

GRADIENTES TÉRMICOS NATURAIS NA ESTIMATIVA DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO GRANIER¹

LUCAS MELO VELLAME^{2*}, MAURICIO ANTONIO COELHO FILHO³, VITAL PEDRO DA SILVA PAZ⁴, EUGÊNIO FERREIRA COELHO³

RESUMO - Os efeitos dos gradientes térmicos naturais (GTN) no caule se constituem em uma das dificuldades metodológicas para estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. O presente trabalho estudou o efeito causado pelo GTN na estimativa do fluxo de seiva com a sonda de dissipação térmica na cultura da manga. O estudo foi realizado em plantas de manga em dois estágios de desenvolvimento: a) Em início de desenvolvimento, com plantas de 0,66; 0,73 e 1,78 m² de área foliar, plantadas em vasos de 15 litros e 50 litros. O estudo foi conduzido em ambiente protegido com telado e em campo aberto; b) Em uma planta de 50,7 m² de área foliar em pomar de idade de 30 meses. Para minimizar o efeito dos GTN foram testados diferentes isolamentos térmicos do caule de plantas em vaso. As medidas das diferenças térmicas foram obtidas em planta adulta com elevada densidade de folhas e pequena exposição dos ramos à radiação solar. Em plantas adultas de manga, com sensores posicionados no interior da copa, os gradientes térmicos foram menores, comparados a ramos expostos de plantas jovens. Em ramos expostos é necessária, para minimização do GTN, a utilização de cobertura de todo ramo acima e abaixo do sensor com neoprene e proteção com laminado de todo ramo. A temperatura do ar pode ser utilizada, com eficiência, para as correções dos gradientes térmicos. É indispensável a correção dos GTN presentes no caule para a adequada estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método Granier.

Palavras-chave: Densidade de fluxo. Dissipação térmica. Xilema. Manga.

NATURAL THERMAL GRADIENTS ON THE ESTIMATES OF SAP FLOW THROUGH THE GRANIER METHOD

ABSTRACT - The effects of thermal gradients on stem add one methodological constraint for estimating sap flow through the Granier method (thermal dissipation probe). The present work studied the effect of natural thermal gradients on estimates of sap flow by using thermal dissipation probe in mango plants. The study was carried by using mango plants of the cultivar Tommy Atkins during two development stages: (a) during the initial development phase of plants with leaf area of 0.66, 0.73, 1.78 m², planted in 15 and 50 liters pots. The study was carried in a greenhouse environment and in the field. Different thermal shields were used around the stem of plants in pots in order to minimize the effects of thermal natural gradients. The measurements of thermal differences were obtained from an adult plant with high leaf density and small exposition of branches to solar radiation. Sensors placed in stems of adult plant with high leaf density provided smaller thermal gradients compared to those inserted in young plant stems. It is necessary to cover the whole branch with neoprene and a shield (skirt type) of aluminum paper above and below the location of probe insertion for exposed branches. The air temperature at 2 m height may be used efficiently to correct thermal gradients. It is indispensable the correction of natural thermal gradients in the stem for adequate estimating sap flow density by the Granier method.

Keywords: Flow density. Thermal dissipation. Xylem. Mango.

*Autor para correspondência.

Recebido para publicação em 29/06/2010; aceito em 10/09/2010.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

²Doutorando em Agronomia, ESALQ/USP, av. Pádua Dias, 1, 13418-900, Piracicaba – SP; lucasvellame@gmail.com

³Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, rua Embrapa, Caixa Postal 07, 44380-000, Cruz das Almas – BA; macoe-lho@cnpmf.embrapa.br; ecoelho@cnpmf.embrapa.br

⁴Centro de Ciências Agrárias/UFRB, rua Escola de Agronomia, 44380-000, Cruz das Almas – BA; vpspaz@gmail.com

