



TRANSPIRAÇÃO DE CACAUEIROS JOVENS SUBMETIDOS À REDUÇÃO DO POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO

L. S. Fraga Junior¹, L. M. Vellame², V. P. da S. Paz³, T. T. Silva⁴, G. P. Araújo⁵,
R. S. Vasconcelos⁶

RESUMO: O cultivo de cacau tem se expandido, com o uso da irrigação e plantio à pleno sol, para áreas com características ambientais diferentes daquelas encontradas nas regiões tradicionais de produção. O trabalho teve como objetivo estimar a transpiração de plantas jovens de cacau em função do potencial da água do solo (Ψ_a). O experimento foi conduzido em casa de vegetação em delineamento inteiramente casualizado com 40 plantas de cacau do clone CCN51 de área foliar média entre 1,11 e 3,71 m², cultivadas em vasos de 0,5 m³ e irrigadas por gotejamento. A transpiração foi estimada pelo método da sonda de dissipação térmica. Durante 30 dias todas as plantas foram irrigadas frequentemente e após esse período metade das plantas permaneceram com irrigação e a outra parte teve a irrigação suspensa. A análise dos resultados revelou que com um Ψ_a até -24,89 kPa a transpiração média pôde ser estimada linearmente em função da ETo. Em condições de secamento do solo, a transpiração reduziu em 1,57% por decréscimo unitário de Ψ_a a partir de um valor crítico igual a -24,89 kPa.

PALAVRAS-CHAVE: *Theobroma cacao* L., fluxo de seiva, déficit hídrico

TRANSPARATION OF YOUNG COCOA TREES UNDER REDUCTION OF SOIL WATER POTENTIAL

ABSTRACT: Cacao cultivation has expanded, using irrigation and planting in full sun, to areas with different environmental characteristics from those found in traditional production regions. The objective of this work was to estimate the transpiration of young cacao plants as a function of soil water potential (Ψ_w). The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with 40 cacao plants of the clone CCN51 with average leaf area between 1.11 and 3.71 m², grown in 0.5 m³ pots. Transpiration was estimated by the thermal dissipation

¹ 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 Graduanda em Eng. Florestal UFRB, Cruz das Almas – BA, e-mail: silvathai28@gmail.com

⁵ Graduanda em Eng. Florestal UFRB, Cruz das Almas – BA, e-mail: geovanapaimaraujo@hotmail.com

⁶ Graduando em Agronomia UFRB, Cruz das Almas – BA, e-mail: svrafa@hotmail.com

probe method. During 30 days all of the plants were irrigated frequently and after that period, half of the plants remained with irrigation and the other half had the irrigation suspended. Analysis of the results revealed that with Ψ_w up to -24.89 kPa the mean transpiration could be estimated linearly as a function of ETo . Under soil drying conditions, transpiration reduced by 1.57% with per decreased unit in Ψ_w from a critical point corresponding to -24.89 kPa.

KEY WORDS: *Theobroma cacao* L., sap flow, water deficit

INTRODUÇÃO

O cultivo de cacau tem se expandido para áreas com características muito diferentes das regiões tradicionais de cultivo, especialmente nas regiões semiáridas, onde se têm obtido sucesso pelo manejo de plantios com espaçamentos regulares, irrigação localizada, fertigação, além de material genético melhorado.

A quantificação da transpiração é essencial na determinação da demanda hídrica do cacauzeiro, pois se trata de uma planta caducifólia que se caracteriza por depositar folhas sobre o solo, provocando redução nas perdas de água por evaporação (Pamponet et al., 2012). Alguns trabalhos tem demonstrado uma boa relação entre a transpiração, a demanda hídrica atmosférica e área foliar das plantas (Villa Nova et al., 2002; Coelho Filho et al., 2004; Oliveira et al., 2009). A estimativa da transpiração a partir destes fatores é importante para facilitar a determinação do consumo de água pela cultura sem a necessidade de muitas medições de campo.

Na literatura são encontrados trabalhos com resultados diversos e conclusões muitas vezes conflitantes no que se refere à interação do cacauzeiro com o ambiente de cultivo (Rada et al., 2005; Baligar et al., 2008; Köhler et al., 2009). Esses resultados são influenciados pela variabilidade espacial e temporal das variáveis que regem o processo de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera. Sendo assim, é importante a investigação das relações hídricas do cacauzeiro em diversas condições ambientais. Estudos com um grande número de plantas utilizando métodos com leituras contínuas, como as medições de fluxo de seiva, podem garantir maior confiabilidade nos resultados das pesquisas com essa cultura.

