

EFEITOS DAS DIFERENÇAS TÉRMICAS NATURAIS NA ESTIMATIVA DO FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DE GRANIER EM CACAUEIRO A PLENO SOL

BRUCE MOTA PAMPONET¹; AUREO SILVA DE OLIVEIRA²; LÍGIA BORGES MARINHO³; LUCAS MELO VELLAME⁴; VITAL PEDRO DA SILVA PAZ⁵

¹ Mestrando em Ciências Agrárias, UFRB, Rua Rui Barbosa, 710, Centro, CEP 44.380-000, Cruz das Almas, BA. Fone (75) 36212798, e-mail: bruce.mota@yahoo.com.br.

² Prof. Associado da UFRB/Cruz das Almas, BA.

³ Bolsista PNPd/ Capes, UFRB, Cruz das Almas, BA.

⁴ Professor, IF Sertão - PE.

⁵ Prof. Titular da UFRB/Cruz das Alma, BA.

1 RESUMO

O surgimento de problemas fitossanitários é a principal causa da necessidade de expansão da cacauicultura no território brasileiro e de imediato para o semiárido. Por ser uma planta caducifólia, depositando suas folhas no solo, as perdas de água por evaporação são minimizadas, tornando a transpiração o principal componente da demanda hídrica da cultura. O objetivo do trabalho foi estudar o efeito das diferenças térmicas naturais (DTN) na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier na cultura do cacau cultivado a pleno sol. O estudo foi conduzido em região semiárida, na Fazenda Nova Conquista, no município de Nova Redenção – BA. Foram usadas, quatro plantas de cacau seminais e duas de clones CCN51. Mediu-se as DTN por um período de 50 dias e realizou-se uma análise de correlação entre os dados. O fluxo de seiva foi medido no mês de janeiro de 2012 e relacionou-se às médias da densidade de fluxo de seiva das plantas com e sem compensação de diferenças térmicas. De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que para uma estimativa acurada do fluxo de seiva pelo método Granier na cultura do cacau é indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule, podendo ser utilizada a temperatura do ar para estimativa das DTN. A subtração direta dos valores medidos por um sensor não aquecido instalado em outra planta, ramo ou até no mesmo tronco ao registrado com a sonda aquecida pode conduzir a erros expressivos na estimativa do fluxo de seiva.

Palavras-Chave: cacau; dissipação térmica; densidade de fluxo de seiva

PAMPONET, B. M.; de OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M. ; PAZ, V. P. da S. NATURAL THERMAL DIFFERENCES SAP FLOW ESTIMATING BY THE GRANIER'S METHOD, IN COCOA FULL SUN AND UNDER WATER DEFICIT

2 ABSTRACT

The emergence of disease is the main cause of the need for expansion of cocoa plantations in Brazil and immediately to the semi-arid. As a deciduous tree, leaves the deposited soil, water loss by evaporation is minimized by making the main component of sweat water demand of the culture. The aim of this work was to evaluate the effect of natural thermal differences

(NTD) to estimate the sap flow Granier method's in the culture of cocoa grown in full sun. The study was conducted in a semiarid region in Nova Conquista Farm, in Nova Redenção - BA. Were used four seminal cocoa trees CCN51 and two clones. Was measured by the NTD for a period of 50 days and there was a correlation analysis of data. The sap flow was measured in January 2012 and was related to the mean density sap flow from trees with and without thermal compensation differences. According to the results we can conclude that for an accurate estimation of sap flow by Granier method in the cocoa cultivation is essential for the correction of natural thermal gradients present in the stem and can be used to estimate air temperature of NTD. A straight subtraction of the values measured by a sensor installed in unheated another tree, branch or even the same trunk that registered with the heated probe can lead to significant errors in estimating the sap flow.

Keywords: cocoa; thermal dissipation; sap flow density.

3 INTRODUÇÃO

O cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) é uma espécie nativa da floresta tropical úmida americana, sendo seu centro de origem, provavelmente, as nascentes dos rios Amazonas e Orinoco. No Brasil o cultivo do cacauzeiro foi se expandido pelas margens do rio Amazonas e introduzido na Bahia em 1746, onde encontrou boas condições de clima e solo formando a principal região produtora do país e de grande importância econômica.