INTRODUÇÃO

Grande parte dos estudos sobre transpiração de plantas, principalmente em fruteiras lenhosas, baseia-se em metodologias de fornecimento de calor no caule. A estimativa da transpiração com base nessas metodologias pressupõe a equivalência entre o fluxo de seiva no tronco e o fluxo transpiratório nas superfícies foliares, pressuposto válido quando se considera o fluxo em escala diária (LU et al., 2002; SANTOS, et al., 2005; COELHO FILHO et al., 2005; DELGADO-ROJAS et al., 2007; VELLAME et al., 2009) Esses métodos têm sido utilizados em trabalhos relacionados à modelagem da transpiração (GRANIER; BRÉDA, 1996), na investigação de efeitos ambientais na variação da transpiração, como em estresse hídrico (YIN et al., 2004; GOMIDE et al., 2005; COSTA et al., 2007) e fitossanidade (MACHADO et al., 2006; PORTEN et al., 2000) em condições de campo. Para a sonda de dissipação térmica as maiores fontes de erro estão relacionadas à determinação da área da secção condutora de seiva, à distribuição espacial do fluxo no caule e à presença de gradientes térmicos naturais presentes no tronco.

Granier (1987) observou diferença entre os valores de fluxo de seiva medidos com três sensores distintos, orientados em lados opostos à altura de 1 m acima do solo. Loustau et al. (1998) também observaram diferenças nas medições com sondas em alturas diferentes no caule, provavelmente causadas pelo gradiente térmico natural. Este gradiente decorre da incidência de radiação solar e dos efeitos da temperatura do ar e do solo sobre o caule. Do e Rocheteau (2002), em um estudo com *Acacia* no Senegal, observaram que os gradientes térmicos naturais raramente podem ser negligenciados (i.e. $< 0,2^{\circ}\text{C}$) e que os erros na estimativa de fluxo de seiva podem ser de até 100%. Delgado-Rojas (2003) concluiu, em seu estudo com limoeiro, que os gradientes térmicos naturais devem ser considerados e sugeriu estudos mais aprofundados para encontrar uma solução para o problema. Lundblad et al. (2001), em um estudo com pinheiros, concluíram que os gradientes podem provocar erros de até 30% nas estimativas. Santos et al. (1999) concluem para o método do pulso de calor que a precisão de medição da absorção de água de milho sob baixas velocidades de seiva depende da eliminação da influência da temperatura ambiente sobre o fluxo de seiva. Para minimizar os erros, os autores mediram a taxa de variação de temperatura 60 segundos antes de cada emissão de um pulso de calor e extrapolados linearmente com o tempo, a fim de ajustar as diferenças de temperatura. Outros métodos de correção foram propostos visando minimizar a influência de gradientes térmicos naturais em medidas de fluxo de seiva (CERMÁK; KUCERA, 1981; CABIBEL; DO, 1991; GOULDEN; FIELD, 1994; GUTTIÉRREZ et al., 1994; KÖSTNER et al., 1998). Esses métodos, entretanto, são inadequados em condições de alta variabilidade espacial e tempo-

ral dos gradientes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito causado pelos gradientes térmicos naturais no caule sobre a estimativa do fluxo de seiva com a sonda de dissipação térmica na cultura da manga.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho compreendeu estudos com a cultura da manga em início de desenvolvimento, em vaso e em plantas adultas. O estudo foi realizado no campo experimental da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, localizada no município de Cruz das Almas – BA ($12^{\circ}48'39''\text{W}$; 225m). O clima da região é classificado como úmido a sub-úmido, com precipitação pluvial média anual de 1.143mm (D'ANGIOLELLA et al., 1998).

O estudo foi realizado em mangueiras da variedade Tommy Atkins, em dois estágios de desenvolvimento:

a) No início de desenvolvimento, com plantas de 0,66; 0,73 e 1,78 m² de área foliar, plantadas em vasos de 15 litros e 50 litros. O estudo foi conduzido em ambiente protegido com telado, no período de 3 a 18 de julho de 2005, e em campo aberto de 2 de fevereiro a 5 de março de 2006;

b) Em uma planta com 50,7 m² de área foliar em pomar de idade de 30 meses, com espaçamentos de 6 x 7 m e desenvolvimento uniforme, no período de 2 de fevereiro a 5 de março de 2006.

