (mm)	Área de seção condutora (m <sup>2</sup> )
Planta 1	70,000	1,2500 10 <sup>-4</sup>
Planta 2	68,000	9,7344 10 <sup>-5</sup>
Planta 3	110,000	6,8300 10 <sup>-4</sup>
Planta 4	100,000	5,4400 10 <sup>-4</sup>

Ao longo de oito dias são apresentados o curso de fluxo de seiva para as plantas de cacaueteiro em fase inicial de desenvolvimento, conforme ilustra a Figura 15. Verificou-se que os valores de fluxo de seiva apresentaram variabilidade entre as plantas ao longo do experimento, com valores variando de 0,142 a 1,195 litros dia<sup>-1</sup>. As plantas 1 e 2 apresentaram um fluxo de seiva acumulado no período estudado de 1,709 litros com área foliar 52,49 cm<sup>2</sup> e 2,010 litros com área foliar 106,350 cm<sup>2</sup>, respectivamente. No entanto, as plantas 3 e 4, no mesmo período, obtiveram um acumulado de 7,618 litros com

área foliar 319,20 cm<sup>2</sup> e 5,933 litros com área foliar 205,89 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

A Figura 16 apresenta a relação fluxo de seiva acumulado (litros) no período estudado e a área foliar (cm<sup>2</sup>), mostrando uma relação direta entre as variáveis, com o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) de 94,94 %.

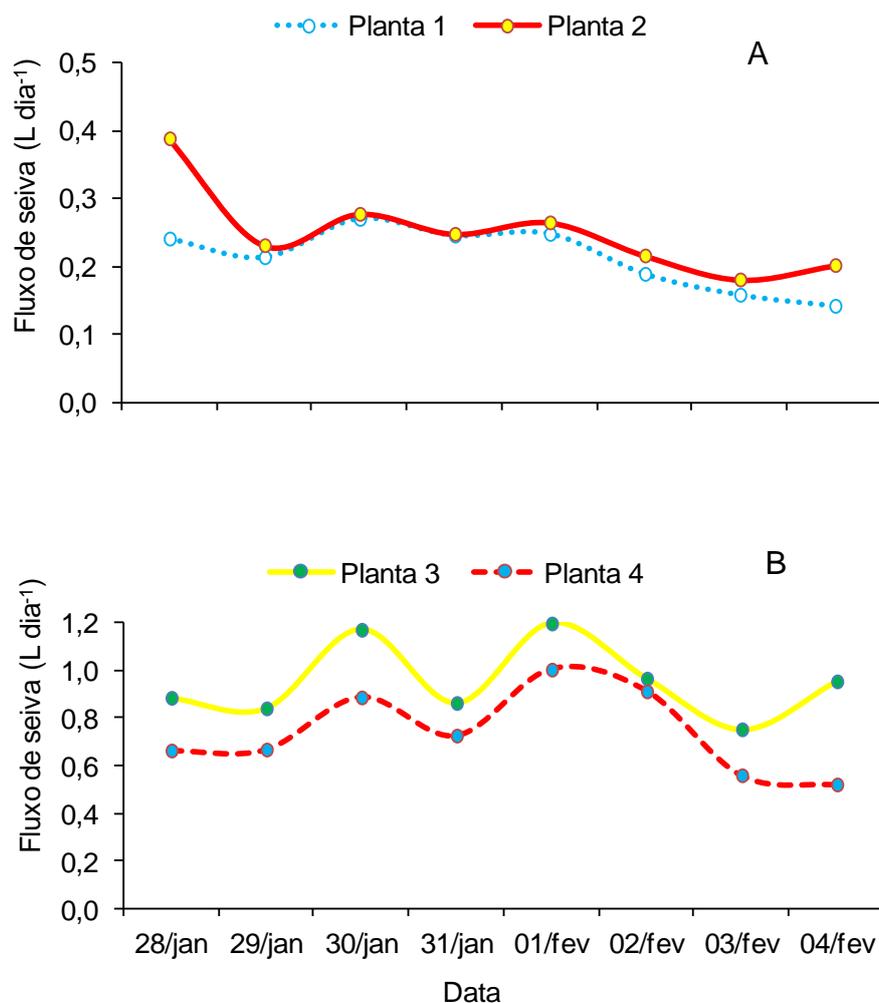


Figura 15. Curso de fluxo de seiva para plantas de cacauero em fase inicial de desenvolvimento (A) plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros – (B) plantas acondicionadas nos vasos de 500 litros nos dias Julianos 28 à 35 de 2013

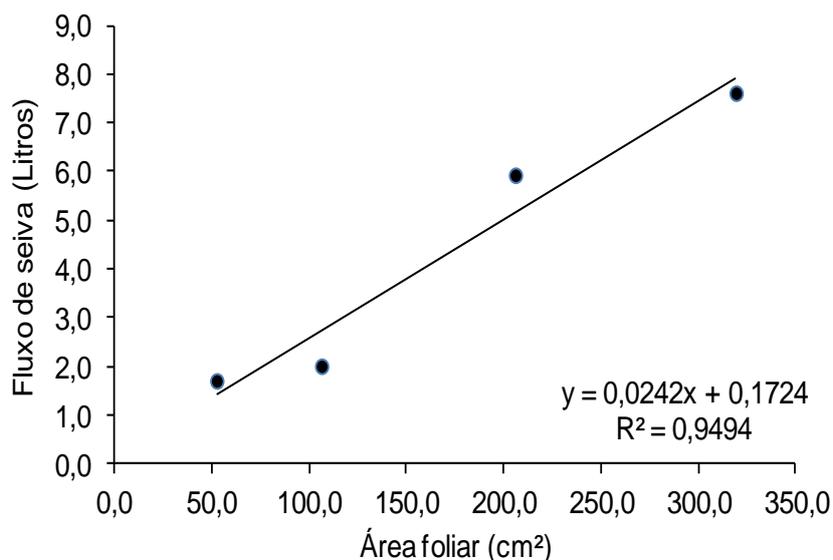


Figura 16. Relação fluxo de seiva acumulado no período de 28 de janeiro a 04 de fevereiro de 2013 versus área foliar para plantas de cacaueteiro em fase inicial de desenvolvimento

### **Gradientes térmicos naturais em plantas em fase de desenvolvimento cultivadas em vasos**

Os coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as sondas de referência e as diferenças térmicas naturais em cada caule, estão ilustrados na Tabela 7. Todos os coeficientes foram significativos a 5 % de probabilidade, a correlação entre as diferenças térmicas naturais variaram de maneira bastante acentuada. Notou-se uma correlação significativa entre as sondas de referência com as diferenças térmicas naturais de várias sondas. A sonda de referência (SDT 3) mostrou melhor correlação com as diferenças térmicas naturais do que a sonda de referência (SDT 4). Constatou-se também que a sonda 1 obteve uma correlação fraca com as demais sondas e as sondas de referência.

Para Lundblad et al. (2001), deve-se utilizar uma terceira sonda instalada horizontalmente com o intuito em compensar a diferença térmica natural (DTN), proposta esta, que pode não ser a melhor alternativa para a compensação das DTN, com os resultados encontrados, pelo fato, de as sondas de referência apresentarem boa correlação com as DTN das outras sondas. Delgado-Rojas et al. (2006), estudando fluxo de seiva em seringueira, recomendaram não prescindir do sensor de Granier modificado (três sondas),

pois ele pode explicar erros pontuais e dar maior segurança sobre o comportamento das medidas térmicas.

Entretanto, Pamponet et al. (2012), estudando cacauzeiro adulto cultivado a pleno sol no semiárido do Estado da Bahia, concluem que a temperatura do ar mostrou boa correlação com as DTN de várias sondas.

Tabela 7: Coeficiente de correlação de Pearson\* (R) entre as diferenças térmicas naturais medidas por cada sonda (2 plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros – SDT 1 e 2, e 2 plantas acondicionadas nos vasos de 500 litros – SDT 5 e 6) e entre as sondas de referência (2 plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros SDT 3 e 4)

SONDA	SDT 1	SDT 2	SDT 3	SDT 4	SDT 5	SDT 6
SDT 1	1,0000	-0,2720	-0,4330	-0,472	-0,2890	-0,4170
SDT 2	-0,2720	1,0000	0,7702	0,5475	0,5998	0,7309
SDT3	-0,4330	0,7202	1,0000	0,6016	0,8248	0,8530
SDT4	-0,4720	0,5475	0,6016	1,0000	0,4062	0,4458
SDT 5	-0,2890	0,5998	0,8248	0,4062	1,0000	0,9127
SDT 6	-0,4120	0,7304	0,8530	0,4458	0,9127	1,0000

\*Significativo a 5 % de probabilidade

Mesmo observando uma correlação favorável entre as diferenças térmicas naturais, deve-se analisar com cuidado a subtração direta dos valores medidos a qual não sofreu aquecimento, instalado em outras plantas aos registrados com as sondas que sofreram aquecimento, dada a variabilidade espacial. Os valores de média, amplitude e coeficiente de variação para os valores de diferença térmica natural estão ilustrados na Tabela 8. Analisando os valores de média e amplitude, presenciou uma disparidade entre as sondas. Compreende-se ser necessário de dados individualizados das diferenças térmicas naturais obtidas com os sensores não aquecidos para estimativa das mesmas, baseados em outro sensor não aquecido.

Do mesmo modo Vellame et al. (2011), estudando os gradientes térmicos naturais na estimativa de fluxo de seiva pelo método de Granier na cultura da manga, concluíram pela necessidade em trabalhar com dados individualizados das diferenças térmicas naturais obtidas através de sensores não aquecidos para estimar as mesmas baseados em sensores a qual não sofreu aquecimento.

Tabela 8: Média, amplitude e coeficiente de variação das sondas de referência (2 plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros) e das diferenças térmicas naturais medidas (2 plantas acondicionadas nos vasos de 60 litros e 2 plantas acondicionadas nos vasos de 500 litros )

SONDA	Média (°C)	Amplitude (°C)	CV (%)
SDT 1	0,0250	1,5650	22,3600
SDT 2	0,0390	1,3360	27,1100
SDT 3	0,1120	1,7030	32,1000
SDT 4	0,0112	1,2370	22,1500
SDT 5	0,4370	1,3910	32,2000
SDT 6	0,2100	1,6280	38,0800

A Figura 17 representa a correlação entre as medidas de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica com e sem a compensação dos gradientes térmicos naturais pelas sondas de referência para o cacaueteiro seminal em fase inicial de desenvolvimento cultivada a pleno sol em vasos de 60 e 500 litros. Observou-se que quando não compensados os gradientes térmicos naturais apresentaram uma tendência de subestimativa do método de Granier, de 14,00 %, ou seja, com a correção das DTN a subestimativa do fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica diminuiu e consequentemente a acurácia na estimativa de fluxo aumenta.

Tendências de subestimativa de fluxo de seiva pelo método de Granier quando não compensados os gradientes térmicos naturais vem sendo observadas por vários pesquisadores (MARINHO, 2011; VELLAME et al., 2011 e PAMPONET et al., 2012) .

Pamponet et al. (2012) estudando plantas adultas de cacaueteiro cultivado a pleno sol, no semiárido do Estado da Bahia observaram uma tendência de subestimativa do método de Granier, quando não compensadas as diferenças térmicas naturais (média de 5,9 %), concluindo que para uma estimativa acurada do fluxo de seiva pelo método de SDT na cultura do cacaueteiro é indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule. Os resultados de subestimativa do método de Granier, quando não compensados as DTN encontrados pelos autores foram inferiores aos encontrados neste estudo, provavelmente, por uma maior exposição do caule a radiação solar nas plantas em fase inicial de desenvolvimento, fato esse

minimizado em cacauzeiros adultos, pelo fato do cacauzeiro proporcionar auto sombreamento.

