



TRANSPIRAÇÃO DE CACAUEIRO NO SEMIÁRIDO BAIANO EM DUAS CONDIÇÕES DE SOMBREAMENTO

L. S. Fraga Junior¹, L. M. Vellame², L. B. Marinho³, V. P. da S. Paz⁴, V. G. Ribeiro⁵,
G. P Araújo⁶

RESUMO: A remoção do sombreamento no cultivo de cacau e o plantio a pleno sol tem sido uma verificada há alguns anos, contudo as relações entre níveis de sombreamento e o consumo hídrico não tem sido devidamente estudadas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a relação entre radiação solar e transpiração de cacaueiro cultivado em duas condições de sombreamento no semiárido baiano. O trabalho foi desenvolvido em uma área de consórcio entre bananeira e cacaueiro adulto, no município de Juazeiro, Bahia. O estudo envolveu 8 plantas cultivadas em duas fileiras distintas. Em uma das fileiras com quatro plantas de cacau, foi feito desbaste das bananeiras para aumentar a exposição dos cacaueiros à radiação solar. Na outra fileira com quatro plantas de cacau as bananeiras foram mantidas para preservar o sombreamento. A transpiração foi estimada pelo método da sonda de dissipação térmica. A radiação solar incidente foi monitorada por piranômetros instalados nas duas áreas sombreadas e também fora do ambiente sombreado. Houve redução de 22 e 38% da radiação solar nas condições de sombreamento impostas o que afetou a transpiração e das plantas de cacau de forma direta e significativa. O curso do fluxo de seiva não acompanha o curso da radiação em dias de céu claro, denotando fechamento estomático.

PALAVRAS-CHAVE: *Theobroma cacao* L., fluxo de seiva, radiação solar

TRANSPIRATION OF CACAO IN THE SEMIÁRIDO BAIANO IN TWO CONDITIONS OF SHADING

ABSTRACT: The removal of shade in cocoa cultivation and planting in full sun has been one verified for some years, however the relationships between shade levels and water consumption have not been adequately studied. The objective of this work was to evaluate the relationship

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutorando USP/ESALQ/PPGESA, Piracicaba – SP, e-mail: lucianosobral@usp.br

² Doutor, Professor UFRB/CCAAB, Cruz das Almas – BA, e-mail: lucasvellame@gmail.com

³ Doutor, Professor UFRB/CCAAB, Cruz das Almas – BA, e-mail: vpspaz@gmail.com

⁴ Doutora, Professora UNEB/DTCS CAMPUS III, Juazeiro – BA, e-mail: ligia.bmarinho@gmail.com

⁵ Doutor, Professor UNEB/DTCS CAMPUS III, Juazeiro – BA, e-mail:

⁶ Graduanda em Engenharia Florestal UFRB, Cruz das Almas – BA, e-mail: geovanapaimaraujo@hotmail.com

between solar radiation and transpiration of cacao trees grown under two shading conditions in the Bahian semi - arid region. The work was developed in a consortium area between banana and adult cacao, in the municipality of Juazeiro, Bahia. The study involved 8 plants grown in two distinct rows. In one of the rows with four cocoa plants, the banana trees were thinned to increase the exposure of cacao to solar radiation. In the other row with four cocoa plants the banana trees were kept to preserve the shade. Transpiration was estimated using the thermal dissipation probe method. The incident solar radiation was monitored by pyranometers installed in two shaded areas and also for the shaded environment. There was a reduction of 22 and 38% of the solar radiation in the imposed shading conditions, which affected sweating and cocoa plants in a direct and significant way. The course of the sap flow does not follow the course of radiation on days of clear sky, denoting stomatal closure.

KEY WORDS: *Theobroma cacao* L., sap flow, solar radiation

INTRODUÇÃO

O cacauzeiro por ser uma espécie considerada ombrófila, é cultivado tradicionalmente em sistemas agroflorestais, predominando o consórcio com espécies leguminosas principalmente a *Erythrina fusca*, cuja finalidade principal é a fixação de nitrogênio e fornecer sombreamento ao cacauzeiro (Jaimez et al., 2013). Algumas culturas também têm sido incorporadas aos sistemas de cultivo para agregar valor à produção, tais como a seringueira, pimenta do reino, coco, canela, louro, pupunha e outras culturas (Silva Neto et al., 2001). De acordo com Padi & Owusu (1988), maior parte da área produtora de Gana e Costa do Marfim apresentam seus cultivos sob leve sombreamento, apresentando áreas de cultivo a pleno sol em 10% das lavouras em Gana e 35% em Costa do Marfim.