O cacauzeiro foi estabelecido nas regiões tropicais úmidas no mundo, no entanto, essas áreas têm enfrentado diversos problemas, destacando-se os fitossanitários e os econômicos. Com o avanço das tecnologias de produção agrícola há possibilidades de implantação com sucesso da cultura em áreas consideradas não tradicionais, devido, principalmente, as novas técnicas de irrigação, fertirrigação, manejo e do material genético melhorado. O uso de irrigação em cacauzeiro tem incrementado em 40 a 100 % as produtividades de pomares em várias regiões (HUAN, 1984; SIQUEIRA et al., 1987; SIQUEIRA et al., 1996 e FREIRE, 1993).

Por ser uma cultura cultivada tradicionalmente em ambientes úmidos, sem irrigação, são escassas as informações a respeito das relações hídricas do cacau. Essas informações, no entanto, são extremamente necessárias para o correto planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação. Por ser uma planta caducifólia, depositando suas folhas no solo, as perdas de água por evaporação são minimizadas por essa cobertura, tornando assim a transpiração o principal componente da demanda hídrica da cultura.

Os métodos de medição do fluxo de seiva possibilitam acompanhar a uma escala temporal de curtos intervalos o funcionamento hídrico das plantas no seu meio ambiente natural e em condições não perturbadas, durante períodos prolongados. Grande parte dos estudos sobre medidas de transpiração de plantas principalmente em frutíferas lenhosas se baseia em métodos de fornecimento de calor no tronco. A estimativa da transpiração com base nesses métodos 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 (VELLAME et al., 2009; COELHO FILHO et al., 2005; DELGADO-ROJAS et al., 2007; LU et al., 2002; VALANCOGNE & NASR, 1993).

O método desenvolvido por Granier (1985) permite a determinação da densidade de fluxo de seiva no caule possibilitando, assim, a estimativa do fluxo de seiva. O autor relacionou a velocidade de dissipação de calor aplicado pontualmente no tronco com a

densidade de fluxo de seiva, sob o pressuposto de que a variação temporal da diferença de temperatura entre este ponto e um ponto abaixo do mesmo é ocasionada pelo transporte convectivo de calor pela seiva.

Tem-se utilizado a densidade de fluxo de seiva para estimativa da transpiração de grandes áreas vegetadas, com base em várias técnicas de integração (GRANIER & BRÉDA, 1996; WULLSHLEGER et al., 2000). O método também tem sido utilizado na investigação de efeitos ambientais na variação da transpiração em condições de campo, como em fisiologia do estresse (MASSAI et al., 2000) e fitossanidade (PORTEN et al., 2000).

Delgado-Rojas et al. (2007), baseados em medidas lisimétricas em citros, concluíram que o método pode ser aplicado com boa exatidão desde que os efeitos dos gradientes térmicos naturais no caule sejam corrigidos. Em manga, Lu e Chacko (1998) encontraram boa concordância entre os valores de transpiração medidos por gravimetria e o fluxo de seiva em escala diária pelo método da sonda de dissipação térmica. Vellame et al. (2009), também em manga, encontraram boa concordância com a transpiração diária, ao corrigir os gradientes térmicos naturais e modificar os parâmetros empíricos da equação geral de Granier. Silva et al. (2004) ajustaram uma equação com os dados obtidos por gravimetria e pela sonda de dissipação térmica em plantas de kiwi, obtendo boa correlação.

Para a sonda de dissipação térmica as maiores fontes de erro estão relacionadas à determinação da área da seção condutora de seiva, à distribuição espacial do fluxo no caule e à presença de gradientes térmicos naturais 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; Domec e Bosc (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* sp. no Senegal, observaram que os gradientes térmicos naturais raramente podem ser negligenciados (i.e. $< 0,2$ °C) e que os erros na estimativa de fluxo de seiva podem ser de até 100%. Delgado-Rojas (2003) concluiu, em seu estudo com lima ácida, que os gradientes térmicos naturais devem ser considerados e sugeriu estudos mais aprofundados para encontrar uma solução para o problema. Lundblad; Lagergren e Lindroth (2001), em um estudo com pinheiros, concluíram que os gradientes podem provocar erros de até 30% nas estimativas. Santos et al. (1999) concluíram 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 a medida do fluxo de seiva. Diferentes métodos de correção foram propostos visando minimizar a influência de gradientes térmicos naturais em medidas de fluxo de seiva (CÉRMÁK & 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 temporal dos gradientes

Não há informação na literatura sobre a utilização de sonda de dissipação térmica em cacauzeiro, nem do efeito das diferenças térmicas nas estimativas de fluxo de seiva para essa cultura. O objetivo do trabalho foi estudar o efeito dos gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier na cultura do cacau cultivado a pleno sol.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na fazenda Nova Conquista do grupo Bagisa na cidade de Nova Redenção-BA. O clima da região é semiárido e o experimento foi realizado na latitude 12°51'40''S, longitude 4° 08'10''W a 391 metros de altitude.

No laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, foram construídas sondas de dissipação térmica (SDT) com 1 cm de comprimento. Utilizaram-se termopares de “cobre-constantan” de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas de 1,0 mm, preenchidas com resina para fixação.

Foram instaladas duas SDT em cada lado do tronco em quatro plantas de cacau seminal e em uma de clone CCN51, em outra planta de clone CCN51 uma sonda foi instalada em um ramo a 1,4 m de altura (Figura 1). As plantas apresentavam espaçamento de 1,5 x 3,5 m, cultivadas a pleno sol. O estudo foi realizado em condição de sequeiro, com déficit hídrico (sem irrigação e baixa precipitação).

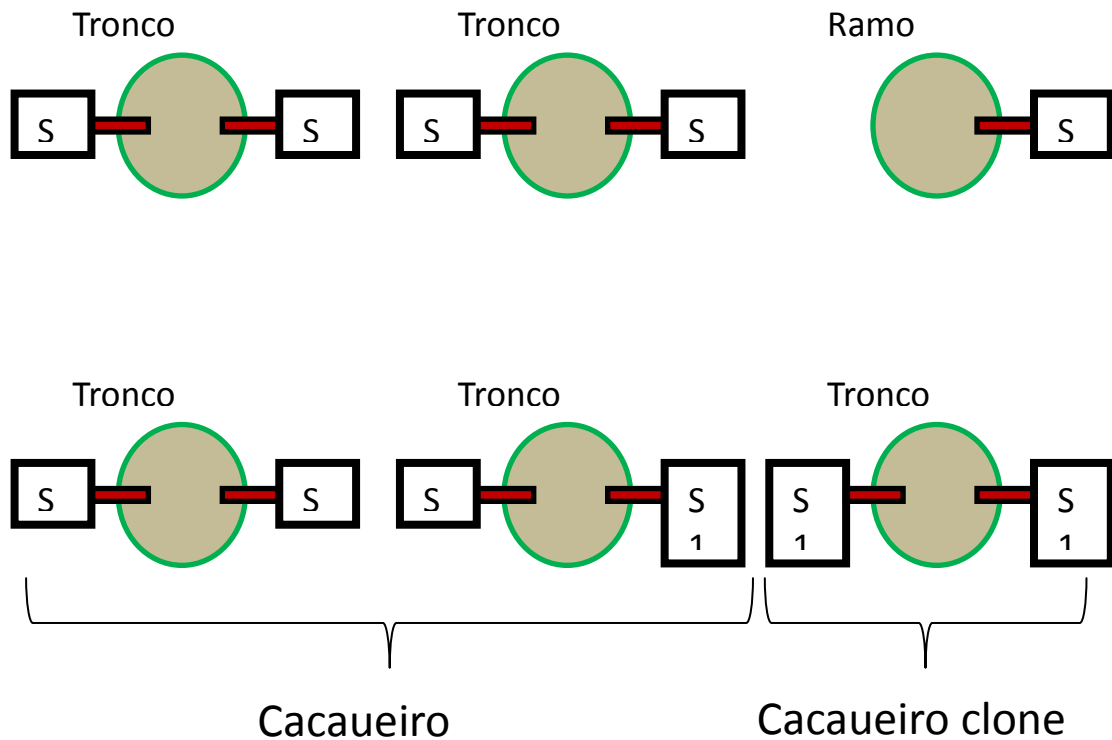


Figura 1. Esquema de instalação das sondas de dissipação térmica e vista do experimento.

A Figura 2 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 as sondas superiores não aquecidas nos meses de setembro e outubro de 2011. Para determinação do fluxo de seiva as sondas superiores foram aquecidas a uma potência constante de 0,1W por meio de fontes de corrente constante.



Figura 2. Instalação das sondas no caule e ramo de cacauero.

Cada sensor utilizado no método é composto por uma sonda aquecida à potência constante, e por uma sonda não aquecida (sonda de referência), ambas possuem internamente um termopar (Figura 3). Granier (1985) relacionou a velocidade de dissipação de calor, aplicado num ponto do tronco, com a densidade de fluxo de seiva.