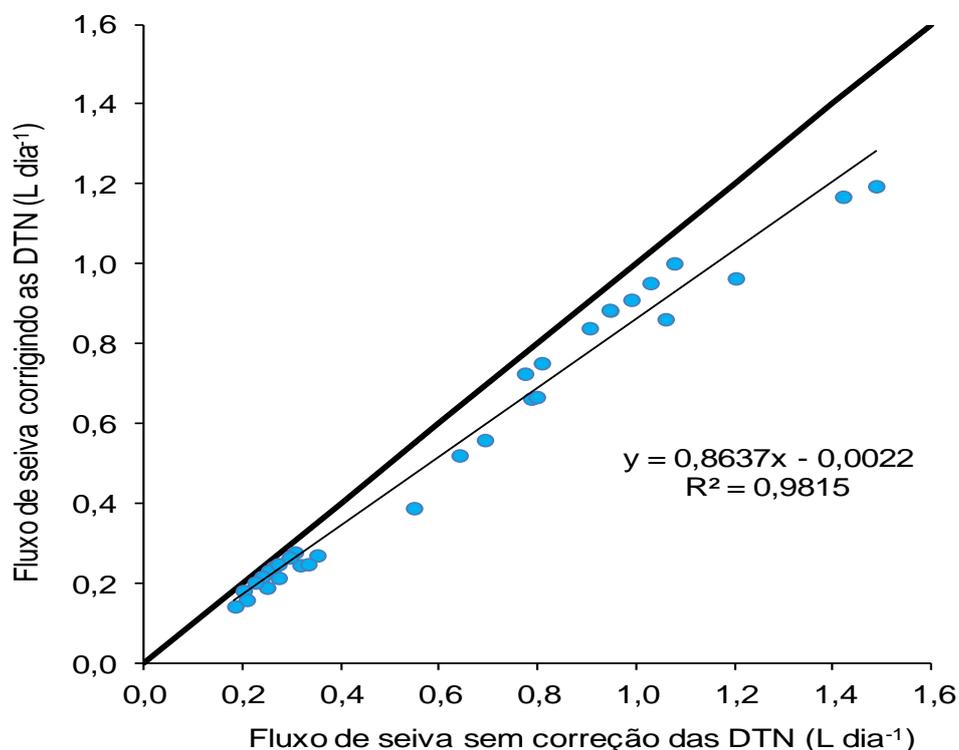


Figura 17. Relação entre o fluxo de seiva estimado com e sem correção das diferenças térmicas naturais (DTN) pela sonda de referência para cacauzeiro seminal em fase inicial de desenvolvimento cultivada a pleno sol em vasos de 60 e 500 litros dos dias Julianos 28 a 35 de 2013

Resultados semelhantes também foi verificado por Marinho (2011), estudando pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido, onde observou uma forte tendência de subestimativa do método de Granier, quando não compensadas as diferenças térmicas naturais (média de -14,9 %). A autora ainda salienta que a correção das diferenças térmicas pela subtração das diferenças térmicas estimadas faz com que a tendência de subestimativa do fluxo pelo método de Granier diminua aumentando a precisão na estimativa do fluxo de seiva.

Delgado-Rojas et al. (2007), em um estudo com o desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida concluíram que o gradiente térmico natural interfere

significativamente sobre a estimativa da transpiração. Segundo Lundblad et al. (2001), o erro ocasionado pelo gradiente térmico natural ocorre principalmente quando o sensor é instalado muito próximo do solo.

Do & Rocheteau (2002), em um estudo no Senegal, com Acácia, concluíram que os gradientes térmicos naturais raramente podem ser negligenciados, os erros na estimativa de fluxo de seiva podem ser de até 100%. Vellame et al. (2011), estudando a cultura da manga em início de desenvolvimento, em vaso e em plantas adultas, concluíram ser necessário a utilização de cobertura de todo o ramo acima e abaixo do sensor com o objetivo em minimizar os gradientes térmicos em ramos expostos. O mesmo autor afirma a necessidade em fazer a correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule com o intuito em estimar a densidade de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica.

No entanto, Delgado-Rojas et al. (2006), em um estudo com o desempenho do método de sonda de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira, observaram que, em geral, as diferenças térmicas naturais apresentaram valores muito baixos e que não interferiram sobre as medidas normais do sensor e, conseqüentemente, na estimativa de fluxo de seiva, devido à alta densidade de plantas.

É ilustrada na Figura 18, em escala diária, a correlação da transpiração medida através do lisímetro com a estimativa do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica com e sem correção dos gradientes térmicos naturais. Pode-se verificar que a estimativa de fluxo de seiva com as diferenças térmicas naturais corrigidas, apresentaram concordância com os da transpiração medida pelo lisímetro, obtendo um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 92,74 %.

Pesquisadores como Delgado-Rojas et al. (2007), estudando o desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida, observaram que com o fluxo de seiva corrigido, totalizado para 24 horas, apresentam valores bastante concordantes com o da transpiração medida pelos lisímetros. Os autores observaram que, apesar de os dados apresentarem certa dispersão com relação à linha de tendência, verificaram um subestimativa de apenas 3 %.

Para Vellame et al. (2011) com a correção dos gradientes térmicos aumenta a precisão do método de Granier na estimativa de fluxo de seiva, podendo ser verificado pelo aumento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

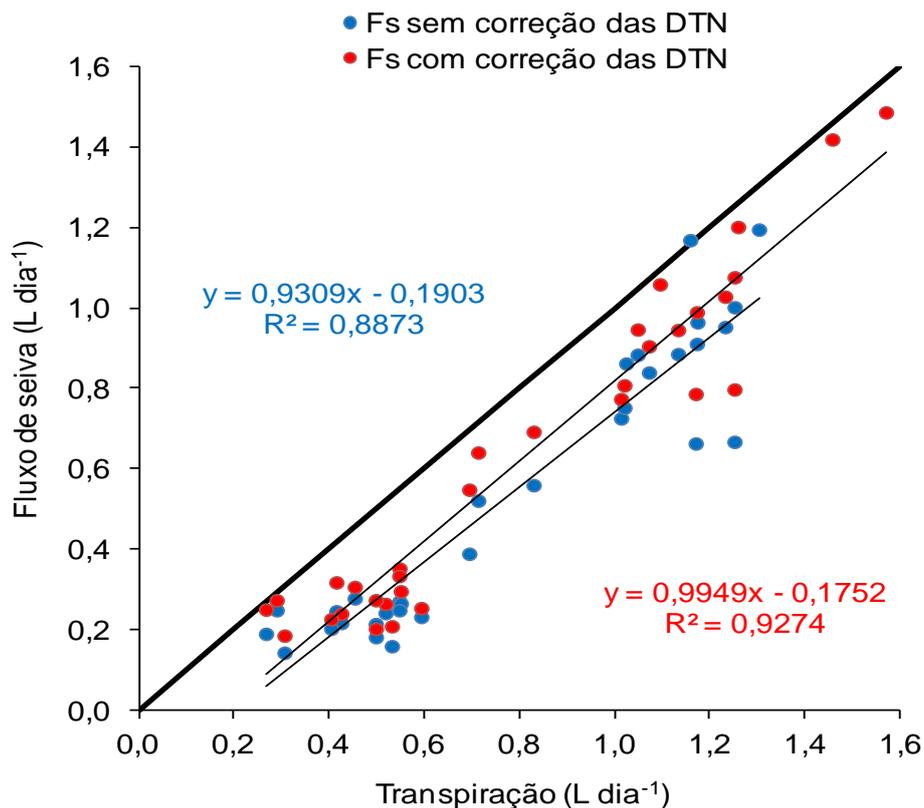


Figura 18. Relação entre estimativa do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica com a transpiração medida através do lisímetro com e sem correção dos gradientes térmicos naturais dos dias Julianos 28 a 35 de 2013, em plantas de cacaueteiro na fase inicial de desenvolvimento

### Equação da calibração da sonda de dissipação térmica

A Figura 19 apresenta o curso de fluxo de seiva estimado – sonda de dissipação térmica e da radiação solar global, ao longo de 4 dias, em plantas de cacaueteiro em fase inicial de desenvolvimento cultivadas a pleno sol. Para Angelocci (2002), a planta com condições hídricas normais, a variação de fluxo de seiva acompanha a radiação solar global, sendo a mesma fonte primária de energia para a transpiração.

Observou-se que no período diurno a variação de temperatura apresentaram-se menores, devido ao elevado fluxo nos horários entre 11:00 às 15:00 horas. A densidade de fluxo cresceu com o incremento da radiação solar, alcançando seu ponto mais elevado entre 11:00 às 14:00 horas, decrescendo nas próximas horas. No entanto, o fluxo tem a tendência a se tornar mínimo ou nulo no final da noite.

Do mesmo modo Trentin et al. (2011) estudando cana-de-açúcar verificaram que a transpiração aumentou no período de 10:00 às 13:00 horas, mostrando influência entre a relação radiação solar e transpiração.

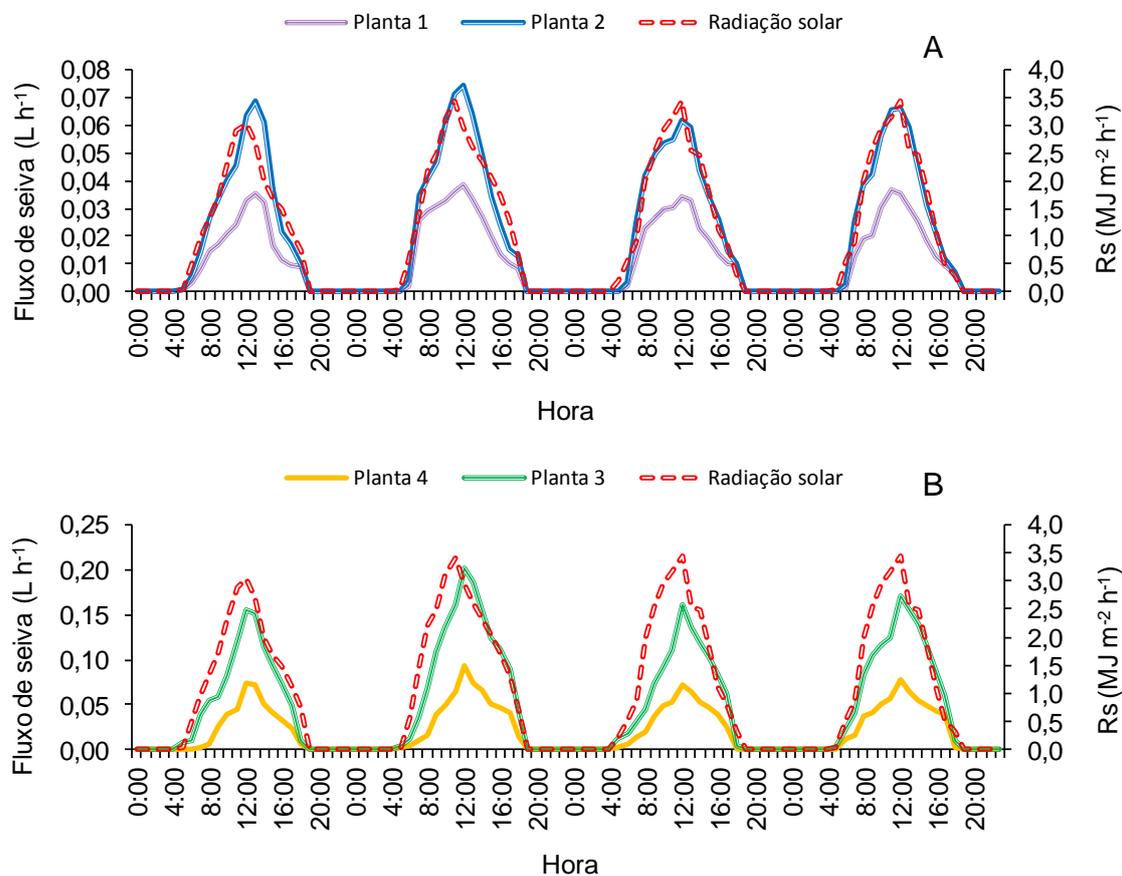


Figura 19. Curso de fluxo de seiva, medido por sonda de dissipação térmica, (SDT) de cacaveiro em fase inicial de desenvolvimento cultivada a pleno sol em vasos de 60 (A) e 500 (B) litros e da radiação solar global dos dias Julianos (29 à 32 de 2013), considerando válidas apenas as leituras de 5 às 18 horas

Observando a Figura 20, em que apresenta a relação fluxo de seiva – sonda de dissipação térmica e transpiração – lisímetro com intercepto forçado a zero, verificou-se que os coeficientes originais da equação de Granier (1985) subestimou em média de 13,00 %.