Apesar de atualmente haver uma tendência de remoção do sombreamento alguns anos após o estabelecimento do plantio, o que pode dar maiores rendimentos pelo menos a curto prazo (Padi et al., 2013), a relação entre níveis de sombreamento e o rendimento da cultura não tem sido devidamente estudado. Em Gana e Costa do Marfim a produção de cacau tem registrado queda em áreas de cultivo solteiro à pleno sol, o que tem levado à reintrodução do sombreamento nas lavouras (Gyau et al., 2014).

No Brasil os problemas fitossanitários e econômicos que têm acometido o cultivo do cacau nas regiões tradicionais de exploração e provocado a expansão da lavoura cacauzeira para outras áreas com características ambientais diferentes, contudo, nessas regiões o cultivo

sombreado nem sempre é viável a longo prazo e recomenda-se sombreamento provisório, apenas para a implantação da cultura (Silva Neto et al., 2001).

Na literatura são escassas as informações a respeito das relações hídricas e consumo hídrico do cacau em condições de sombreamento ou a pleno sol, o que causa dificuldades no manejo das lavouras, sobretudo para o manejo da irrigação. Segundo Coelho Filho et al. (2004), a quantificação da transpiração é essencial para o manejo da cultura e também da irrigação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação da radiação solar e outras variáveis meteorológicas com a transpiração do cacau cultivado em duas condições de sombreamento de bananeira no semiárido baiano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em condições de campo em uma área de consórcio entre bananeira prata anã e cacau adulto do clone PS1319 na Universidade do Estado da Bahia, no Vale do São Francisco, município de Juazeiro, BA, (9° 25' 3,6" S; 40° 28' 58,9" O; 365m de altitude) (Figura 1). O clima da região é classificado como semiárido, BSw, de acordo com classificação climática de Köppen, com pluviosidade média anual entre 400 a 600 mm, temperatura média mensal de 26,5°C e umidade relativa média mensal de 55% (Reddy & Amorim Neto, 1983).

Foram estudadas 8 plantas cultivadas em duas fileiras distintas. Em uma das fileiras com quatro plantas de cacau, foi feito desbaste das bananeiras que estavam à sua volta com o objetivo de aumentar a exposição dos cacaueiros à radiação solar. Na outra fileira, com quatro plantas de cacau, não foi realizado nenhum desbaste, a fim de manter sombreamento. O espaçamento das bananeiras e dos cacaueiros foi de 3 x 3 m. A irrigação na área experimental foi realizada diariamente por sistema de microaspersão.

Para a aquisição e armazenamento dos dados de fluxo de seiva e radiação solar foi utilizado um “datalogger” CR1000 (Campbell Sci.) em cada fileira de plantas. Os equipamentos foram programados para realizar leituras dos sensores a cada 30 segundos e armazenar médias a cada 15 minutos.

Fluxo de seiva

A estimativa do fluxo de seiva foi realizada pelo método da sonda de dissipação térmica (Granier, 1985), que consiste em utilizar um sensor composto por uma sonda (superior) aquecida à potência constante de 0,1 W e uma sonda (inferior) não aquecida. As duas sondas possuem sensor de temperatura interno (Termopar – cobre/constantan). A relação empírica

entre a densidade de fluxo de seiva e a diferença de temperatura entre as duas sondas dá origem a equação 1.

$$F=0,000357 \left(\frac{\Delta T_{\max}-\Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} AS \quad (1)$$

Em que, F é o fluxo de seiva (L dia⁻¹), ΔT é a diferença de temperatura entre as sondas (°C); ΔT_{max} é a diferença de temperatura entre as sondas em fluxo nulo (°C), AS é a área de seção condutora do caule (m²).

Foram confeccionadas e instaladas 8 sondas de dissipação térmica com comprimento de 1 e 2 cm conforme metodologia empregada por Vellame et al. (2009). Para aquecer a sonda superior utilizou-se uma fonte de tensão ajustável para fornecer potência igual a 0,1 W.