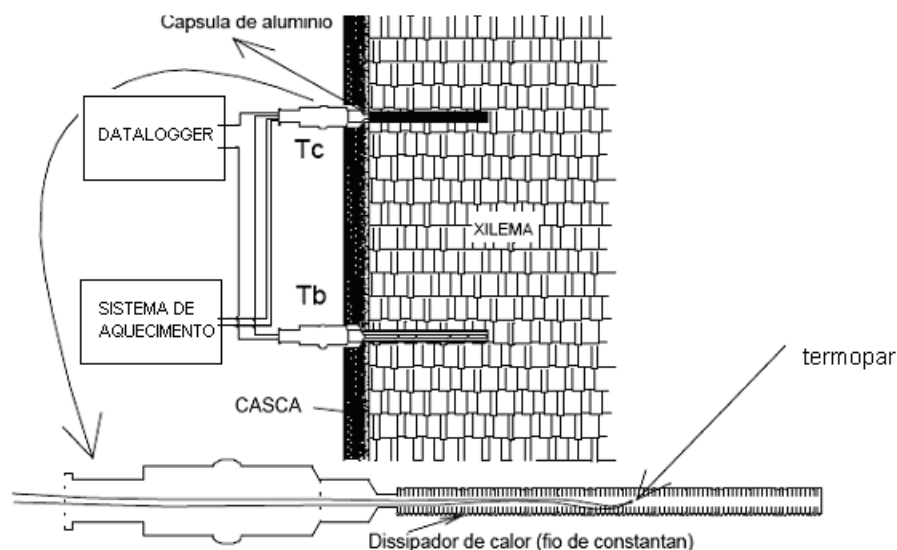


Figura 3. Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (Delgado-Rojas, 2003)

Considerando uma condição de equilíbrio térmico do sistema (sonda, caule e seiva), para uma densidade de fluxo constante, pode ser assumido que a entrada de calor é igual ao calor dissipado por condução e convecção na parede da sonda.

$$h S (T-T_f)=R I^2 \quad (1)$$

em que,

h - coeficiente de troca térmica, $W m^{-2} °C^{-1}$;

S - área da superfície de troca, m^2 ;

T - temperatura da sonda, $°C$;

T_f - temperatura do caule na ausência de aquecimento, $°C$;

R - resistência elétrica do elemento aquecedor, Ω ; e

I - corrente elétrica, A .

O coeficiente de troca térmica (h) depende do peso específico (ρ), da viscosidade (μ) e calor específico (c_p) e da condutividade térmica (k) do fluido. Depende também da velocidade (v) e diâmetro do escoamento (D). A relação entre essas variáveis aplicadas a trocadores de calor é apresentada na Eq. 2 utilizando os números adimensionais de Nusselt (Nu), Reynolds (Re) e Prandtl (Pr) e os coeficientes empíricos n e m .

$$Nu = C Re^n Pr^m \quad (2)$$

em que,

$$Nu = \frac{h D}{k} \quad (3)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (4)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (5)$$

A densidade de fluxo de seiva pode ser relacionada com coeficiente h pela Eq. 6 que é derivada da Eq. 2, considerando ρ , μ , c_p , k e D constantes; fazendo a velocidade igual densidade de fluxo de seiva – F_d ($m^3 m^{-2} s^{-1}$) e β , igual aos coeficiente empírico n da Eq. 2.

$$h = h_0 (1 + \alpha F_d^\beta) \quad (6)$$

em que,

h_0 - coeficiente de troca térmica na condição de fluxo nulo ($W m^{-2} °C^{-1}$), calculado pela Eq. 9:

$$h_0 = \frac{R I^2}{S (T_{m\acute{a}x} - T_f)} \quad (7)$$

em que,

$T_{m\acute{a}x}$ - temperatura a fluxo zero, quando somente ocorre perda de calor por condução.