Este fato corrobora a diversos outros trabalhos encontrados na literatura consultada. Vellame et al. (2009), em mangueira, utilizando a equação geral de Granier, empregando dados da sonda de dissipação térmica, subestimou o fluxo de seiva em média de 31 % em relação à transpiração medida

diretamente pelo lisímetro. Hultine et al. (2010b), estudando *Tamarix ramosissima*, observaram que a equação geral de Granier subestimou em 50 % o fluxo de seiva, e ainda indicam que a mesma não é universalmente aplicável a espécies lenhosas.

Steppe et al. (2010), em um estudo com *Fagus grandifolia*, verificaram que a calibração da equação original de Granier subestima a estimativa de fluxo de seiva, em média de 60 % quando comparado com métodos gravimétricos.

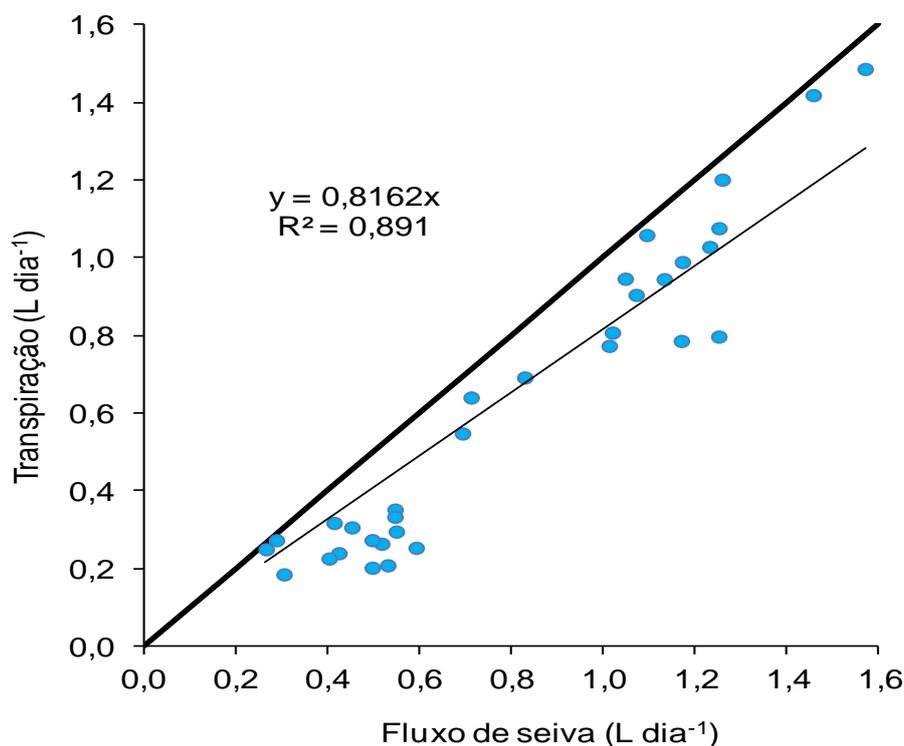


Figura 20. Relação entre fluxo de seiva pela equação geral de Granier e transpiração diária (plantas 1, 2, 5 e 6) com intercessão forçado a zero, dos dias Julianos (28 à 35 de 2013)., em plantas de cacaueteiro na fase inicial de desenvolvimento

Cotrim (2009), em um estudo com manga no semiárido baiano, contrariou os resultados encontrados, observando valores de fluxo de seiva estimado pela equação geral de Granier, obteve valores ligeiramente superiores aos de transpiração obtidos diretamente do lisímetro. O autor verificou-se que as equações de regressão, que tiveram o intercepto forçado em zero, apresentaram coeficientes angular de 1,0274 e 1,1015 e coeficiente

de determinação ( $R^2$ ) de 55,79 % e 75,32 % respectivamente. Com isso concluiu que a estimativa de fluxo de seiva pela equação geral de Granier foi por volta de 6,44 % superior à transpiração da mangueira determinada pelo lisímetro.

Araújo et al. (2012), trabalhando com o método de dissipação térmica para a determinação do fluxo de seiva em coqueiro anão-verde, concluíram que o modelo matemático obtido da calibração do método de Granier para a cultura estudada, é satisfatório para a obtenção dos valores de fluxo de seiva e, conseqüentemente, da estimativa da transpiração da cultura.

Observando a subestimativa entre o fluxo de seiva e a transpiração, decidiu-se em fazer uma modificação no coeficiente linear da equação geral de Granier aproximando os valores em escala diária como ilustra a Eq. (7). O valor ajustado por Granier (1985), onde o coeficiente  $\beta$  (1,231) da equação (2) foi mantido. O mesmo procedimento foi adotado por Coelho et al. (2012) estudando plantas jovens de laranjeira 'Valencia', em que dada a variação nas medidas dos lisímetros na escala de tempo e a defasagem entre fluxo de seiva e a transpiração, fez-se necessário modificar o coeficiente linear ( $\alpha$ ) da equação geral de Granier em escala diária para 0,000594. Os autores também mantiveram o coeficiente  $\beta$  (1,231) da equação de Granier.

Do mesmo modo Bush et al. (2010), estudando as espécies *Elaeagnus angustifolia* L., *Gleditsia triacanthos* L., *P. gambelii* Nutt, *Sophora japonica* L., *Populus fremontii* S. Watson e *Tilia cordata* Mill., encontraram resultados de calibração diferentes aos encontrados por Granier em todas as espécies. Em contraste ao coeficiente da equação de Granier (0,0001189 (eq. 2)), os autores encontraram coeficientes que variaram de 0,93 a 5,81, excedendo os coeficientes de Granier em cerca de duas a três ordens de grandeza. Entretanto, os valores obtidos para o expoente  $\beta$  foram mais semelhantes aos relatados por Granier e variaram de 1,24 a 1,88.

Taneda & Sperry (2008) também obtiveram resultados de calibração que diferem substancialmente da equação de Granier em um estudo em *Q. gambelli*, onde os valores de coeficientes  $\alpha$  relatados variaram de 0,00238 para 0,0181 m/s e os valores do expoente  $\beta$  variaram de 1,05 a 1,50.

$$F = 0,000135 K^{1,231} AS \quad (7)$$

Em que,

F - fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

AS - área de seção condutora ( $\text{m}^2$ );

Sendo K gradiente de temperatura dada pela expressão:

$$K = \left( \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \right) \quad (8)$$

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre as duas sondas.

A relação entre as medidas de transpiração efetuadas com lisímetro e o fluxo de seiva calculado pela equação geral de Granier (eq. 2) e pela (eq. 7) estão ilustradas na Figura 21. O desvio médio no período estudado entre fluxo de seiva estimado pela equação geral de Granier e pela transpiração em escala diária foi de 13,1 %; com isso foi possível observar uma subestimativa dos valores de fluxo de seiva estimado pela equação universal de Granier sem alteração dos parâmetros empíricos, com os valores de transpiração obtida com lisímetro.

Resultados semelhantes aos encontrados nesse trabalho foram verificados por outros autores. Marinho (2011), em um estudo com pimenta cv. Tabasco verificou também essas tendências de subestimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier. A autora encontrou um desvio médio entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária no período estudado de 6,1 %, verificando-se que o fluxo de seiva estimado pela equação geral de Granier, sem modificação dos parâmetros empíricos, subestima aos valores de transpiração obtida com lisímetros.

Vellame (2010) em plantas cítricas jovens também observou tendências de subestimativa do fluxo de seiva pelo método de sonda de dissipação térmica. O mesmo obteve valores de desvio médio de 9,8 % entre o fluxo de seiva e a transpiração em escala diária no período estudado.

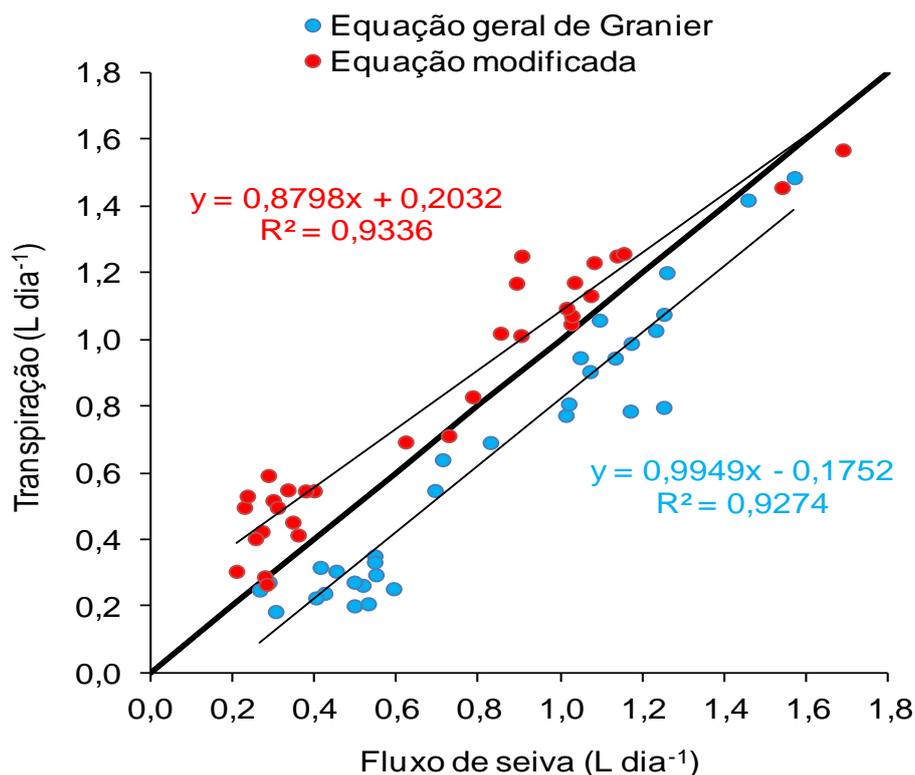


Figura 21. Relação entre a transpiração obtida pelos lisímetros e o fluxo de seiva estimado pela equação geral de Granier e pela equação modificada dos dias Julianos (28 a 35 de 2013), em plantas de cacaueteiro na fase inicial de desenvolvimento

## CONCLUSÕES

1. A correção dos gradientes térmicos naturais no caule é indispensável para adequar a estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica.
2. Utilizando a equação geral de Granier, a estimativa de fluxo de seiva para cacaueteiro subestimou a transpiração medida diretamente pelo lisímetro em aproximadamente 13,00 % com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 89,10 %.
3. O método de dissipação térmica com o coeficiente linear da equação modificada  $F = 0,000135 K^{1,231} AS$ , mostrou-se eficaz na estimativa de fluxo de seiva em escala diária.

## REFERÊNCIAS

- ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Balanço hídrico da planta. Piracicaba: O autor, 2002. 272 p.
- ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, L. E. Método de dissipação térmica para a determinação de fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Revista Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 558-562, 2012.
- BUSH, S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLERINGER, J. R. Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1545-1554, 2010.
- 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**, v. 11, p. 669-678, 1991.
- CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 363 – 372, 2007.
- CARVALHO, S. R. L.; REZENDE, J. O.; FERNADES, J. C.; PEREIRA, A. P. Caracterização e avaliação de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano. Etapa I. **Magistra**, v. 14, n. 1, 2002. Disponível em: <http://WWW.magistra.ufrb.edu.br/publica/magist14/02-14-04c.html>. Acesso em 10 de nov. 2012.
- COELHO, R. D.; VELLAME, L. M.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the `Valencia` orange young plant using. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 573-581, 2012.
- COTRIM, C. E. **Otimização da irrigação localizada em pomares de manga no semiárido baiano**. 2009, p. 78-82. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 2009.

D'ANGIOLELLA, G. L. B.; CASTRO NETO, M. T.; COELHO, E. F. Tendências climáticas para os tabuleiros costeiros da região de Cruz das Almas, BA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. ANAIS... Lavras, MG: SBEA, v. 1, p. 43-45, 1998.

DAVIS, T. W.; KUO, C. M.; LIANG, X.; YU, P. S. Sap Flow Sensors: Construction, Quality Control and Comparison. **Sensors**, v. 12 p. 954-971, 2012.

DELGADO-ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citrus, com base para o manejo de irrigação**. p. 110 - 113, TESE (Doutorado) ESALQUE/USP, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J. S.; RIGHI, C. A.; SHIGUEKAZU, K; ANGELOCCI, L. R.; BERNARDES, M. S.; FOLEGATTI, M. V.; Desempenho do método de sonda de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 722-729, 2006.