A área foliar - AF(m²) das plantas foi determinada medindo-se o maior comprimento - C (m) e largura - L (m) de 10% do total das folhas. A área foliar foi calculada de acordo com a Eq. 1 (OLIVEIRA, 2005).

$$AF = 0,5646.C.L + 4,7508 \quad (1)$$

No laboratório de Irrigação da Embrapa CNPMF foram construídas sondas de dissipação térmica de 1, 2 e 3 cm de comprimento utilizando-se termopares de cobre-constantan de 0,5 mm, inseridos em agulhas de 1,6 mm de diâmetro, preenchidas com resina para fixação. A Figura 1 mostra o processo de instalação das sondas no caule da planta para medição da diferença de temperatura entre os pontos. As diferenças térmicas naturais foram medidas com a sonda não aquecida. Para determinação do fluxo de seiva a sonda superior foi aquecida a uma potência constante de 0,1W.

A radiação solar e a temperatura do ar, a 2 m de altura, foram monitoradas ao longo de todo o estudo tanto em plantas jovens em vaso quanto plantas adultas. As diferenças térmicas naturais estimadas do caule (DTN) foram correlacionadas com a radiação solar global e temperatura gerando-se, por meio de regressão linear, modelos de estimativa para cada segmento de caule monitorado.

A diferença térmica com o sensor aquecido

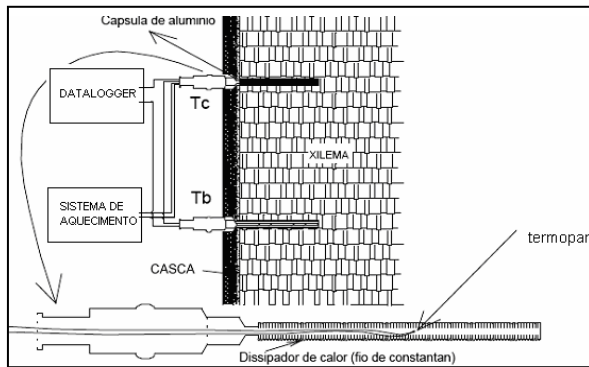


Figura 1. Diagrama de medição por sensor de dissipação térmica (DELGADO-ROJAS, 2003).

foi corrigida através da Eq. 2

$$DT = DT_{\text{medido}} - DTN_{\text{estimado}} \quad (2)$$

sendo,

DT - diferença térmica corrigida (°C);

DT_{medido} - diferença térmica medida pela sonda não corrigida (°C);

DTN_{estimado} - diferença térmica natural estimada (°C).

O fluxo de seiva - F ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foi calculado com e sem correção das diferenças térmicas naturais pela Eq. 3 que corresponde a equação geral de Granier com os parâmetros empíricos modificados de acordo com o trabalho de VELLAME et al. (2009).

$$F = 0,00017 \cdot k^{1,231} \cdot AS \quad (3)$$

sendo,

AS - área da seção condutora de seiva no caule (m^2);

k - um fator característico de cada espécie vegetal calculado pela equação a seguir:

$$k = \frac{(DTm - DT)}{DT} \quad (4)$$

em que DTm é a diferença de temperatura entre as duas sondas, na situação de fluxo nulo (°C).

Como a aplicação do método da sonda de dissipação térmica para a estimativa do fluxo de seiva pressupõe o conhecimento da área condutora do caule, procedeu-se à sua determinação através de método destrutivo, com aplicação de corantes em troncos e ramos de diversos diâmetros. Com base nesses dados a área condutora - AS (m^2) foi calculada em função do diâmetro de caule - D (m) através da Eq. 5. Foi observada uma camada externa não condutora - C (m), que variou com o diâmetro de caule pela Eq. 6. As sondas foram instaladas abaixo dessa camada (Figura 2).

$$AS = 0,667D^2 - 0,006D \quad (5)$$

$$C = 0,0625D \quad (6)$$

Para medição da transpiração foi utilizado o método gravimétrico. Os vasos, com as plantas em