Combinando as equações 1, 6 e 7:

$$F_d = \left[\frac{1}{\alpha} \times \frac{(T_{m\acute{a}x} - T_f) - (T - T_f)}{(T - T_f)} \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{1}{\alpha} \times \frac{(\Delta T_{m\acute{a}x} - \Delta T)}{\Delta T} \right]^{\frac{1}{\beta}} = \left[\frac{1}{\alpha} \times K \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (8)$$

Granier (1985) relacionou a densidade de fluxo de seiva (F_d) e a diferença de temperatura (ΔT) entre as duas sondas, a equação foi validada para algumas espécies, em especial plantas florestais *Pinus nigra*, *Pseudotsuga menziensis*, *Quercus pedunculata* (coníferas e porosidade em anel).

$$K = \frac{(\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T)}{\Delta T} = \alpha F_d^\beta = 0,0206 \times 10^{-6} F_d^{0,812} \quad (9)$$

$$F_d = 118,99 \times 10^{-6} \left(\frac{\Delta T_{\text{máx}} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231}$$

O fluxo de seiva – F ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) é calculado considerando a área da seção efetiva do caule que conduz a seiva bruta – AS (m^2), ou seja:

$$F = 118,99 \times 10^{-6} K^{1,231} AS \quad (10)$$

As diferenças térmicas naturais estimadas para cada sonda foram correlacionadas com uma medida de referencia (outra sonda ou temperatura do ar), para gerar, por meio de regressão linear, modelos de estimativa para cada segmento de caule monitorado (Equação 11).

$$DTNE = a.REF + b \quad (11)$$

em que,

REF – medida de referência (temperatura média do ar no momento da medição, °C ou diferença de temperatura de outra sonda não aquecida, °C);

a e b - coeficientes empíricos.

A diferença térmica com o sensor aquecido foi corrigida como segue:

$$\Delta T = \Delta T_m - DTNE \quad (12)$$

em que,

ΔT - diferença térmica atual corrigida, °C;

ΔT_m - diferença térmica não corrigida medida pela sonda, °C; e

DTNE - diferença térmica natural estimada para cada sonda, °C.

A aquisição dos dados foi realizada a cada 30 segundos e armazenadas as médias a cada 15 minutos em sistema de aquisição e armazenamento de dados ("datalogger" CR1000 Campbell SCi.) associado a dois multiplexadores de canais (AM 1632 Relay Multiplexer, Campbell SCi.).

A evapotranspiração de referência diária foi calculada pela equação de Penman-Monteith (ET_o) como recomendado pela FAO (ALLEN et al., 1998)..

A comparação entre as estimativas de fluxo de seiva das duas cultivares de cacau, com e sem compensação dos GTN e da relação entre o fluxo de seiva e as variáveis meteorológicas foram realizadas num período de déficit hídrico em condições de cultivo a pleno solo e situação de sequeiro no mês de janeiro de 2012

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentado o curso das diferenças térmicas naturais (DTN) em um ramo e tronco de cacaueteiro e a temperatura do ar ao longo de seis dias. O curso das DTN segue o observado por Delgado-Rojas (2003) em planta cítrica jovem, que verificou que as DTN são muito mais acentuadas no período diurno. Observou-se que enquanto que no tronco as diferenças térmicas seguiram o curso da temperatura do ar, no ramo essas diferenças apresentaram uma defasagem, provavelmente devido às diferenças quanto à altura em relação ao solo, ao sombreamento e a capacidade de armazenamento de calor.

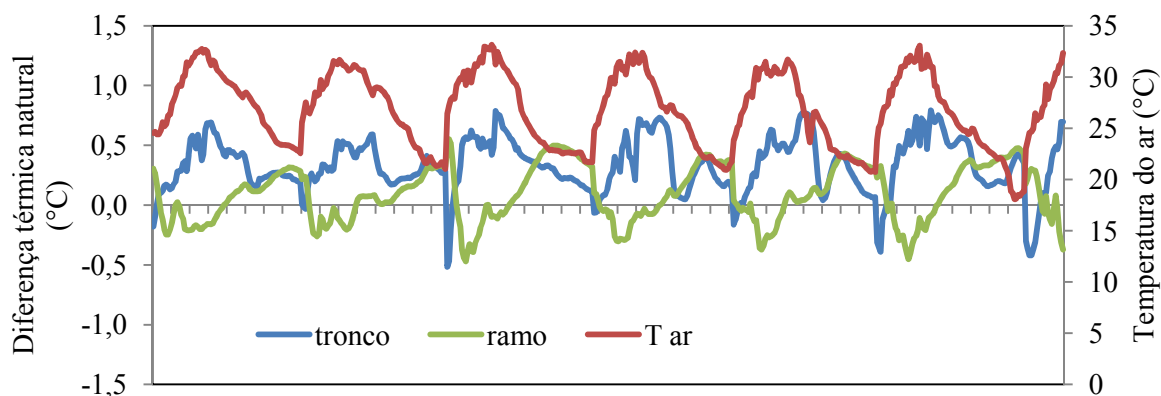


Figura 4. Diferenças térmicas naturais em ramo e tronco de cacaueteiro e temperatura do ar ao longo de seis dias.