A estimativa da área de seção condutora de cada planta foi realizada a partir de uma equação obtida por sua relação com o perímetro externo do caule. Ramos de diferentes diâmetros de uma planta foram cortados em sentido transversal para obtenção de imagens e definição das estruturas anatómicas do caule com o auxílio de um software CAD (desenho assistido por computador). A área de seção condutora foi relacionada com o perímetro externo do caule e por meio de regressão obteve-se a equação 2.

$$AS = 0,0668Pe^2 - 0,0399Pe - 0,0306 \quad (R^2 = 0,999) \quad (2)$$

Em que, AS é a área de seção condutora (cm²) e Pe é o perímetro externo do caule (cm).

Radiação solar

A radiação solar incidente em cada planta foi medida por piranômetros desenvolvidos com material de baixo custo. Optou-se pela construção dos sensores devido ao grande número de medidas necessárias no estudo e pelo alto custo dos sensores comerciais.

Os piranômetros foram montados com o fotodiodo do modelo BPV10NF como elemento sensível à radiação solar e conectados a um amplificador operacional (modelo INA126) para aumentar a intensidade da corrente elétrica produzida pelo sensor e possibilitar a leitura pelo sistema de aquisição de dados (“datalogger”) (Figura 1A). O fotodiodo foi protegido por um filtro de PVC (plug de ½” para conexões hidráulicas) para atenuar a radiação solar incidente sob o sensor, a fim de que não ocorresse saturação da corrente elétrica produzida em ocasiões de radiações de alta intensidade (Figura 1B). A calibração foi realizada a partir de um sensor padrão do modelo LP02 (Campbel Sci.) e consistiu em instalar os sensores lado a lado, conectados a um sistema de aquisição de dados ao longo de 30 dias, obtendo-se medidas de radiação solar por meio do sensor padrão e medidas de tensão elétrica do sensor desenvolvido (Figura 1C).



Figura 1. (A) Diagrama eletrônico; (B) Piranômetro montado em placa eletrônica; (C) Piranômetros posicionados para calibração.

Na Tabela 1 estão apresentadas as equações que descrevem as relações entre a radiação solar diária medida pelos sensores de baixo custo (Sensor – MJ m⁻² dia⁻¹) e a radiação solar diária medida pelo sensor padrão LP02 (Rad – MJ m⁻² dia⁻¹), com os respectivos coeficientes de correlação.

Tabela 1. Relação entre Radiação solar medida pelos piranômetros de baixo custo e pelo sensor padrão LP02.

Piranômetro	Equação	R ²
1	Rad = 1 Sensor – 4. 10 ⁻⁵	0,975
2	Rad = 1 Sensor + 9. 10 ⁻⁵	0,973
3	Rad = 1 Sensor – 4. 10 ⁻⁵	0,979
4	Rad = 1 Sensor + 9. 10 ⁻⁵	0,987
5	Rad = 1 Sensor + 6. 10 ⁻⁵	0,982
6	Rad = 1 Sensor + 1. 10 ⁻⁵	0,985
7	Rad = 1 Sensor + 4. 10 ⁻⁵	0,982
8	Rad = 1 Sensor + 4. 10 ⁻⁶	0,953

Os piranômetros foram instalados em uma haste metálica e posicionados acima das plantas em local que melhor representava a copa.

A radiação solar medida nas áreas sombreadas foi relacionada com a radiação solar medida por uma estação meteorológica pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizada no campus da UNEB à 200 m da área experimental, para quantificar a atenuação da radiação solar provocada pelo sombreamento da bananeira.

Também foram coletados dados de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento pela estação do INMET para cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET_o) pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO com o objetivo de correlacionar com a transpiração (L dia⁻¹) e transpiração por unidade de área foliar (L m⁻² dia⁻¹).

Crescimento vegetativo

O diâmetro do caule foi medido no local de inserção da sonda de dissipação térmica superior utilizando-se uma fita graduada em milímetros. A área foliar foi estimada a partir da equação obtida por Oliveira et al. (2012) (Eq. 4).

$$AF = 0,6638 L W \quad (R^2 = 0,9955) \quad (4)$$

Em que, AF é a área foliar (cm²), L é a medida do maior comprimento (cm) da folha e W é a maior largura (cm) perpendicular à nervura central.