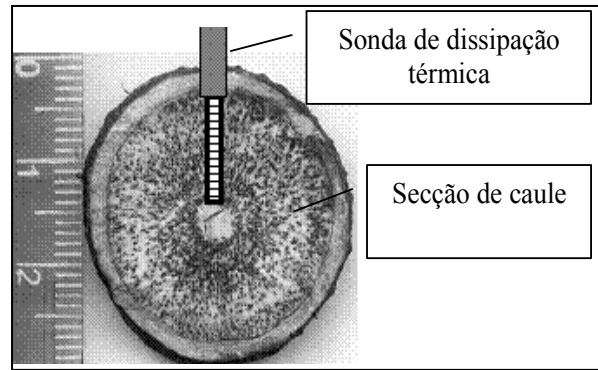


Figura 2. Seção de caule de mangueira, apresentando a parte condutora pigmentada e o posicionamento da sonda.

início de desenvolvimento, foram colocados sobre plataformas de pesagem que funcionaram como lisímetros; para evitar perdas de água por evaporação durante as medições, a superfície do solo foi coberta com lona plástica. As plataformas de pesagem foram equipadas com células de carga tipo flexão de capacidade de 45, 50 e 140 kg, centralizadas entre duas chapas de aço com dimensões 30 x 30 cm.

As informações de pesagem, diferenças térmicas, radiação solar global e temperatura do ar foram obtidas por um sistema de aquisição e armazenamento de dados ("datalogger" CR10X Campbell SCi.) associado a um multiplexador de canais (AM 416 Relay Multiplexer, Campbell SCi.) sendo as médias das leituras armazenadas a cada 10 min.

Isolamento térmico do caule e gradientes térmicos naturais em plantas em vaso

Com a finalidade de minimizar o efeito dos gradientes naturais de temperatura no caule foram estabelecidas três condições de isolamento térmico para instalação do sensor, com o uso de papel laminado e neoprene, como mostrado na Figura 3. O neoprene é a combinação de uma fatia de borracha expandida sob alta pressão e temperatura, que quando vulcanizada é revestida com tecido dos dois lados ou de apenas um lado. Suas principais características são: flexibilidade, elasticidade, resistência e proteção térmica.

As médias e amplitudes das diferenças térmicas naturais para cada condição de isolamento foram comparadas.

Medições das diferenças térmicas naturais em planta adulta

Em um pomar de manga com idade de 30 meses, com plantas espaçadas de 6 x 7 m, em desenvolvimento uniforme, foi escolhida uma planta considerada representativa do pomar. Uma sonda de 3 cm de comprimento foi instalada no tronco com diâmetro de 103 cm, à 25 cm do solo. Nos ramos principais de 5,45; 4,8; 6,98; 5,95 e 4,6 cm de diâmetro foram instaladas sondas de 2 cm de comprimento. Os segmentos de caule foram isolados com papel laminado em formato de saia.