DELGADO-ROJAS, J. S.; ANGELOCCI, L. R.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO FILHO, M. A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

DELZON, S.; SARTORE, M.; GRANIER, A.; LOUSTAU, D. Radial profiles of sap flow with increasing tree size in maritime pine. **Tree Physiology**, v. 24, p. 1285–1293, 2004.

DO, F. & ROCHETEAU, A. Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 1. Field observations and possible remedies. **Tree Physiology**, v. 22, p. 641–648, 2002.

FERNANDES, C. N. V.; AZEVEDO, B. M. de; ARAÚJO VIANA, T. V. de; BOMFIM, G. V. do; MESQUITA, J. B. R. Instalação e Calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga. **Revista Irriga**, v. 17, n. 2, p. 251-263, 2012.

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.

FORD, C. R.; MCGUIRE, M. A.; MITCHELL, R. J.; TESKEY, R. O. Assessing variation in the radial profile of sap flux density in Pinus species and its effect on daily water use. **Tree Physiology**, v. 24, p. 241–249, 2004.

GEBAUER, T.; HORNA, V.; LEUSCHNER, C. Variability in radial sap flux density patterns and sapwood area among seven co-occurring temperate broad-leaved tree species. **Tree Physiology**, v. 28, p.1821–1830, 2008.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tron des arbres. **Annales Sciences Forestieres**, v. 42, p. 193 – 2000, 1985.

GRANIER, A. & BRÉDA, N. Modeling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. **Annales Sciences Forestieres**, v.53, n. 2, p. 537-546, 1996.

GONÇALVES JÚNIOR, A. A. **Metrologia**: parte I. Florianópolis: UFSC, p. 32 – 35, 2004.

HULTINE, K. R.; NAGLER, P. L.; MORINO, K.; BUSH, S. E.; BURTCH, K. G.; DENNISON, P. E.; GLENN, E. P.; J.R. EHLERINGER, J. R. Sap flux-scaled transpiration by tamarisk (*Tamarix* spp.) before, during and after episodic defoliation by the saltcedar leaf beetle (*Diorhabda carinulata*). **Agric. For. Meteorol**, v.150, p. 1467–1475, 2010b.

LU, P.; MULLER, W. J.; CHACKO, 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**, v. 58, p. 625-638, 2001.

MASSAI, R.; REMORINI, D.; FERREIRA, M. I.; PAÇO, T. A. Sap flow in peach trees during water stress and recovery in two environmental conditions. **Acta Horticultural**, v. 537, p. 351-358, 2000.

MARINHO, L. B. **Irrigação plena e com déficit em pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido**. 2011, p. 33 – 34. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2011.

MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; ANDRADE, J. L. Regulation of water flux through tropical forest canopy trees: do universal rules apply ? **Tree Physiol**, v. 21, p. 19–26, 2001.

MILLER, D. R.; VAVRINA, C. A.; CHRISTENSEN, T. W. Measurement of sap flow and transpiration in ring-porous oaks using a heat pulse velocity technique. **For. Sci.**, v. 26: p. 485–494, 1980.

OLIVEIRA, A. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, N. D. Área foliar de cacauzeiro irrigado e não sombreado cultivado no semiárido da Bahia. In: **III CONGRESSO BRASILEIRO DE CACAU**, Ilhéus, Bahia, 2012.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacauzeiro a pleno sol. **Revista Irriga**, Edição Especial, p. 120 – 132, 2012.

REGALADO, C. M. & RITTER, A. An alternative method to estimate zero flow temperature differences for Granier’s thermal dissipation technique. **Tree Physiology**, v. 27, p.1093–1102, 2007.

SANTOS, R. M. et al. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1162 – 1169, 2006.

SCHMIDT, C. D. S. **Necessidade hídrica da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) tipo Sumatra cultivado em ambiente protegido no recôncavo da Bahia**. 2008, p. 35 – 37. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2008.

STEPPE, K.; PAUW, D. J. W.; DOODY, T. M.; TESKEY, R. O. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. **Agric. For. Meteorol.**, v. 150, p. 1046–1056, 2010.

TANEDA, H. & SPERRY, J. S. A case-study of water transport in co occurring ring- versus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. **Tree Physiol.**, 28:1641–1651, 2008.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A. e STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores do potencial matricial. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1085-1095, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em condições de ambiente protegido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 14., 2005, Campinas. Anais... Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD ROM.

VELLAME, L. M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e sensor de balanço caulinar**. 2007. P. 41-42. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, Área de concentração: Engenharia e Manejo da Irrigação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas – BA, 2007.

VELLAME, L. M.; FILHO, M. A. C.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. Campina Grande, PB: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n. 5, p. 516 – 523, 2009.

VELLAME, L. M. **Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo**. 2010, p. 56 – 59. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 1, p. 116 – 122, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira 'Valência' sob porta-enxerto limão 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 01, p. 024-032, 2012.

WEELER, A. J. & GANJI, A. R. **Introduction to engineering experimentation**. New Jersey: Prentice Hall, p. 415, 1996.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1207–1214, 2011.

## **CAPÍTULO 2**

**ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO  
SOL UTILIZANDO SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA**

## ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO EM CACAUEIRO CULTIVADO A PLENO SOL UTILIZANDO SONDA DE DISSIPACÃO TÉRMICA

**RESUMO:** Objetivou-se com esse trabalho estimar a transpiração do cacaueteiro cultivado a pleno sol utilizando o método da sonda de dissipação térmica (SDT). O experimento foi conduzido na fazenda Nova Conquista, no município de Nova Redenção - Bahia (S 12° 51'46" e W 41° 08'14"). Foram escolhidas seis plantas (4 plantas seminais e 2 clones CCN51), em pomar de plantas adultas de cacaueteiro cultivado a pleno sol. Para a estimativa do fluxo de seiva, pelo método da SDT, foram utilizadas sondas de 1 cm de comprimento, e considerada a área de seção do caule. O percentual de disponibilidade de água no solo foi calculado a partir da relação da disponibilidade de água no solo (DA) pela disponibilidade total de água no solo (DTA). Como parâmetro de caracterização da demanda evaporativa da atmosfera, foi utilizada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica instalada a aproximadamente 500 m do experimento. O coeficiente de cultura basal foi determinado relacionando o fluxo de seiva com a evapotranspiração de referência determinada pelo método de Penman-Monteith - FAO 56, em escala diária. Com os resultados obtidos, verificou-se um aumento no fluxo de seiva com a reposição de água no solo, e o clone CCN 51 apresentou maior conversão de fluxo de seiva por evapotranspiração de referência quando comparado ao cacaueteiro seminal. Os resultados obtidos com os sensores de dissipação térmica permitiram estimar a transpiração do cacaueteiro nas condições do experimento.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao*, fluxo de seiva, relações hídricas

## ESTIMATE OF TRANSPIRATION IN CACAO TREE PLANTATION UNDER FULL SUNLIGHT USING HEAT DISSIPATION PROBE

**ABSTRACT:** Purpose of this study estimating transpiration of cacao tree plantation under full sunlight using heat dissipation probe method (SDT). The experiment was carried by in the Nova Conquista farm, in Nova Redenção municipality - Bahia (S 12° 51'46" e W 41° 08'14"). It were selected six plants (seminal plant 4 and CCN51 clone 2), in orchard of cocoa tree mature plants plantation under full sunlight. To estimate flow sap, for SDT method, were using probe length 1 cm, and considered area of the stem section. The percentage of available soil water was calculated from the ratio of water availability in the soil for total available water in the soil. With the results obtained, it was found an increase in the sap flow with the replacement of water in the soil. As parameter to characterize of the atmospheric evaporative demand, it was used the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), The meteorological data were obtained from weather station approximately 500 m of the experiment. The basal crop coefficient was determined by relating the sap flow with the reference evapotranspiration determined by Penman-Monteith method - FAO – 56, on daily scale. With the results obtained, it was found an increase in the sap flow with the replacement of water in the soil, and CCN 51 clone showed higher conversion of sap flow by reference evapotranspiration compared to seminal cocoa tree. The results obtained with thermal dissipation sensors possibled estimating cacao transpiration in the experiment conditions.

**Keyword:** *Theobroma cacao*, sap flow, water relations

## INTRODUÇÃO

O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) é considerado uma das mais importantes culturas perene do planeta. A história sócio econômica do sul do Estado da Bahia esta intimamente ligada à monocultura do cacauieiro, que se estabeleceu a mais de cem anos em função das condições ambientais favoráveis de um sistema rústico de cultivo sob a mata raleada, de forma descontínua, conhecido regionalmente como “Cabruca” (LOBÃO et al., 2007).

Em contraste, o cacauieiro também é cultivado em condições a pleno sol. Em países como Gana e Costa do Marfim, por exemplo, 50 % da área total das fazendas de cacauieiro são cultivadas sobre condições de sombreamento leve, enquanto que em média 10 % em Gana, e 35 % na Costa do Marfim são plantadas sob nenhuma sombra (PADI & OWUSU, 1998).

O desenvolvimento de novas tecnologias e mudanças do foco centrado e restrito às regiões tradicionais pode consolidar a cadeia produtiva do cacauieiro, fazendo com que minimize os desafios em que a cacauicultura nacional vem enfrentando atualmente. O surgimento de problemas fitossanitários tem sido a principal causa da necessidade de expansão da cacauicultura do território brasileiro e de imediato para o semiárido (LEITE et al., 2007).

Para a produção de cacauieiro em regiões não tradicionais, como exemplo o semiárido, há necessidade na adoção de fornecimento de água, através de sistema de irrigação (CODEVASF, 2009). O conhecimento dos termos relacionados a relações hídricas é sem dúvida uma importante ferramenta para se avaliar o potencial hídrico para fins agrícolas. Por ser uma cultura cultivada tradicionalmente em ambientes úmidos, sem irrigação, são escassas as informações a respeito das relações hídricas da mesma.

O cacauieiro tem como característica depositar suas folhas sobre o solo, fazendo com que tenha redução nas perdas de água por evaporação, sendo a transpiração o principal determinante da demanda hídrica da cultura.

Em ecossistemas florestais, as estimativas de transpiração são freqüentemente utilizadas com base em medições de fluxo de seiva no xilema (REGALADO & RITTER, 2007; GEBAUER, et al., 2008; GARTINER et al., 2009; VELLAME et al., 2009; BUSH et al., 2010; ZHANG, et al., 2011 e DAVIS, et al., 2012; COELHO et al., 2012; PAMPONET et al., 2012; ARAÚJO et al., 2012). O método da sonda de dissipação térmica desenvolvido por Granier

(1985) permite a determinação de densidade de fluxo de seiva no caule e tem sido rotineiramente utilizado com o intuito em estimar a transpiração em plantas arbóreas.

O método de Granier (sonda de dissipação térmica) envolve a inserção de duas sondas com termopar de cobre e constantan perpendiculares, na mesma linha axial do ramo ou tronco, onde a sonda superior tem um aquecimento constante a uma potência elétrica de aproximadamente 0,1 W por centímetro do comprimento do sensor e a sonda inferior mede a temperatura ambiente da madeira. O método tem como princípio que a variação da temperatura entre as duas sondas é proporcional à densidade de fluxo de seiva ocorrido em um intervalo de tempo analisado.

O método vem ganhando destaque pelos pesquisadores, pelo fato de possuir facilidade na confecção e instalação dos sensores (BRAUN, 1997). No entanto, pesquisadores de todo o mundo estão estudando várias fontes de erro encontradas no método, com o intuito em solucioná-los para utilização na agricultura.

A equação de calibração para frutíferas exploradas comercialmente, se faz necessário, pois, a equação adotada como universal foi desenvolvida para regiões de clima temperado (PIMENTEL, 2008), com isso, deve-se fazer localmente calibrações com plantas de interesse econômico para o país (TANEDA & SPERRY, 2008; BUSH et al., 2010; HULTINE et al., 2010b; STEPPE et al., 2010)

Outro procedimento desvantajoso do método de Granier em relação aos outros, é a determinação da área efetiva do xilema, pois exige a retirada de uma amostra do lenho ou a destruição total da planta. Delgado-Rojas et al. (2006), salientam a importância em determinar a área efetiva do xilema, pois a mesma é necessária para o cálculo de fluxo de seiva pelo método de sonda de dissipação térmica.