Foi realizada análise de variância e teste de médias para as variáveis transpiração (L dia⁻¹) e transpiração por unidade de área foliar (L m⁻² dia⁻¹), tendo como fontes de variação os dois ambientes de cultivo do cacaueteiro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 está apresentada a relação entre a radiação solar global medida na estação meteorológica do INMET com a radiação média medida pelos sensores na área experimental com desbaste e sem desbaste de bananeiras. A radiação solar na área onde foi realizado o desbaste de bananeiras apresentou sombreamento leve com redução da transmissividade em aproximadamente 22%, como pode ser verificado pelo coeficiente angular, o qual teve valor igual a 0,7822. Na área sem desbaste de bananeiras, o sombreamento foi mais denso apresentando coeficiente angular igual a 0,6233, que corresponde a uma redução aproximadamente igual a 38% da transmissividade. A área com maior incidência de radiação apresenta apenas sombreamento lateral, nessa condição a radiação solar incidente nos sensores apresenta um comportamento sistemático em função da hora do dia. Já a área com sombreamento na parte superior existe uma heterogeneidade da radiação na área em função das características da folhagem das bananeiras que mudam o padrão de sombreamento em função do crescimento e apresentam movimento em função do vento.

Pezzopane et al. (2005) relacionando a radiação solar global em Mococa SP e a radiação solar medida em uma área plantada com bananeira consorciada com café encontraram um coeficiente angular de 0,79. Os resultados desses autores indicam uma redução média da transmissividade de 21%, promovida pelas plantas de bananeira.

A relação entre radiação solar da estação com a radiação solar da área com sombreamento de 38% apresentou maior dispersão (R²= 0,6233) em comparação com a área com

sombreamento 22% ($R^2=0,9737$), o que pode ser resultado da variabilidade espacial da radiação interceptada pelos sensores da área com sombreamento denso.

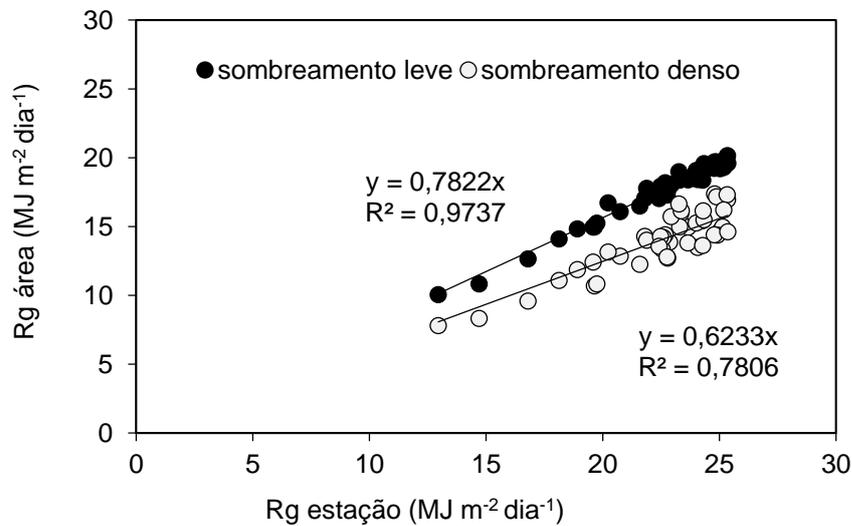


Figura 2. Relação entre as medidas de radiação solar global (Rg) na área experimental com a estação meteorológica.

Na Figura 3 estão apresentados o curso do fluxo de seiva, da radiação solar na área experimental e na estação meteorológica em um dia com nebulosidade (08 de outubro) e um dia de céu claro (16 de outubro). Verifica-se defasagem do fluxo de seiva em relação a radiação solar nas duas condições de sombreamento. Alguns autores encontraram resultados semelhantes ao estudar o curso do fluxo de seiva com outras culturas (Delgado-Rojas et al., 2007; Reis et al. 2009; Vellame et al., 2009) e indicam que nas primeiras horas da manhã ocorre transpiração da água armazenada nos tecidos vegetais aumentando o gradiente de potencial de água no interior da planta o que provoca fluxo de seiva. Ao fim do dia, quando a transpiração e a radiação solar tendem a cessar, ainda há fluxo de seiva no caule até que haja reposição de água perdida durante o dia nos tecidos vegetais. Nota-se na Figura 9, que o curso do fluxo de seiva não segue totalmente ao curso da radiação solar, tanto no dia nublado como no dia de céu claro nos dois ambientes de sombreamento. No dia 8 de outubro (nublado) o fluxo de seiva tem início entre as 8 e 9 h da manhã e com uma maior defasagem em relação à radiação solar no final do dia, principalmente no ambiente com sombreamento de 38%. No dia 16 de outubro (céu claro), o fluxo de seiva tem início nas primeiras horas da manhã (6h) e o seu curso não responde ao aumento da radiação solar a partir de aproximadamente $2,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $1,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para as condições de sombreamento de 22 e 38% respectivamente, apresentando uma redução a partir destes níveis de radiação. Vellame et al. (2012) observaram esse comportamento em citrus quando em condições de alta demanda hídrica da atmosfera e o associaram ao fechamento estomático devido ao aumento da temperatura foliar. Köhler et al. (2013), consideraram que o