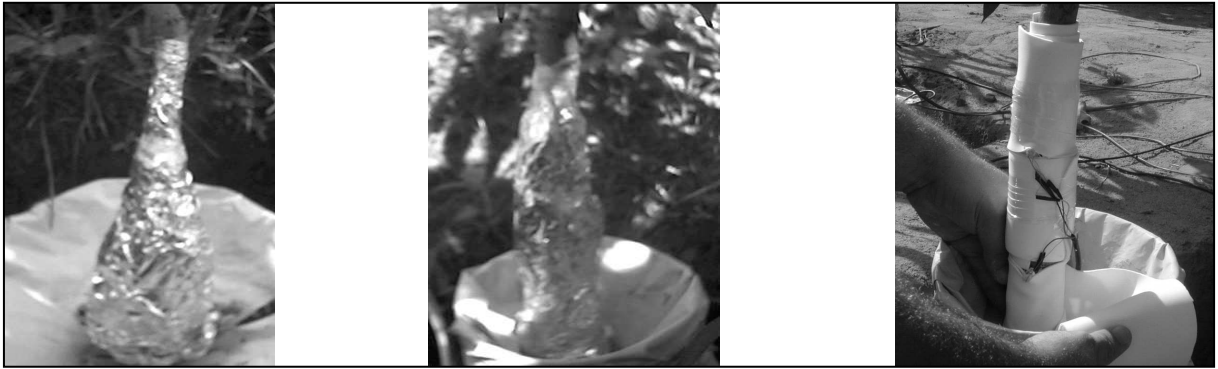


Figura 3. Isolamento térmico do caule para medição de gradientes de temperatura em caules de mangueiras: a) caule isolado acima e abaixo do sensor com laminado em formato de saia, permitindo a dissipação de calor do volume coberto, entre o caule e o laminado; b) laminado cobrindo completamente o caule, acima e abaixo do sensor, não permitindo a troca de calor; c) caule coberto com neoprene, em toda extensão acima e abaixo da posição do sensor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito do isolamento térmico do caule nas diferenças térmicas naturais

Na Figura 4 estão representadas as diferenças térmicas naturais apresentadas no tronco de uma planta adulta e em uma das plantas em vaso. Em vaso a exposição do caule aos efeitos do tempo é maior devido ao menor grau de cobertura, criando uma condição menos uniforme e, com isso, gerando gradientes de temperatura elevados, quando comparado a plantas com maior área foliar. Tomando como base essa condição, ao se definir uma metodologia que minimize os efeitos dos referidos gradientes em plantas em vaso, assegura-se que o mesmo seja eficiente em plantas adultas.

Comparando o efeito do isolamento térmico do caule no curso da diferença térmica natural (Figura 4), observa-se que, quando o segmento de tronco em que está inserido o sensor encontra-se exposto à atmosfera, as diferenças são negativas durante o dia, significando que o sensor inserido mais próximo ao solo está submetido a uma temperatura maior que o sensor superior. Padrão semelhante foi observado por Delgado-Rojas (2003) em um ramo de limoeiro adulto. Quando o segmento de caule se encontra protegido por papel laminado as diferenças se invertem, sendo positivas durante o dia e com valores absolutos muito inferiores, já que se cria um ambiente com temperaturas mais uniformes na região de medição.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores de média e amplitude para os valores de diferenças térmicas naturais nas plantas em vaso quando submetidas a diferentes proteções do segmento de caule. As menores diferenças foram obtidas quando o segmento de caule se encontrava protegido por folhas de neoprene e papel laminado tipo saia, apresentando média nas três plantas de 0,05°C.

Pode-se inferir que a condição de isolamento com neoprene e papel laminado minimizou as variações das diferenças térmicas naturais ao longo do

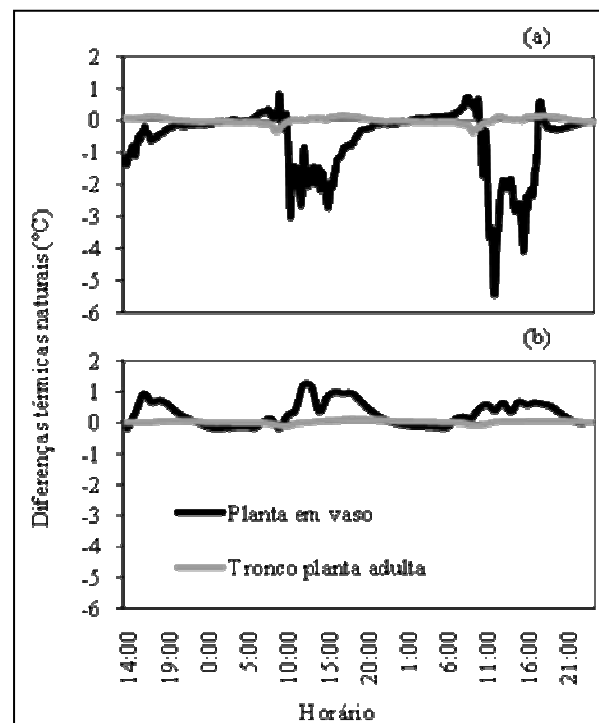


Figura 4. Diferenças térmicas naturais ao longo do dia em um tronco de mangueira adulta e de outra em vaso (a) sem isolamento térmico e (b) com o segmento de tronco protegido por papel laminado.