O objetivo deste trabalho foi estimar a transpiração do cacaueteiro cultivado a pleno sol utilizando o método da sonda de dissipação térmica.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Nova Conquista do Grupo Bagisa, localizado no município de Nova Redenção – Bahia, à latitude de 12°51'46" S, longitude 41°08'14" W, e altitude de 350m. O clima é do tipo BswH (semiárido) segundo Köppen, caracterizado por temperaturas médias anuais de 23 °C, com máxima de 27 °C e mínima de 18 °C, precipitação pluviométrica de 600 mm. Os solos são classificados como Cambissolo eutrófico, boa drenagem e textura argilosa. As Figuras 1 e 2 ilustram a localização do município e do experimento, respectivamente.

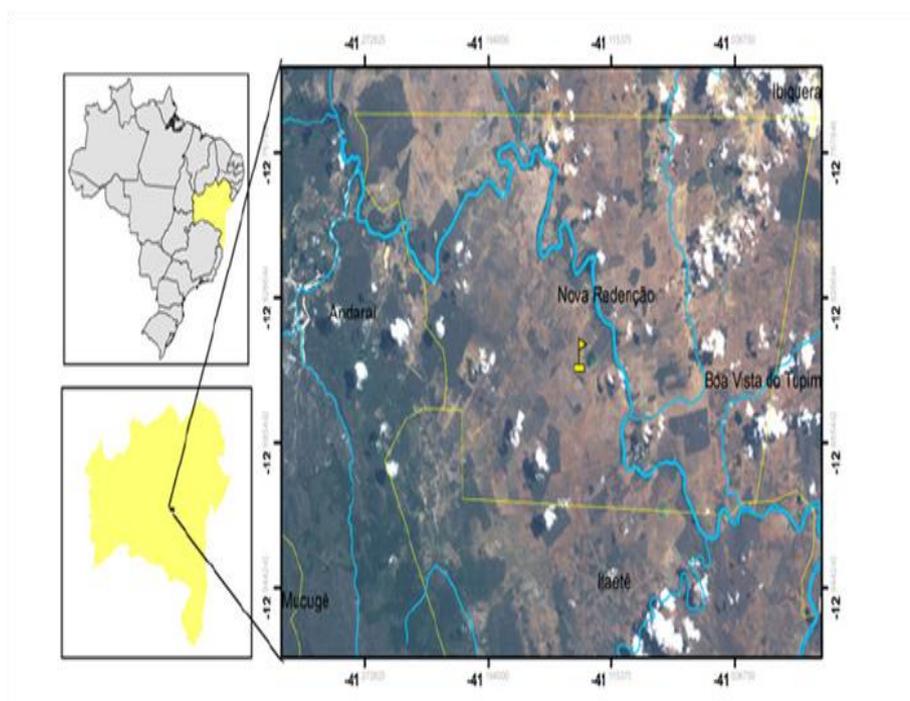


Figura 1. Localização do município

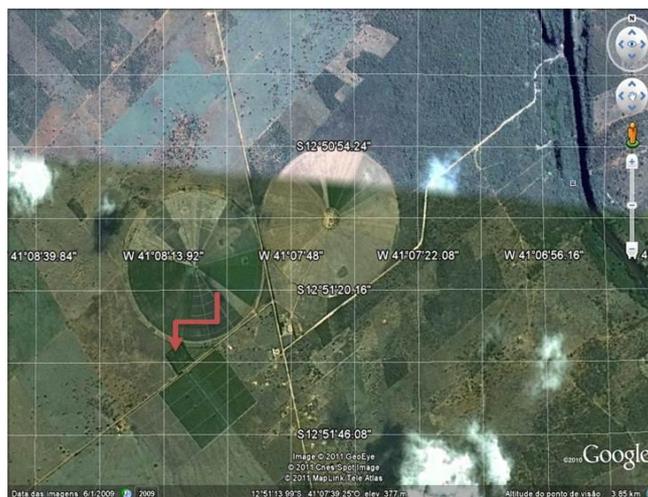


Figura 2. Localização do experimento

Foram escolhidas seis plantas (4 plantas seminais e 2 clones CCN 51), em um pomar de plantas adultas de cacaueteiro cultivado a pleno sol, com 7 anos de idade, com espaçamento de 1,5 x 3,5 m, sobre condições de sequeiro (sem irrigação), e instalados os instrumentos nas mesmas em 27 de setembro de 2011. A Figura 3 ilustra o experimento. O CCN 51 (“Colección Castro Naranjal”) é oriundo de uma planta F1 do cruzamento entre ICS-95 x IMC-67 cruzada com um clone nativo do oriente equatoriano denominado “Canelos” (BARTLEY, 1986). O CCN 51 produz frutos vermelho-arroxeados quando imaturos, passando a amarelo-alaranjados quando maduros, com casca levemente enrugada e com coloração interna púrpura clara. Ele é autocompatível, possui resistência mediana a vassoura-de-bruxa e apresenta alta produtividade (CAMPO & ANDÍA, 1997).

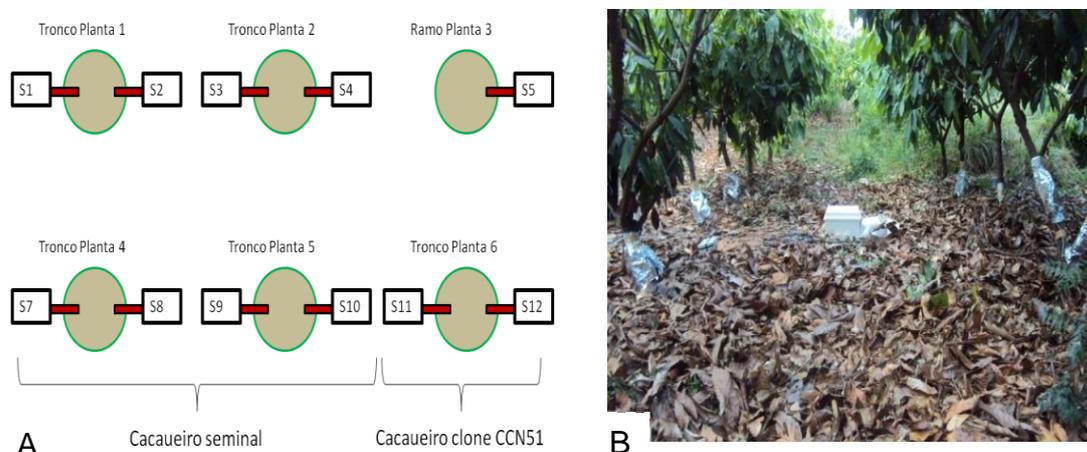


Figura 3. Esquema de instalação das sondas de dissipação térmica (A) e vista do experimento (B)

A Tabela 1 representa o perímetro externo do caule (cm) e a área de seção condutora de seiva bruta (m<sup>2</sup>) das plantas estudadas.

Tabela 1: Perímetro externo do caule, área de seção condutora de seiva bruta em plantas de cacaueteiro em fase adulta

Planta	Perímetro externo (cm)	Área de seção condutora (m <sup>2</sup> )
Planta 1	26,00	0,00475
Planta 2	29,00	0,00599
Planta 3	34,00	0,00837
Planta 4	30,00	0,00643
Planta 5	29,00	0,00599
Planta 6	35,00	0,00889

### Princípio de funcionamento da sonda de dissipação térmica (SDT)

Cada sensor do método da SDT é composto por uma sonda aquecida à potência constante e por uma sonda não aquecida (sonda de referência), que possuem internamente um termopar, conforme a Figura 4. As sondas superiores foram aquecidas a uma potência constante de 0,1 W por meio de fonte de corrente constante.

Para a estimativa do fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica, procedeu-se a determinação da área de seção condutora (AS) em função do diâmetro externo do caule. Foi medido o perímetro externo (D) das seis plantas (4 seminal e 2 clones CCN51), e determinada a área de seção condutora (m<sup>2</sup>), a partir da Eq. 1.

$$AS = 13,958 D - 851,8 \quad (1)$$

Em que,

AS – área de seção condutora (m<sup>2</sup>);

D – perímetro externo (m).

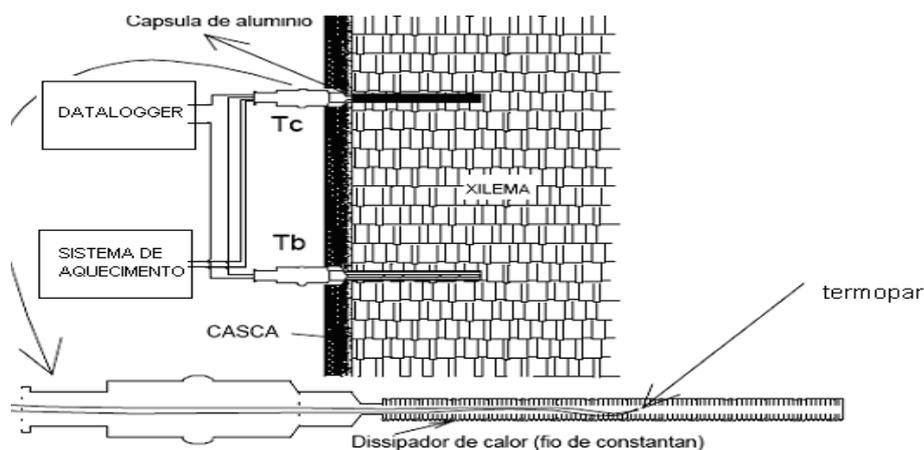


Figura 4. Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (Fonte: DELGADO – ROJAS, 2003)

O fluxo de seiva foi calculado considerando a área de seção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta, como sugere a Eq. (2) calibrada para a espécie em estudo:

$$F = 0,000135 K^{1,231} AS \quad (2)$$

Em que,

F - fluxo de seiva (m<sup>3</sup>/s);

AS - área de seção condutora (m<sup>2</sup>);

Sendo K a diferença de temperatura dada pela expressão:

$$K = \left( \frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \right)$$

$\Delta T$  – diferença de temperatura entre as duas sondas.

O sistema de aquisição de dados utilizado foi o “datalogger” CR1000 Campbell SCi. associado a multiplexadores de canais AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi (Figura 5) com leituras realizadas num intervalo de 30 segundos e armazenadas à média de 15 minutos.

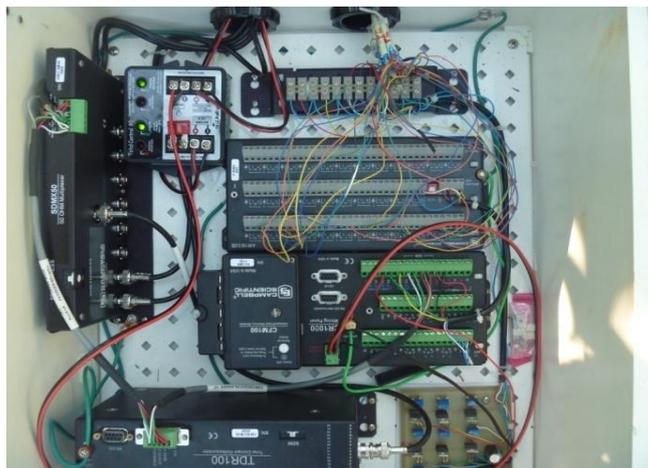


Figura 5. Detalhe do “datalogger” CR1000 associado a multiplexadores de canais AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi

### **Construção e Instalação das sondas de dissipação térmica**

As sondas de dissipação térmica foram confeccionadas no laboratório do Núcleo de Engenharia de Água e Solos - NEAS da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizado no município de Cruz das Almas – BA. Foram construídas com 1 cm de comprimento utilizando-se termopares de “cobre e constantan” de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de 1,0 mm, preenchidas com resina para fixação.

A potência aplicada na sonda superior foi de 0,1W por centímetro de comprimento da sonda. Foram utilizadas fontes de corrente, pois estas apresentam a vantagem de manter a potência na sonda constante quando resistências elétricas dos fios de cobre variam com a temperatura ambiente. A Figura 6 ilustra a fonte de corrente constante ajustável.