cacaueiro cultivado a pleno sol controla a transpiração de forma eficiente pelo fechamento estomático, reduzindo as perdas de água.

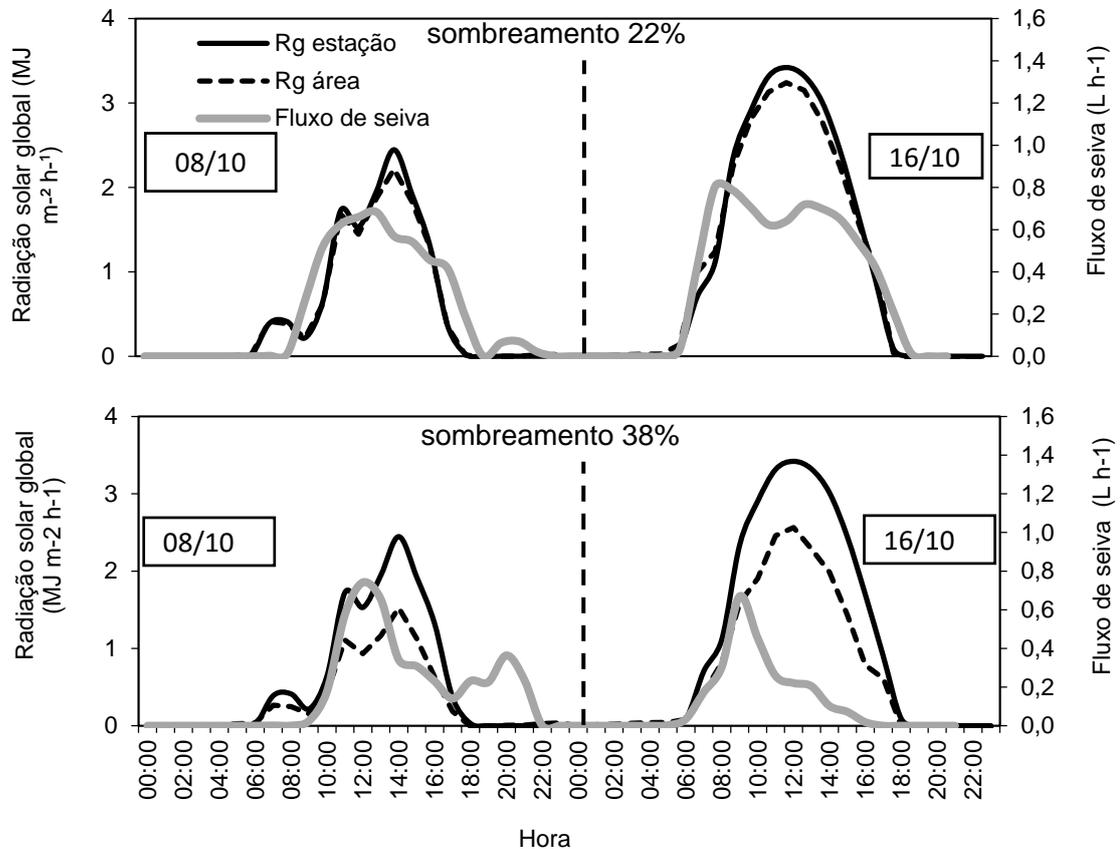


Figura 3. Curso do fluxo de seiva, da radiação solar global média na área experimental e medido na estação meteorológica nos dias 08/10/2016 (nublado) e 16/10/2016 (céu claro).

No ambiente com sombreamento de 38% o fechamento estomático apresentou uma ação mais forte na redução do fluxo de seiva, o que pode ser resultante de uma maior sensibilidade das plantas às condições micrometeorológicas nesse ambiente. Verifica-se que a transpiração nesse ambiente também apresentou correlação maior com o déficit de pressão de vapor, que altera sensivelmente em dia com alta intensidade de radiação solar devido ao aumento da temperatura do ar (Tabela 1).