estudo nas três plantas, como pode ser observado pela amplitude das medidas (Tabela 1). Esse resultado refletiu o efeito combinado do neoprene, evitando o aquecimento do caule e transporte de calor ao sensor; e do laminado, evitando incidência direta de radiação no sensor e caule. Diferenças maiores ocorreram quando o segmento de caule foi coberto com papel laminado sem deixar abertura para troca de calor (0,23°C), apresentando também maior variação nas medidas térmicas, não sendo, portanto, recomendado.

Em todas as condições de isolamento observou-se diferença nos valores entre as plantas quanto à média e amplitude ao longo do período, provavel-

Tabela 1. Média e amplitude das diferenças térmicas naturais (°C) presentes no caule das três mangueiras em vaso, com diferentes proteções do segmento de caule.

Planta	Amplitude das diferenças térmicas naturais (°C)		
	Neoprene e laminado	Laminado aberto	Laminado fechado
1	0,7	2,2	2,3
2	0,7	1,8	3,1
3	1,5	1,5	3,7
Média das diferenças térmicas naturais (°C)			
	Neoprene e laminado	Laminado aberto	Laminado fechado
1	-0,01	-0,01	0,53
2	-0,01	0,23	0,08
3	0,17	0,19	0,09
Média	0,05	0,14	0,23

mente devido ao posicionamento dessas em campo e às diferenças de áreas foliares.

Diferenças térmicas naturais, temperatura do ar e radiação solar global

As diferenças térmicas naturais seguiram o curso da temperatura do ar, apresentando defasagem em relação à radiação global. Delgado-Rojas (2003), em planta cítrica jovem, verificou que o gradiente térmico natural é muito mais acentuado no período diurno. Santos et al (1999) observou em milho, com o método do pulso de calor que quando o ar ambiente em torno do caule está mudando rapidamente, o que é muito comum no início da manhã e da tarde,

gradientes de temperatura se desenvolvem ao longo do tronco. Para fluxos de seiva de baixa magnitude o gradiente pode ser da mesma proporção que a taxa na qual a diferença de temperatura se aproxima de seu valor inicial.

Na Tabela 2 estão apresentados os coeficientes de correlação de Pearson entre as diferenças térmicas naturais apresentadas em cada ramo e tronco, radiação solar global e temperatura do ar. Todas as variáveis apresentaram alta correlação entre si. A temperatura do ar mostrou melhor correlação com as diferenças térmicas naturais do que a radiação global, em virtude da defasagem entre ambas variáveis.

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson* entre diferenças térmicas naturais medidas em ramos e tronco de uma mangueira adulta durante três dias consecutivos, radiação solar global (Rg) e temperatura do ar a 2 m de altura (Tar).

	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4	Ramo 5	Tronco	Rg	Tar
Ramo 1	1,000	0,855	0,808	0,808	0,983	0,799	0,642	0,854
Ramo 2	0,855	1,000	0,781	0,781	0,878	0,783	0,408	0,861
Ramo 3	0,808	0,781	1,000	0,963	0,811	0,939	0,377	0,733
Ramo 4	0,808	0,781	0,963	1,000	0,811	0,939	0,377	0,733
Ramo 5	0,983	0,878	0,811	0,811	1,000	0,788	0,587	0,831
Tronco	0,799	0,783	0,939	0,939	0,788	1,000	0,356	0,763
Rg	0,642	0,408	0,377	0,377	0,587	0,356	1,000	0,654
Tar	0,854	0,861	0,733	0,733	0,831	0,763	0,654	1,000

* Coeficientes significativos a 0,1 % de probabilidade

Apesar da alta correlação entre as diferenças térmicas naturais, a subtração direta dos valores medidos por um sensor não aquecido, instalado em outra planta ou ramo dos registrados com a sonda aquecida, deve ser observada com cautela, dada a variabilidade espacial.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de média, máxima e mínima diferença térmica natural nos ramos e tronco da planta adulta. Observa-se discrepância entre os valores da média, máxima e mínima entre os ramos. Infere-se ser necessário, portanto, de estimativas das diferenças térmicas naturais de forma individualizada para cada sensor. Para tanto dados individualizados das diferenças térmicas naturais obtidas com os sensores não aquecidos devem

ser coletados, para posterior estimativa das mesmas com base na temperatura do ar ou de outro ramo.