Na Tabela 1 estão apresentados os coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as diferenças térmicas naturais em cada ramo, tronco e temperatura do ar. Todos coeficientes apresentaram uma correlação significativa a 5%. A correlação entre as DTN variaram de forma bastante acentuada. A temperatura do ar mostrou boa correlação com as DTN de várias sondas, corroborando os resultados apresentados por Vellame et al. (2011) que trabalharam com plantas jovens e adultas de manga. Ranqueando os coeficientes de correlação não observado uma influência marcante quanto a localização do sensor (plantas na mesma fileira ou linha) no aumento do valor de R.

Os coeficientes de correlação entre as medidas numa mesma planta variaram de 0,37 a 0,96, sendo apresentado uma divergência nos valores de DTN de em média 0,165°C (111%) o que pode provocar um erro de até 20% na estimativa do fluxo de seiva diário. Os resultados demonstram que a utilização de uma terceira sonda instalada horizontalmente a fim de compensar as DTN, como apresentado por Lundblad et al. (2001), pode não ser a melhor alternativa para compensar as DTN.

Apesar da boa correlação entre as diferenças térmicas naturais a subtração direta dos valores medidos por um sensor não aquecido instalado em outra planta, ramo ou até no mesmo tronco ao registrado com a sonda aquecida, deve ser observado com cautela, dada a variabilidade espacial. Na Tabela 2 estão apresentados os valores de média, amplitude e coeficiente de variação para os valores de diferença térmica natural. Observa-se discrepância entre os valores da média e amplitude. Infere-se ser necessário de dados individualizados das diferenças térmicas naturais obtidas com os sensores não aquecidos para estimativa das mesmas com base na temperatura do ar ou de outro sensor não aquecido (Vellame et al., 2011; Peschke et al., 2005; Tournebize & Boistard, 1998)

Tabela 1. Coeficiente de correlação de Pearson* entre as diferenças térmicas naturais medidas por cada sonda e entre a temperatura do ar.

	T_ar	Tronco P1		Tronco P2		Ramo P3	Tronco P4		Tronco P5		Tronco P6		
		S1	S2	S3	S4	S5	S7	S8	S9	S10	S11	S12	
T _{ar}	1,00	0,47	-0,32	0,83	0,92	-0,86	0,62	0,43	0,05	-0,18	-0,46	0,56	
Tronco P1	S1	0,47	1,00	0,51	0,82	0,70	-0,38	0,92	0,79	0,53	0,11	0,37	0,84
	S2	-0,32	0,51	1,00	0,15	-0,07	0,38	0,33	0,45	0,73	0,33	0,88	0,41
Tronco P2	S3	0,83	0,82	0,15	1,00	0,96	-0,70	0,90	0,75	0,44	-0,07	-0,02	0,82
	S4	0,92	0,70	-0,07	0,96	1,00	-0,77	0,82	0,66	0,28	-0,07	-0,21	0,74
Ramo P3	S5	-0,86	-0,38	0,38	-0,70	-0,77	1,00	-0,50	-0,23	0,19	0,41	0,59	-0,31
Tronco P4	S7	0,62	0,92	0,33	0,90	0,82	-0,50	1,00	0,90	0,56	0,12	0,26	0,90
	S8	0,43	0,79	0,45	0,75	0,66	-0,23	0,90	1,00	0,74	0,37	0,50	0,89
Tronco P5	S9	0,05	0,53	0,73	0,44	0,28	0,19	0,56	0,74	1,00	0,37	0,77	0,69
	S10	-0,18	0,11	0,33	-0,07	-0,07	0,41	0,12	0,37	0,37	1,00	0,46	0,37
Tronco P6	S11	-0,46	0,37	0,88	-0,02	-0,21	0,59	0,26	0,50	0,77	0,46	1,00	0,39
	S12	0,56	0,84	0,41	0,82	0,74	-0,31	0,90	0,89	0,69	0,37	0,39	1,00

* Coeficientes significativos a 5 % de probabilidade

Tabela 2. Média, amplitude e coeficiente de variação da temperatura do ar e das diferenças térmicas naturais medidas.