O objetivo deste trabalho foi estimar a transpiração de plantas jovens de cacau em função do potencial de água no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em casa de vegetação com cobertura plástica, no Núcleo de Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, município de Cruz das Almas, BA (12° 48' S; 39° 06' O; 225 m de altitude). O clima local é classificado como úmido a sub-úmido, com precipitação média de 1143 mm ao ano; temperatura média anual é de 24,5°C. (D'Angiolella et al., 1998).

Foram utilizadas 40 plantas de cacauzeiro do clone CCN51 com porta enxerto do clone CEPEC2002. As mudas, enxertadas em abril de 2015, foram transplantadas no dia 20 de março de 2016 para recipientes de solo com volume de 0,5 m³. Em cada recipiente foi instalado um sistema de drenagem formado por um dreno de 0,025 m de diâmetro, uma camada de brita de 0,08 m de espessura, uma tela de nylon e uma camada de 0,01m de areia lavada.

A coleta dos dados de transpiração, área foliar, potencial de água no solo e informações meteorológicas foi iniciada, 180 dias após transplântio, no dia 21 de setembro de 2016 e finalizada no dia 17 de novembro de 2016. Inicialmente foram contadas as folhas em todas as plantas do experimento e as plantas classificadas em quatro grupos de 10 plantas de acordo com o número de folhas. Em seguida foi realizada uma desfolha para que as plantas de cada grupo tivessem o mesmo número de folhas.

O experimento, em delineamento inteiramente casualizado, foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, com duração de 18 dias, todas as plantas do experimento foram mantidas com a umidade do solo próximo à capacidade de campo objetivando-se manter a transpiração potencial. Na segunda etapa, com duração de 21 dias, metade das plantas de cada grupo foi irrigada até o final do experimento mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo e a outra metade teve a irrigação suspensa, assegurando com isso diferentes condições de potencial de água no solo. Tendo como referência a transpiração média das plantas irrigadas calculou-se o percentual da transpiração esperada para as plantas caso as mesmas não estivessem submetidas à restrição hídrica.

Transpiração

A transpiração das 40 plantas foi estimada pelo fluxo de seiva por meio do método da sonda de dissipação térmica (Granier, 1985). Foram construídas sondas de 1cm de comprimento, aquecidas por meio de fontes de tensão contínua de acordo com a metodologia empregada por Vellame et al. (2009). A instalação das sondas foi realizada no porta-enxerto, mantendo uma distância de 8 cm entre a sonda superior e inferior.

A fim de calibrar a sonda de dissipação térmica para a estimativa da transpiração utilizou-se três lisímetros de pesagem formados pelos recipientes com solo sobre plataformas de pesagem com capacidade de 1000 kg (AZ-9090-1T - Alfa Instrumentos). Os lisímetros foram

calibrados em cinco ciclos de carga e descarga com massas conhecidas. As incertezas nas medições ($p < 0,05$) foram de 0,16%, 0,18% e 0,12%

Para evitar perdas por evaporação e medir apenas a transpiração das plantas, a superfície do solo dos lisímetros foi coberta com lona plástica. O coeficiente angular da equação de Granier (1985) foi ajustado minimizando os desvios absolutos entre o fluxo de seiva acumulado em 24h e a transpiração medida com os lisímetros (Eq. 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 (m^3), ΔT é a diferença de temperatura entre as sondas ($^{\circ}C$), ΔT_{\max} é a diferença de temperatura entre as sondas em fluxo nulo ($^{\circ}C$), AS é a área de seção condutora do caule (m^2).

A estimativa da área de seção condutora do caule (AS – cm^2) foi obtida a partir da Eq. 2 com base no perímetro externo do caule (Pe – cm). Para tanto, foram feitos cortes transversais de ramos de diferentes diâmetros de uma planta para obtenção de imagens dos cortes e definição das principais estruturas anatômicas do caule.

$$AS = -0,0004Pe^2 + 1,1367Pe - 4,8927 \quad (R^2 = 0,999) \quad (2)$$

Para atenuar os gradientes térmicos naturais (GTN) os caules das plantas foram cobertos com papel laminado imediatamente acima e abaixo do ponto de fixação das sondas, sendo estas também protegidas por papel laminado em formato de saia. Para compensar o efeito dos GTN quatro sondas foram mantidas com o aquecimento desligado durante o experimento, funcionando como referência. As demais sondas tiveram o aquecimento desligado a cada 15 dias por um período de 24 horas conforme metodologia empregada por Vellame et al. (2009).

Evapotranspiração de referência

Foram instalados sensores no centro da área experimental para monitoramento da radiação solar global (LP02-Campbell Sci.), da temperatura e da umidade relativa do ar (HMP50-Campbell Sci.). Os dados meteorológicos foram utilizados para cálculo diário da evapotranspiração de referência (ET_o) pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO (Allen et al., 1998). A velocidade do vento no interior da estufa teve seu valor fixado em $0,5 \text{ m s}^{-1}$ como recomendado no Boletim FAO 56 para condições em que esse elemento é praticamente nulo (Allen et al., 1998).