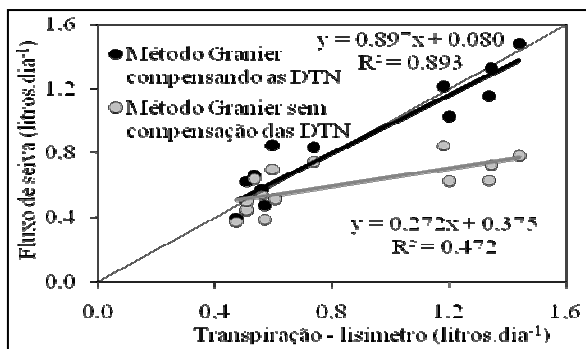
Efeito dos gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva

Com a finalidade de quantificar o efeito dos gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pela sonda de dissipação térmica, este foi correlacionado com a transpiração medida através de lisímetros, em escala diária (Figura 5). Quando se corrigem as diferenças térmicas pela subtração das diferenças térmicas naturais estimadas pela temperatura do ar, a tendência de subestimativa do fluxo pelo método diminui, como pode ser observado pelo coeficiente angular da reta ajustada. A correção das

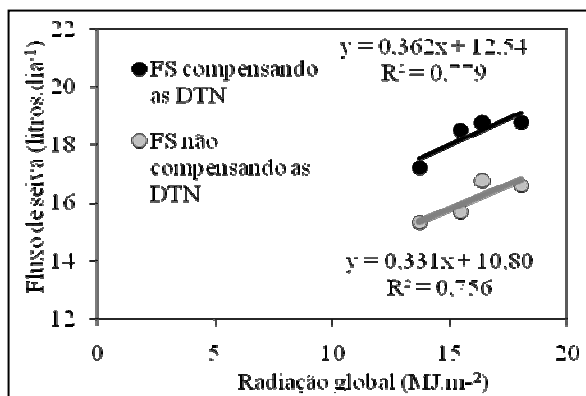
Tabela 3. Média, valor máximo e mínimo das diferenças térmicas naturais (DTN) para ramos principais e tronco de uma mangueira adulta em um período de 5 dias consecutivos.

	Diferenças térmicas naturais (°C)		
	Média	Máximo	Mínimo
Ramo 1	-0,01	0,38	-0,39
Ramo 2	0,00	0,83	-0,32
Ramo 3	-0,08	0,09	-0,25
Ramo 4	-0,12	0,24	-0,49
Ramo 5	-0,14	0,40	-0,49
Tronco	-0,08	0,08	-0,25

diferenças aumenta a precisão do método na estimativa do fluxo de seiva, como pode ser verificado pelo aumento do coeficiente de determinação (R^2). Delgado-Rojas (2003), Cabidel e Do (1991), Vellame et al. (2004) também observaram tendências de subestimativa do fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica.

**Figura 5.** Relação entre transpiração de mangueira medida por lisímetro e por fluxo de seiva, pelo método Granier com e sem compensação das diferenças térmicas naturais (DTN).

Em planta adulta, apesar das diferenças térmicas naturais terem sido menores, houve uma subestimativa média de 13,15% do fluxo de seiva. A subestimativa pode ser observada na Figura 6 que apresenta a relação entre a radiação solar global e o fluxo de seiva pelo método Granier.

**Figura 6.** Relação entre a radiação global e o fluxo de seiva (FS) medido pelo método Granier em uma mangueira adulta, pela soma dos fluxos nos ramos, com e sem compensação das diferenças térmicas naturais (DTN).