	Média (°C)	Amplitude (°C)	CV (%)
Temperatura do ar	25,98	15,09	14,48
Sonda 1	0,32	1,45	69,42
Sonda 2	0,21	2,08	137,07
Sonda 3	0,47	1,42	69,42
Sonda 4	0,47	1,37	73,05
Sonda 5	0,13	1,15	173,11
Sonda 7	0,30	1,08	73,71
Sonda 8	0,33	1,23	65,25
Sonda 9	0,21	1,77	149,55
Sonda 10	0,11	0,95	116,66
Sonda 11	0,33	1,39	80,53
Sonda 12	0,26	0,89	65,03

Na Figura 4 estão correlacionadas as medidas de fluxo de seiva pelas sondas Granier com e sem compensação das DTN pela temperatura do ar. Observa-se uma tendência de subestimativa do método, quando não compensadas as DTN (média de 5,9%). Diversos autores (Cabidel & Do, 1991; Silva, 2004; Delgado-Rojas et al. 2007; Vellame, 2009) observaram tendências de subestimativa do fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica. Vellame et al. (2011) observou em plantas jovens de manga que a correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule foi indispensável para adequar a estimativa da densidade de fluxo de seiva pelo método Granier. Entretanto, Delgado-Rojas et al. (2006), em estudo com a seringueira, verificaram que não houve interferência das diferenças térmicas ou gradiente térmico natural (GTN) sobre as estimativas de fluxo de seiva (FS) devido à alta densidade de plantas.

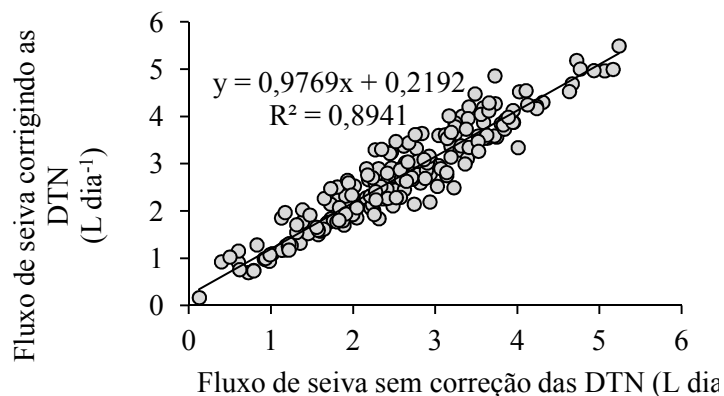


Figura 5. Relação entre o fluxo de seiva estimado com e sem correção das diferenças térmicas naturais (DTN) pela temperatura do ar.

Na Figura 5 é apresentado o curso da razão entre fluxo de seiva estimado pelo método Granier com as DTN corrigidas em função da temperatura do ar e a evapotranspiração de referência (FS/ET_o) no mês de janeiro de 2012. Nesse período não houve uma boa correlação entre o fluxo de seiva e a demanda evaporativa da atmosfera dada a falta de disponibilidade hídrica no solo. Observa-se na Figura 5 que no início do mês a relação FS/ET_o dada uma maior disponibilidade de água no solo proveniente das precipitações pluviométricas nos meses anteriores (outubro 47 mm, novembro 90 mm e dezembro 52 mm). A medida que diminui a disponibilidade de água observa-se uma redução no fluxo de seiva e as plantas passam a transpirar diariamente cerca de 0,5 litros para cada mm de ET_o.

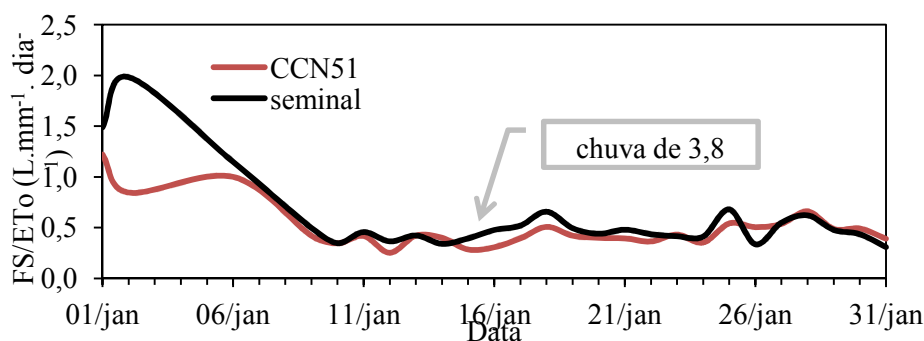


Figura 6. Curso da relação entre fluxo de seiva e evapotranspiração de referência (FS/ET_o) ao longo do mês de janeiro 2012.