De acordo com Köhler et al. (2013), em condições de maior sombreamento, em que as plantas de cacau experimentam menor demanda evaporativa da atmosfera, a transpiração é mais controlada pelo déficit de pressão de vapor. Apesar dos baixos valores dos coeficientes de correlação, nota-se que na área com sombreamento 22% a transpiração obteve maior correlação com a radiação solar ($R^2=0,21$). Na área com sombreamento denso a transpiração apresentou maior correlação com a radiação solar ($R^2=0,31$) e com o déficit de pressão de vapor ($R^2=0,33$).

Este resultado indica que o déficit de pressão de vapor tem maior importância no controle da transpiração nesse ambiente (Tabela 1).

Tabela 1. Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas, transpiração e transpiração por unidade de área foliar.

	TR(0,22)	TR(0,38)	TR/AF(0,22)	TR/AF(0,38)
Temperatura do ar	0,01	0,05	0,01	0,24
Radiação solar global	0,21	0,31	0,10	0,29
Déficit de pressão de vapor	0,07	0,33	0,04	0,38
ET _o	0,11	0,21	0,04	0,23

A transpiração média apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as duas condições de sombreamento, com valor de 9,75 e 2,44 L. dia⁻¹ para as áreas com redução da transmissividade em 22 e 38% respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pelo maior porte das plantas no ambiente com sombreamento de 22% já que não houve diferença significativa na transpiração por unidade de área foliar nas duas condições de cultivo (Tabela 2).

Tabela 2. Média, coeficiente de variação (CV) e probabilidade de diferença (p) entre a transpiração das plantas nas duas áreas.

Sombreamento	Transpiração		Transpiração por área foliar	
	Média (L dia ⁻¹)	CV (%)	Média (L m ⁻² dia ⁻¹)	CV (%)
38%	2,44 B	45,67	0,73 A	22,02
22%	9,75 A	46,37	0,63 A	60,37
p	0,02		0,64	

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

Houve redução de 22 e 38% da radiação solar nas condições de sombreamento impostas o que afetou a transpiração e o crescimento vegetativo das plantas de cacau de forma direta e significativa. O curso do fluxo de seiva não acompanha o curso da radiação em dias de céu claro, denotando fechamento estomático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIMEZ, R.E.; ARAQUE, O.; GUZMAN, D.; MORA, A.; ESPINOZA, W.; TEZARA, W. Agroforestry systems of timber species and cacao: survival and growth during the early stages. **Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics**. v.114, n.1, p.1–11. 2013.

COELHO FILHO M. A.; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J. S. D.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n.2, p.265-274, 2004.

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.

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.

GYAU, A.; SMOOT, K.; KOUAME, C.; DIBY, L.; KAHIA, J.; OFORI, D. Farmer attitudes and intentions towards trees in cocoa (*Theobroma cacao* L.) farms in Côte d'Ivoire. **Agroforestry Systems**, v. 88, n. 6, p. 1035-1045, 2014.

JIANG, C; GAO, H; ZOU, Q; JIANG G; LI, L. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, p. 1-10, Jan. 2004.

KÖHLER, M.; DIERICK, D.; SCHWENDENMANN, L.; HÖLSCHER, D. Water use characteristics of cacao and *Gliricidia* trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. **Ecohydrology**, v.2, p.520 – 529, 2009.

PADI, B.; OWUSU, J.K. *Towards an Integrated Pest Management for Sustainable Cocoa production in Ghana*. **Anais...** Paper from workshop held in Panama, Smithsonian Institution. Washington, D.C. 1998.

PADI, F. K.; ADU-GYAMFI, P.; AKPERTEY, A.; ARTHUR, A.; OFORI, A. Differential response of cocoa (*Theobroma cacao*) families to field establishment stress. **Plant Breeding**, v. 132, n. 2, p. 229-236, 2013.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 487-499, 2005.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E.F. Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro 'Golden' cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.2, p.285-294, 2009.

SILVA NETO, P. J. DA; MATOS, P. G. G. DE; MARTINS, A. C. S.; SILVA, A. P. Sistema de produção de cacau para a Amazônia brasileira. Belém, **Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira** (CEPLAC), 2001. 125p.

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.; 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, Jaboticabal**, v. 34, n. 1, p. 24-32, 2012.