O processo de instalação das sondas de dissipação térmica no caule da planta para a medida da diferença de temperatura entre os pontos encontra-se na Figura 7. Foram feitos dois furos no caule de diâmetros igual ao da cápsula inserida. Foram instalados dois pares de sondas de dissipação térmica em cada planta (sonda de referência e sonda aquecida). A sonda inferior (sonda de referência) foi instalada a 20 cm do solo e espaçada de 8 cm da sonda superior (sonda aquecida). A cápsula tem um comprimento de 1 cm e foi construída com tubo metálico; tem a finalidade de possibilitar a retirada da sondas; e com o objetivo de melhorar a condução de calor, as cápsulas foram preenchidas com pasta térmica. As sondas foram instaladas no dia 27 de setembro de 2011 e iniciou as leituras em 28 de setembro de 2011.

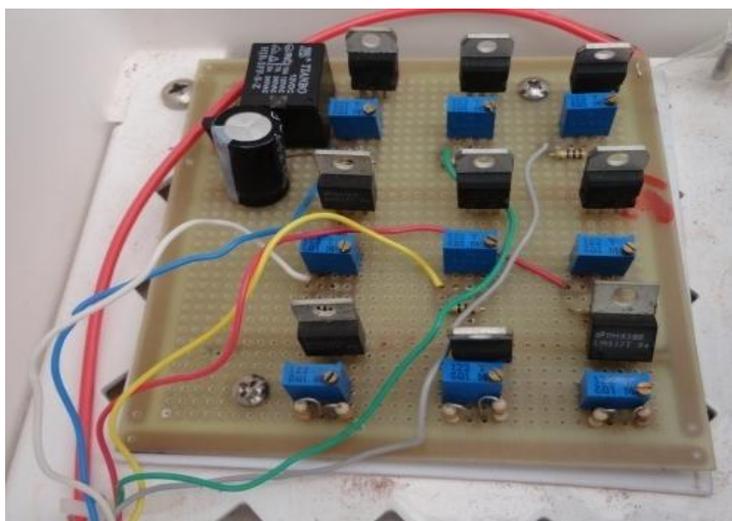


Figura 6. Fonte de corrente constante ajustável

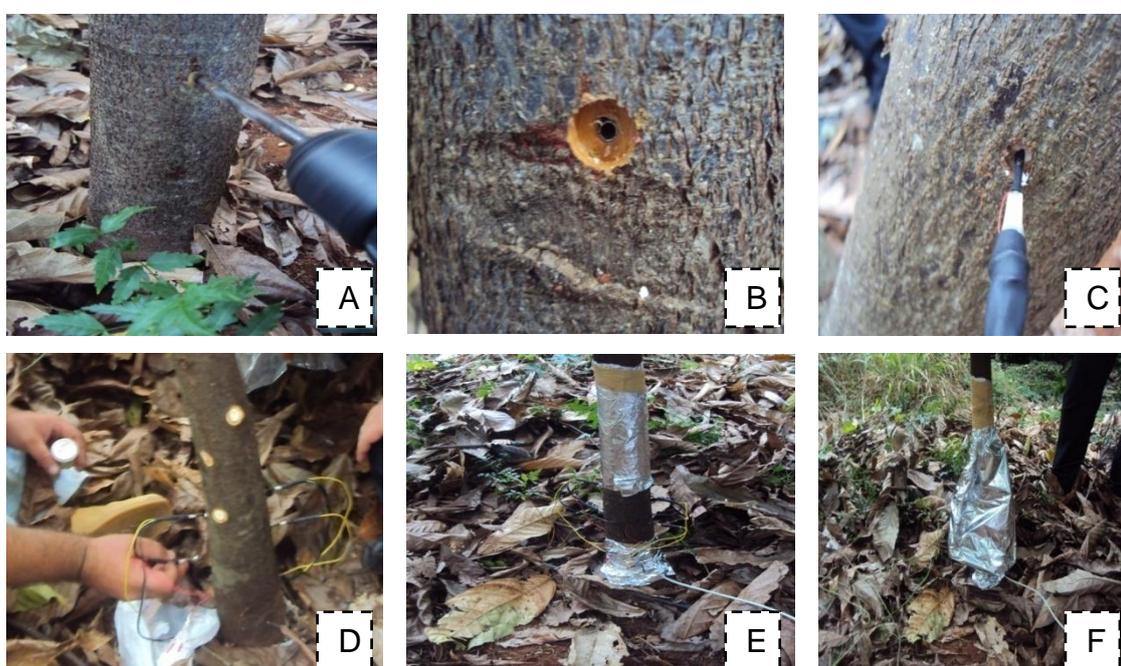


Figura 7. Procedimento de instalação de sondas de dissipação térmica em cacauero na fase adulta. A – Furos no caule; B – Cápsulas de aço inseridas; C – Preenchimento da sonda com pasta térmica; D – Instalação das sondas; E – Caule isolado acima e abaixo do sensor e F - Isolamento do caule com laminado em formato de saia, permitindo a dissipação de calor do volume coberto, entre o caule e o laminado

### Percentual de disponibilidade de água no solo

O percentual de disponibilidade de água no solo foi calculado a partir da relação da disponibilidade de água no solo (DA) pela capacidade total de água disponível no solo (CTA), como mostra a Eq. 3:

$$DA_s = \left( \frac{DA}{CTA} \right) 100 \quad (3)$$

Em que,

$DA_s$  - percentual de disponibilidade de água no solo (%);

$DA$  – disponibilidade de água no solo (mm);

$CTA$  – disponibilidade total de água no solo (mm).

A determinação do conteúdo de água no solo foi obtida a partir da estimativa de umidade do solo utilizando o modelo proposto por Ledieu et al. (1986), estando inseridos nos equipamentos de Reflectometria de Domínio do Tempo – TDR dos fabricantes. Usando-se a técnica da TDR; este valor é baseado no tempo de emissão/reflexão de um pulso eletromagnético, emitido por um gerador de pulsos, em hastes metálicas paralelas, que servem como guia de ondas.

As sondas de TDR (para medida indireta de umidade no solo) foram construídas, nos meses de agosto e setembro de 2011 no laboratório do Núcleo de Engenharia de Água e Solos - NEAS, na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, localizado no município de Cruz das Almas – Bahia. As sondas de TDR foram instaladas verticalmente no solo a distâncias horizontais (10 cm) e profundidades (20; 40; 60 e 80 cm) com quatro repetições no dia 27 de setembro de 2011.

Com os dados de umidade lidos na TDR, os valores de umidade ao longo do perfil do solo (profundidades 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm e 60-80 cm), foram obtidos a partir das leituras das médias das sondas de TDR multiplicadas pela profundidade de cada camada. Com o intuito em obter a disponibilidade de água ( $DA$ ) no solo foi realizada a disponibilidade de água de cada profundidade.

A capacidade total de água disponível no solo ( $CTA$ ) foi calculada conforme a Eq. 4:

$$CTA = \left( \theta_{CC} - \theta_{PMP} \right) Z \quad (4)$$

Em que,

$CTA$  – disponibilidade total de água (cm);

$\theta_{CC}$  – umidade do solo à capacidade de campo,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

$\theta_{PMP}$  – umidade do solo ao ponto de murcha,  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ;

Z – - profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Com o solo saturado em campo após a precipitação pluviométrica acumulada de 5 a 9 de novembro de 2011, igual a 54,9 mm, obteve o valor de umidade estabilizada, adotando como à capacidade de campo igual a  $0,299 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

Com o objetivo de estimar a umidade do solo ao ponto de murcha ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), foi utilizada a função de pedotransferência proposta por Stirk (1957), como segue:

$$PMP = \frac{2}{5} \text{argila} \quad (5)$$

O valor de umidade do solo ao ponto de murcha foi de  $0,135 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . A análise granulométrica foi determinada pelo método do densímetro (EMBRAPA, 2011). A Tabela 1 apresenta a distribuição granulométrica do solo, nas diferentes profundidades.

Tabela 1. Distribuição granulométrica do solo

Prof (m)	Areia	Silte	Argila	Classificação Textural
	----- (g $\text{kg}^{-1}$ ) -----			
0,10	459	203	338	Franco argiloso
0,30	436	224	340	Franco argiloso
0,50	415	253	332	Franco argiloso
0,70	411	265	324	Franco argiloso
Média	430	236	333	

### Dados Meteorológicos

Como parâmetro de caracterização da demanda evaporativa da atmosfera, foi utilizada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), calculada pelo método de Penman-Monteith - FAO 56.

Os dados meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e velocidade do vento) foram obtidos na estação meteorológica instalada a aproximadamente 500 m do experimento.

As medidas foram obtidas a cada 30 segundos e as médias de cada 15 minutos, armazenadas e em sistema de aquisição e armazenamento de dados ("datalogger" CR1000 Campbell SCi.) associado a multiplexadores de canais (AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi.), como mostra a Figura 8.



Figura 8. Sistema de aquisição e coleta de dados

### **Coeficiente de cultura basal ( $K_{cb}$ )**

O cacaueteiro tem como característica depositar suas folhas sobre o solo, reduzindo assim as perdas de água por evaporação, sendo a transpiração o principal componente da demanda hídrica da cultura.

O coeficiente de cultura basal ( $K_{cb}$ ) corresponde ao  $K_c$  obtido quando a evaporação do solo é mínima, mas com a umidade na zona radicular adequada, não limitando o crescimento da planta nem a transpiração (ALLEN et al., 1998).

Apesar do experimento não satisfazer as condições de suprimento adequado de água da planta para fins de comparação foi determinado o  $K_{cb}$  com o intuito de comparar e descrever a relação fluxo de seiva com o ambiente atmosférico, relacionando o fluxo de seiva ( $F_s$ ), com a evapotranspiração de referência ( $E_{to_{PM}}$ ) determinada pelo método de Penman-Monteith - FAO 56, em escala diária, como observada na Eq. 6.

$$K_{cb} = \frac{F_s}{A E_{to_{PM}}} \quad (6)$$

Em que,

$K_{cb}$  – coeficiente de cultura basal;

$F_s$  – fluxo de seiva ( $L \text{ dia}^{-1}$ );

A – área do espaçamento de plantio ( $m^2$ );

$E_{to_{PM}}$  – evapotranspiração de referência ( $mm\ dia^{-1}$ ).

Os dados foram submetidos à análise de variância Teste F e de regressão. Para as variedades (cacau seminal e clone CCN 51), as médias foram comparadas a 1 % de probabilidade pelo teste F. Para disponibilidade de água no solo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão adotando o nível de 1 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Transpiração em cacauzeiro cultivado a pleno sol

O curso da radiação solar global e o fluxo de seiva estimado, em escala horária, ao longo de quatro dias, em um ramo de cacauzeiro (clone CCN 51) e tronco de cacauzeiro (cacauzeiro seminal e clone CCN 51) são apresentados na Figura 9.

Foi possível constatar o bom funcionamento das sondas quando comparado o fluxo de seiva estimado e a radiação solar global. Porém, pode-se verificar uma defasagem de fluxo de seiva principalmente para o cacauzeiro seminal. Característica similar foi observada em estudos com outras culturas por Zhang et al., 2011; Mccullog et al., 2007; Vellame, 2007; Marin, 2003; James et al., 2002; Weibel e Vos, 1994; Valancogne & Nasr, 1993.

Segundo Angelocci (2002), a radiação solar global é a fonte primária de energia para a transpiração e a variação do fluxo de seiva acompanha o mesmo, sobre condição hídrica normal da planta.

Observou-se que com o amanhecer, conseqüentemente, com o incremento da radiação solar, o fluxo de seiva aumenta e a diferença de temperatura diminui, ou seja, ocorre uma inversa relação entre o fluxo e a temperatura, pelo fato de promover o resfriamento da sonda aquecida devido ao fluxo, fazendo com que tenha uma redução na variação térmica entre sondas. Pode-se verificar que ocorrem reduções bruscas nos valores de fluxo de seiva quando a radiação solar global alcançou seu ponto mais elevado, sendo mais pronunciado na cultivar cacauzeiro seminal. Verificou-se ainda que o clone CCN 51 obteve-se um fluxo de seiva superior ao cacauzeiro seminal. Com

boa disponibilidade hídrica do solo, os valores de fluxo de seiva tende a se tornar mínimo ou nulo ao final da noite.