6 CONCLUSÕES

Para uma estimativa acurada do fluxo de seiva pelo método Granier na cultura do cacau é indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule.

A temperatura do ar pode ser utilizada para correções de gradientes térmicos.

A subtração direta dos valores medidos por um sensor não aquecido instalado em outra planta, ramo ou até no mesmo tronco ao registrado com a sonda aquecida pode conduzir a erros expressivos na estimativa do fluxo de seiva.

7 REFERENCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, D. **Crop evapotranspiration: Guides for computing crop water requirements** Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO;Rome, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper,56.)

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**, Dordrecht, v. 23, n. 6, p. 469–471, 1981.

CLEARWATER M.J. et al. Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. *Tree Physiology*, v.19, p.681–687, 1999

COELHO FILHO, M.A. et al. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.62, n.3, p.240-247, 2005

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. 110f.. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2003.

DELGADO-ROJAS, J.S.; RIGHI, C.A.; KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; BERNARDES, M.S; FOLEGATTI, M.V. Desempenho do método de dissipação térmica na medida do fluxo de seiva em seringueira. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 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**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

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

ÈERMÁK, J.; KUÈERA, J. The compensation of natural temperature gradient at the measuring point during the sap flow rate determination in trees. *Biology Plant*, v. 23 p.469–471, 1981.

FREIRE, M. de S. L. Efeitos da irrigação complementar no rendimento do cacauero (*Theobroma cacao* L.). Piracicaba, SP. ESALQ Tese de mestrado. 1993, 127 p.

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. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres, Versailles*, v.42, n. 2, p.193-200, 1985.

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

GUTTIÉRREZ, 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

HUAN, L. K.; YEE, H. C.; WOOD, I. Irrigation of cocoa on Coastal Soils in Peninsular Malaysia. *International Conference on cocoa and coconuts*. v.1, 1984

KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; ÈERMÁK, J. Sapflow measurements in forest stands: methods and uncertainties. *Annales Sciences Forestieres*, v.55, p.13–27, 1998

LOUSTAU, D.; DOMEQ, J.C.; BOSCH, A. Interpreting the variation in xylem sap flux density withing 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.; CHACKO E. Evaluation of Granier's sap flux sensor in young mango trees.

Agronomie, Paris, v. 18, n. 7, p. 461-471, 1998.

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.

MASSAI, R. et al. Sap flow in peach trees during water stress and recovery in two environmental conditions. *Acta Horticultural*, v. 537, p.351-358, 2000.

PESCHKE, G. et al. Experimentelle Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Fichten, *Forstwiss. Centralbl*, v. 114, p.326–339, 1995

PORTEN, M.; SCHMID, J.; RUHL, E.H. Sap flow measurements on phylloxera infested grapevines. *Acta Horticultural*, v. 537, p.367-373, 2000.

SIQUEIRA, P. R.; MULLER, M. W.; PINHO, A. F. S. Efeito da irrigação na produtividade do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.). Anais ...XVI Congresso Brasileiro de engenharia agrícola –CONBEA. Jundiaí, SP. 1987. Vol 7, p 116-127.

SIQUEIRA, P. R.; SENA GOMES, A.; DIAS, L. A.; SOUZA, C. A. S. Efeito da irrigação na produtividade do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) em Linhares, ES, Brasil. 12th International Cocoa Research Conference. Salvador, BA, Brasil. 1996, p 867-877.

SILVA, R.M. et al. Determinação das necessidades de rega em kiwi na região do Entre Douro e Minho. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004, Lisboa, Portugal. Anais... Lisboa, Portugal: LNEC, 2004. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/108.PDF>> Acesso em: 10/12/2006

TOURNEBIZE, R.; BOISTARD, S. Comparison of two sap flow methods for the estimation of tree transpiration. *Annales Sciences Forestieres*, v.55, 707-713, 1998.

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, 1993. p.166-173.

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.

VELLAME, L.M. Relações hídricas e frutificação de plantas cítricas jovens com redução de área molhada do solo. 2010.128p. 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*, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

WULLSCHLEGER, S.D.; WILSON, K.B.; HANSON, P.J. Environmental control of whole-plant transpiration, canopy conductance and estimates of the decoupling factor for large red maple trees. **Agricultural Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 104, p. 157-168, 2000.