CONCLUSÕES

Em mangueiras adultas com elevada densidade de folhas, sensores posicionados no interior da copa apresentam gradientes térmicos menores que em ramos expostos de plantas jovens;

Para minimizar os gradientes térmicos em ramos expostos é necessária a utilização de cobertura de todo ramo acima e abaixo do sensor;

É indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule para adequar a estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método Granier. A temperatura do ar a 2 m de altura pode ser utilizada para correções de gradientes térmicos.

REFERÊNCIAS

- CABIBEL, B.; DO, D. Mesures thermiques des flux de seve 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.
- CERMÁK, J.; KUCERA, J. The compensation of natural temperature gradient at the measuring point during the sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum*, v. 23, p. 469–471, 1981.
- COELHO FILHO, M. A. et al. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 240-247, 2005.
- COSTA, R. F. et al. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 180-189, 2007.
- D'ANGIOLELLA, G. L. B. et al. Tendências climáticas para os tabuleiros costeiros da região de Cruz das Almas - BA, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços

- de Caldas, MG. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v. 1, p. 43-45.
- DELGADO-ROJAS, J. S. **Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citrus, como base para o manejo de irrigação.** 2003. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.
- DELGADO-ROJAS, J. S. et al. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de lima ácida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.
- 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.
- GOMIDE, R. L. et al. Caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays* L.) com sondas de fluxo de seiva. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, p. 344-354, 2005.
- GOULDEN, M. L.; FIELD, C. B. Three methods for monitoring the gas exchange of individual tree canopies: ventilated-chamber, sap-flow and Penman-Monteith measurements on evergreen oaks. **Functional Ecology**, v. 8, p. 25-135, 1994.
- GRANIER, A. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. **Tree Physiology**, v. 3, p. 309-319, 1987.
- GRANIER, A.; BRÉDA, N. Modeling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. **Annales Sciences Forestieres**, v. 53, p. 1-14, 1996.
- GUTIERREZ, M. V. et al. The effect of environmentally induced stem temperature gradients on transpiration estimates from the heat balance method in two tropical woody species. **Tree Physiology**, v. 14, p. 179-190, 1994.
- KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; CERMÁK, J. Sap-flow measurements in forest stands: methods and uncertainties. **Annales Sciences Forestieres**, v. 55, p. 13-27, 1998.
- LOUSTAU, D.; DOMEK, J.C.; BOSCH, A. Interpreting the variation in xylem sap flux density with the trunk of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) application of a model for calculating water flows at tree and stand levels. **Annales Sciences Forestieres**, v. 55, p. 29-40, 1998.
- LU, P.; WOO, K. C.; LIU, Z.T. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 375, p. 1771-1779, 2002.
- LUNDBLAD, M.; LAGERGREN, F.; LINDROTH, A. Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sapflow measurements in pine and spruce. **Annales Sciences Forestieres**, v. 58, p. 625-638, 2001.
- MACHADO, E. C. et al. Fluxo de seiva e fotossíntese em laranjeira 'Natal' com clorose variegada dos citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 911-918, 2006.
- OLIVEIRA, G. X. S. **Determinação da transpiração em mangueiras (*Mangifera indica* L.), através do fluxo de seiva, sua relação com a evapotranspiração e área foliar.** 2005. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2005.
- PORTEN, M.; SCHMID, J.; RUHL, E. H. Sap flow measurements on phylloxera infested grapevines. **Acta Horticultural**, v. 537, p. 367-373, 2000.
- SANTOS, A. O. et al. Determinação do fluxo de seiva em videira através da técnica do pulso de calor. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 13, n. 2, p. 262-272, 2005.
- SANTOS, A. O. et al. Assessment of corn water uptake based on sap heat tracing, under water-stressed conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 145-149, 1999.
- VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.
- YIN, G. et al. Sap flow response of *Eucalyptus* (*Eucalyptus urophylla*) to environmental stress in South China. **Journal of Zhejiang University Science**, v. 5, n. 10, p. 1218-1225, 2004.