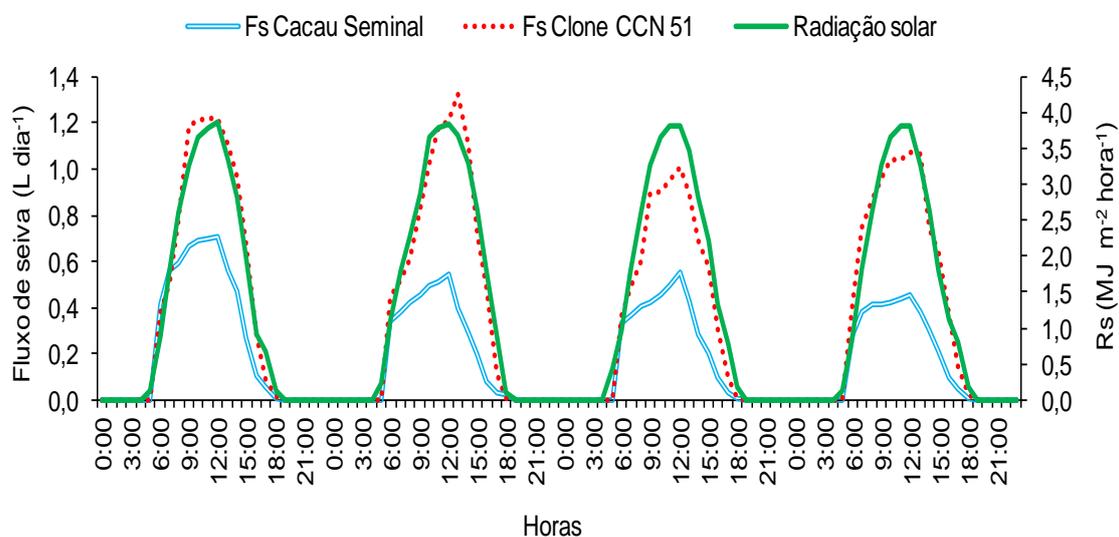


Figura 9: Curso de fluxo de seiva obtido pela sonda de dissipação térmica (SDT) de cacauero para cacauero seminal (n=8) e clone CCN 51 (n=4) cultivado a pleno sol, nas datas (25; 26; 27 e 28/10/2011) e da radiação solar global, a cada hora, considerando válidas apenas as leituras das 5 às 18 horas

Resultados semelhantes foram encontrados por Trentin et al. (2011), em um estudo com cana-de-açúcar no município de Viçosa - MG, onde observaram uma influência marcante da radiação solar incidente sobre a transpiração, determinada por meio de três balanças de precisão, com capacidade individual para 12 kg e precisão de 0,1 g. Notou-se também que a transpiração aumentou até o período compreendido entre 10:00 e 13:00 horas.

Na Tabela 2 é mostrado o resumo da análise de variância para variável coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) para cacauero seminal e clone CCN 51 em função do percentual de disponibilidade de água no solo. Verificou-se um efeito altamente significativo dos valores de  $K_{cb}$  para as variedades (cacauero seminal e clone CCN 51) e percentual de disponibilidade de água no solo ( $p < 0,01$ ) pelo teste F da ANAVA, com coeficiente de variação igual 24,07 %.

Tabela 2: Resumo das análises dos dados relativos ao coeficiente basal para cacauero seminal e clone CCN 51 em função do percentual de disponibilidade de água no solo e coeficiente de variação

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
DA <sub>s</sub>	17	0,935068	0,055004	16,487	0,0000
Variedade	1	0,643101	0,643101	192,768	0,0000
Variedade * DA <sub>s</sub>	17	0,210511	0,012383	3,712	0,0000
Erro	72	0,240202	0,003336		
Total corrigido	107	2,028882			
CV (%)	24,07				

\*Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F.

A Tabela 3 apresenta as médias de  $K_{cb}$  para cacauero seminal e clone CCN 51 cultivados a pleno sol e percentual de disponibilidade de água no solo (DA<sub>s</sub>) nas datas (01, 11, 12, 15, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31/10/2011 e 01,07, 14, 16, 17, 27 e 29/11/2011). Notou-se, com nível de 1 % de probabilidade, pelo teste F, que não houve diferença significativa entre as variedades (cacauero seminal e clone CCN 51) até um percentual de disponibilidade de água no solo de 64,14 %; a partir desta o clone CCN 51 superou estatisticamente o cacauero seminal. Verificou-se que o clone CCN 51 obteve uma transpiração superior de aproximadamente o dobro ao cacauero seminal, mostrando que podem apresentar mecanismos diferentes de tolerância ao percentual de água no solo.

Na Figura 10 apresenta os valores de coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) e o percentual da disponibilidade de água no solo para as datas avaliadas. Os valores de  $K_{cb}$  mínimos e máximos foram de 0,06 a 0,44, respectivamente, para cacauero seminal e 0,12 a 0,60, respectivamente, para o clone CCN 51. Allen et al. (1998) apresentaram valor de  $K_{cb\text{meio}}$  de 1,00 para a cultura do cacauero. O  $K_{cb}$  é definido como a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, quando a camada da superfície do solo está seca (evaporação mínima) mais o conteúdo médio de água do solo na zona radicular é adequado para sustentar a transpiração da planta completamente. Os valores encontrados neste estudo foram inferiores aos apresentados por Allen et al. (1998), provavelmente devido a cultura não ter sido cultivada em condições excelentes de manejo de água e agrônômico. Deve-se atentar que o

objetivo do estudo não foi recomendar valores de  $K_{cb}$  para cacauero, ou seja, foi calculado apenas para comparar e descrever a relação do fluxo de seiva com o ambiente atmosférico.

Tabela 3: Médias de coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) para cacauero seminal e clone CCN 51 e percentual de disponibilidade de água no solo ( $DA_s$ )

Data	$DA_s$ (%)	Coeficiente basal ( $K_{cb}$ )	
		Cacau Seminal	Clone CCN 51
01/10	55,66	0,1603 a	0,2329 a
11/10	54,44	0,1000 a	0,1511 a
12/10	54,53	0,1328 a	0,2037 a
15/10	53,36	0,1150 a	0,1333 a
23/10	73,23	0,1812 b	0,4726 a
25/10	78,92	0,2699 b	0,5381 a
26/10	77,36	0,1691 b	0,4597 a
27/10	75,83	0,2048 b	0,3929 a
28/10	73,95	0,1935 b	0,4204 a
30/11	69,46	0,1231 b	0,2976 a
31/10	66,58	0,1126 b	0,2215 a
01/11	64,14	0,0916 a	0,1705 a
07/11	62,00	0,0966 a	0,1808 a
14/11	98,97	0,3291 b	0,4291 a
16/11	95,45	0,3307 b	0,4400 a
17/11	93,47	0,2761 b	0,5472 a
27/11	89,85	0,2428 b	0,4937 a
29/11	84,02	0,2063 b	0,4987 a

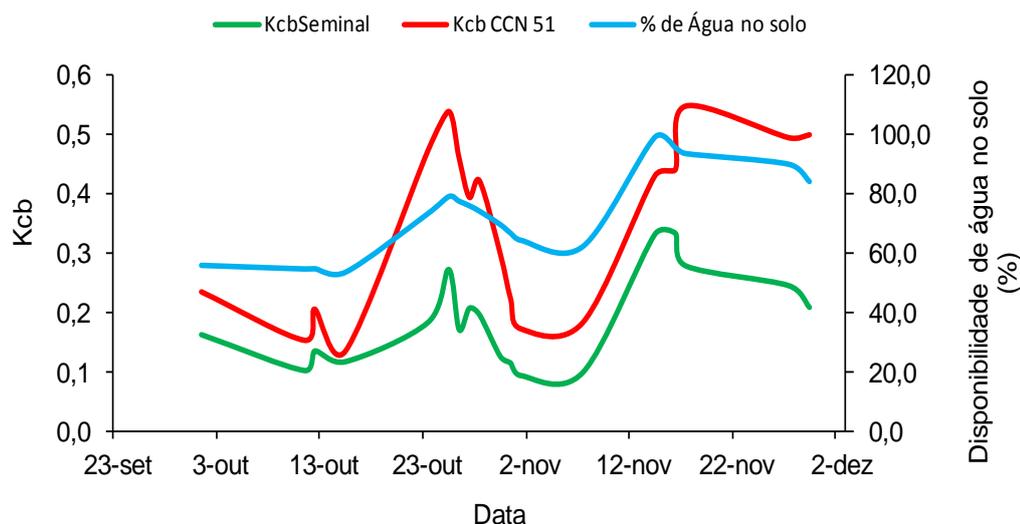


Figura 10: Valores de coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) e percentual de disponibilidade de água, para o cacaueteiro seminal e clone CCN 51 cultivado a pleno solo, nas datas (01, 11, 12, 15, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31/10/2011 e 01, 07, 14, 16, 17, 27 e 29/11/2011)

Durante o período do estudo foi verificado na região uma precipitação pluviométrica total de 137 mm (outubro = 47 mm e novembro = 90 mm); a Figura 11 apresenta a quantidade de chuva acumulada e o percentual de água no solo diariamente nos meses de outubro e novembro de 2011. Analisando a Figura 10 verificou-se que os valores de  $K_{cb}$  seguiram os valores de percentual de água no solo.

Durante o período de déficit hídrico (sequeiro antes da precipitação), o cacaueteiro seminal e clone CCN 51 obtiveram valores de  $K_{cb}$  baixos. A transpiração média desse período foi de  $2,82 \text{ L dia}^{-1}$  para o cacaueteiro seminal, com o coeficiente de variação de 26,16 %, e  $3,14 \text{ L dia}^{-1}$  para o clone CCN 51, com o coeficiente de variação igual 46,62 %, com valores de  $E_{to_{PM}}$  entre 3,47 e  $5,38 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Com o incremento da precipitação, após o dia 16 de outubro de 2011, ocorreu um aumento no percentual da disponibilidade de água no solo, podendo-se notar um crescimento progressivo nos valores de  $K_{cb}$  para as cultivares de cacaueteiro, destacando-se o clone CCN 51 que obteve valores superiores ao do cacaueteiro seminal. A transpiração média neste período foi de  $4,86$  e  $10,88 \text{ L dia}^{-1}$  para cacaueteiro seminal e clone CCN 51, respectivamente, com valores de  $E_{to_{PM}}$  entre 4,42 e  $6,22 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Trentin et al. (2011) em um estudo com transpiração e temperatura foliar de cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial, onde verificaram que sob condições de estresse hídrico severo, houve redução na transpiração diária de aproximadamente 73 %, comparativamente às medidas realizadas sem estresse e sob condições meteorológicas similares.

Considerando oito dias passados o evento significativo de precipitação foi observado um decréscimo nos valores de  $K_{cb}$  para as duas variedades, devido à diminuição no percentual de disponibilidade de água no solo. Para este período, para valores de  $E_{to_{PM}}$  entre 4,57 e 4,95 mm dia<sup>-1</sup>, observou-se uma transpiração média 2,35 L dia<sup>-1</sup>, com um coeficiente de variação de 25,44 % para cacauero seminal e uma transpiração média igual a 4,38 L dia<sup>-1</sup>, com o coeficiente de variação de 26,47 % para o clone CCN 51.

Pode-se verificar ainda, que o clone CCN 51 apresentou maior conversão de fluxo de seiva por evapotranspiração de referência quando comparado com o cacauero seminal.

Verificou-se na Figura 11 que no período de 5 a 9 de novembro de 2011 ocorreu uma precipitação pluviométrica onde o acumulado foi de 54,9 mm, fazendo com que o solo absorvesse maior quantidade de água nesse período, destacando-se que o cacauero seminal e clone CCN 51 alcançaram seus maiores valores de  $K_{cb}$ . Para valores de  $E_{to_{PM}}$  entre 3,29 e 5,51 mm dia<sup>-1</sup>, a média da transpiração dos dias 14, 16, 17, 27 e 29 de novembro de 2011 foram de 6,72 e 11,66 L dia<sup>-1</sup> para cacauero seminal e clone CCM 51, respectivamente.

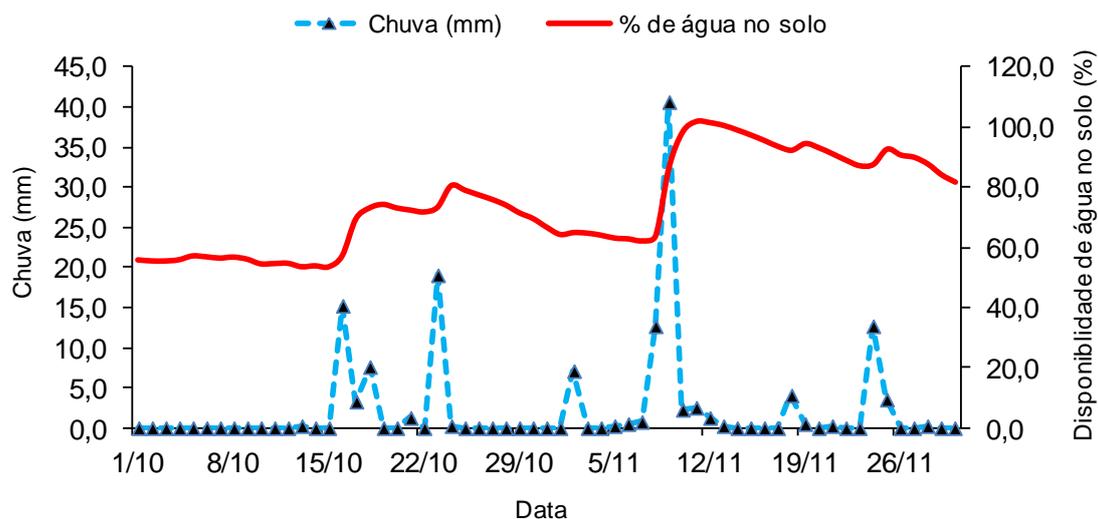


Figura 11: Chuva (mm) acumulada diariamente e percentual de água no solo durante os meses de outubro e novembro do ano de 2011

Analisando a equação de regressão ilustrada na Figura 12, verificou-se que para valores de  $K_{cb}$  em relação à disponibilidade de água no solo, os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram iguais a 65,23 % para o clone CCN 51 e 56,54 % para o cacaueteiro seminal, mostrando uma boa correlação entre o fluxo de seiva e a demanda evaporativa da atmosfera dada ao incremento do percentual de disponibilidade de água no solo.

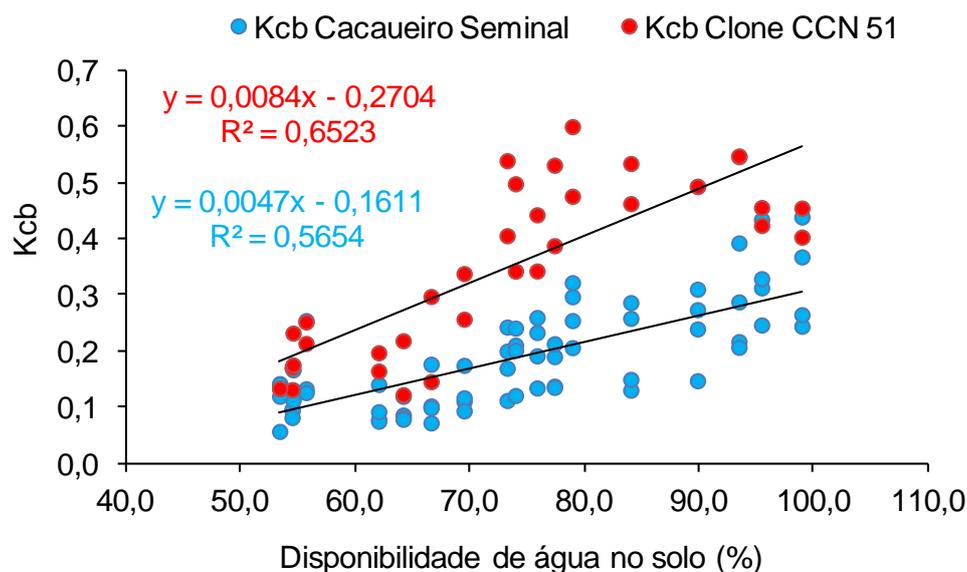


Figura 12: Coeficiente basal ( $K_{cb}$ ) em função do percentual da disponibilidade de água no solo, para o cacaueteiro seminal e clone CCN 51 cultivado a pleno

solo, nas datas (01, 11, 12, 15, 23, 25, 26, 27, 28, 30, 31/10/2011 e 01, 07, 14, 16, 17, 27 e 29/11/2011)

## CONCLUSÕES

1. O fluxo de seiva aumentou com a reposição de água no solo.
2. O clone CCN 51 apresentou maior conversão de fluxo de seiva por evapotranspiração de referência quando comparado ao cacaueteiro seminal.
3. Os resultados obtidos com os sensores de dissipação térmica permitiram estimar a transpiração do cacaueteiro nas condições do experimento.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper No 56**, p. 135 – 160, 1998.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Balanço hídrico da planta. Piracicaba: O autor, p. 272, 2002.

ARAÚJO, M. C.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, L. E. Método de dissipação térmica para a determinação de fluxo de seiva em coqueiro anão-verde. **Revista Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 558-562, 2012.

BARTLEY, B. G. D. Cacao, *Theobroma caçõo*. **FAO Plant Production and Protection Paper**, Rome, v. 70, p. 25-42, 1986.

BRAUN, P. Sap flow measurements in fruit trees - Advantages and shortfalls of currently used systems. **Acta Horticulturae**, n. 449, p.267-272, 1997.

BUSH, S. E.; HULTINE, K. R.; SPERRY, J. S.; EHLERINGER, J. R. Calibration of thermal dissipation sap flow probes for ring- and diffuse-porous trees. **Tree Physiology**, v. 30, p. 1545-1554, 2010.

CAMPO, E. C. & ANDÍA, F. C. Cultivo y beneficio del caçõo CCN 51. **EI Conejo**, Quito, p. 136, 1997.

COELHO, R. D.; VELLAME, L. M.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the `Valencia` orange young plant using. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 3, p. 573-581, 2012.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA (CODEVASF). **Cadeia produtiva de cacau**: oportunidade de investimento em cacauicultura no Vale do São Francisco e do Parnaíba. Brasília, p. 31, 2009.

DAVIS, T. W.; KUO, C. M.; LIANG, X.; YU, P. S. Sap Flow Sensors: Construction, Quality Control and Comparison. **Sensors**, v. 12 p. 954-971, 2012.

DELGADO-ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citrus, com base para o manejo de irrigação**. p. 110 - 113, TESE (Doutorado) ESALQUE/USP, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J. S.; RIGHI, C. A.; SHIGUEKAZU, K; ANGELOCCI, L. R.; BERNARDES, M. S.; FOLEGATTI, M. V.; Desempenho do método de sonda de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 722-729, 2006.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: p. 230, 2011.

GARTINER, K.; NADEZHDINA, N.; ENGLISCH, M.; CERMAK, J.; LEITGEB, E. Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 590-599, 2009.

GEBAUER, T.; HORNA, V.; LEUSCHNER, C. Variability in radial sap flux density patterns and sapwood area among seven co-occurring temperate broad-leaved tree species. **Tree Physiology**, v. 28, p.1821–1830, 2008.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tron des arbres. **Annales Sciences Forestieres**, v. 42, p. 193 – 2000, 1985.

HULTINE, K. R.; NAGLER, P. L.; MORINO, K.; BUSH, S. E.; BURTCHE, K. G.; DENNISON, P. E.; GLENN, E. P.; EHLERINGER, J. R. Sap flux-scaled transpiration by tamarisk (*Tamarix* spp.) before, during and after episodic defoliation by the saltcedar leaf beetle (*Diorhabda carinulata*). **Agric. For. Meteorol**, v.150, p. 1467–1475, 2010b.

JAMES, S. A.; CLEARWATER, M. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G. Heat dissipation sensors of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood. **Tree Physiology**, v. 22, p. 277–692, 2002.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBAND, S. A method for measuring soil water moisture by time-domain reflectometry. **J. Hydrol.**, p. 319-328, 1986.

LEITE, J. B. V.; MARTINS, A. B. G.; SODRÉ, G. A.; VAREJÃO, E.; FEILER, O. O.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R.; LOPES, U. V.; LOBÃO, D. E.; MOURA, J. I. L.; SGRILLO, R. B. e NASCIMENTO, M. N. É possível produzir cacau em Regiões Semi-áridas? Quebrando um paradigma! In: **International Cocoa Research Conference**, 15, San José, Costa Rica .Lagos Nigeria, Cocoa Producer's Alliance.Vol. I. p. 331-341, 2007.

LOBÃO, D. E.; SETENTE, W. C.; CURVELO K.; VALLE, R. R. Cacau cabruca: sistema agrossilvicultural tropical. **Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro**, Gráfica e Editora Vital Ltda, Ilhéus, p. 290-323, 2007.

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.

MCCULLOH, K. A.; WINTER, K.; MEINZER, F. C.; GARCIA, M.; ARANDA, J.; LACHENBUCH, B. A comparison of daily water use estimates derived from constant-heat sap-flow probe values and gravimetric measurements in pot grown saplings. **Tree Physiology**, v. 27, p.1355–1360, 2007.

PADI, B. & OWUSU, J. K. Towards an Integrated Pest Management for Sustainable Cocoa production in Ghana. **Paper from workshop held in Panama**, 3/30-4/2. Smithsonian Institution. Washington, 1998.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacauzeiro a pleno sol. **Revista Irriga**, Edição Especial, p. 120 – 132, 2012.

PIMENTEL, J. da S. **Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando sensores de dissipação térmica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Área de concentração: Água e Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife – PE, p. 1-2, 2008.

REGALADO, C. M. & RITTER, A. An alternative method to estimate zero flow temperature differences for Granier's thermal dissipation technique. **Tree Physiology**, v. 27, p.1093–1102, 2007.

STEPPE, K.; PAUW, D. J. W.; DOODY, T. M.; TESKEY, R. O. A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. **Agric. For. Meteorol.**, v. 150, p. 1046–1056, 2010.

STIRK, G. B. Physical properties of soils the lower Burdekin valley, North Queensland. CSIRO, Australia: CSIRO Division of Soils, p. 27, 1957.

TANEDA, H. & SPERRY, J.S.. A case-study of water transport in co occurring ring- versus diffuse-porous trees: contrasts in water-status, conducting capacity, cavitation and vessel refilling. **Tree Physiol.** 28:1641–1651, 2008.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores do potencial matricial. **Revista Engenharia Agrícola.**, v. 31, n. 6, p. 1085-1095, 2011.

VALANCOGNE, C. & NASR, Z. Measuring SAP flow in the stem of small trees. In BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. **Water transport in plants under climatic stress**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 166-173, 1993.

VELLAME, L. M. **Transpiração em plantas de laranja e manga utilizando sonda de dissipação térmica e sensor de balanço caulinar**. 2007. P. 41-42. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, Área de concentração:

Engenharia e Manejo da Irrigação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas – BA, 2007.

VELLAME, L. M.; FILHO, M. A. C.; e PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. Campina Grande, PB: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n. 5, p. 516 – 523, 2009.

WEIBEL, F. P. & VOS, J. A. Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method. **Plant and Soil**, v.166, p.203-219, 1994.

ZHANG, Y.; KANG, S.; WARD, E. J.; DING, R.; ZHANG, X.; ZHENG, R. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 1207–1214, 2011.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo das relações hídricas nos empreendimentos agrícolas é uma tarefa extremamente importante. No manejo da irrigação a principal componente é a evapotranspiração, pois representa o conteúdo de água perdida para a atmosfera e que deve ser reposta de forma a garantir o desenvolvimento adequado da cultura.

O método da sonda de dissipação térmica permite estimar a transpiração da planta através da determinação do fluxo de seiva, além de possuir facilidade na sua confecção e instalação do sensor. Entretanto, para sua utilização faz-se necessário ajustar a equação geral de Granier; corrigir o gradiente natural no caule, necessitando assim a estimativa das diferenças térmicas naturais e conhecer a área de seção do caule, pois o método estima a densidade de fluxo.

Com os resultados encontrados neste estudo, recomendam-se novas pesquisas baseadas em medidas lisimétricas com plantas de diâmetro superior aos estudados e correção dos gradientes térmicos naturais para validação do método de Granier. Recomenda-se ainda, estudos de fluxo de seiva em plantas em condições excelentes de manejo de água e agrônômico.