Área foliar

A área foliar foi estimada semanalmente medindo-se o maior comprimento (L - cm) e a maior largura (W - cm) perpendicular à nervura central de todas as folhas, utilizando a equação obtida por Oliveira et al. (2012) (Eq. 3).

$$AF=0,6638 L W \quad (R^2 = 0,9955) \quad (3)$$

Potencial da água do solo

O potencial de água no solo foi obtido a partir de tensiômetros instalados em cada recipiente à profundidade de 0,20 m. As leituras foram realizadas diariamente às 14h por meio de tensímetro digital.

Aquisição e análise dos dados

Para aquisição e armazenamento dos dados meteorológicos das plataformas de pesagem e do fluxo de seiva foi utilizado um “datalogger” CR1000 com dois multiplexadores AM16/32 Relay Multiplexer (Campbell SCi), programados para realizar leituras dos sensores a cada 30 segundos e médias armazenadas a cada 15 minutos.

A porcentagem da transpiração esperada (PTr) foi calculada pela razão entre a transpiração real das plantas com déficit hídrico (T_{real}) e a transpiração esperada (T_{resp}) para essas plantas caso estivessem sendo irrigadas (Eq. 4). A transpiração esperada foi calculada com base na transpiração média das plantas irrigadas (Eq. 5).

$$PTr = \frac{T_{real}}{T_{resp}} \times 100 \quad (4)$$

$$T_{resp} = \frac{T_{inicial}}{T_{média_inicial}} \times T_{média_atual} \quad (5)$$

Em que,

$T_{inicial}$ - transpiração média da planta na 1ª etapa (irrigação frequente), L dia⁻¹;

$T_{média_inicial}$ - transpiração média do grupo de plantas irrigadas na 1ª etapa, L dia⁻¹;

$T_{média_atual}$ - transpiração média atual do grupo de plantas irrigadas de forma frequente, L dia⁻¹

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 a área foliar e o potencial de água no solo.

Por meio de análise de regressão foram estabelecidas as relações da transpiração média das plantas irrigadas e das plantas sob secamento do solo com a ETo, com o potencial de água no solo e com a área foliar.

O percentual da transpiração esperada e o potencial da água no solo foram relacionados através de análise de regressão segmentada, minimizando o erro quadrático médio (RMSE) entre o percentual da transpiração esperada observado e calculado (Vellame et al., 2015),

definindo assim o potencial de água no solo a partir do qual há redução linear da transpiração esperada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na relação entre E_{To} e transpiração verificou-se que as plantas submetidas a irrigação frequente apresentaram maior transpiração que àquelas sob secamento do solo (Figura 1). Este resultado é esperado, pois o cacauero é uma planta sensível ao déficit hídrico, realizando fechamento estomático como forma de evitar a perda de água e com isso reduzindo a transpiração (Bae et al., 2008; Moser et al., 2010; Carr & Lockwood, 2011).

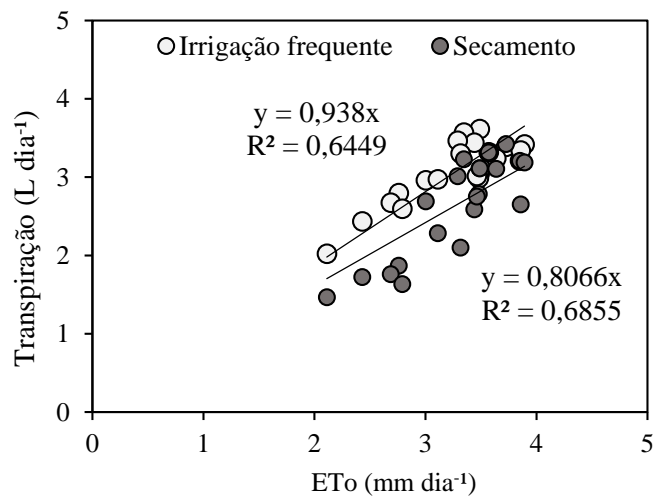


Figura 1. Relação entre evapotranspiração de referência e transpiração média diária de plantas irrigadas frequentemente e das plantas com irrigação suspensa na etapa 2.

Em um curto período de secamento do solo (21 dias) foi possível verificar diferenças fisiológicas na cultura de acordo com o potencial de água no solo. As plantas apresentaram sintomas de murcha nas folhas com potencial de água no solo (Ψ_a) a partir de -40 kPa (Figura 2).



Figura 2. Plantas de cacau com sintomas de murcha causada pela redução do potencial da água do solo (Ψ_a).

Alguns autores já observaram a sensibilidade do cacauzeiro ao déficit hídrico (Bae et al., 2008; Moser et al., 2010; Carr & Lockwood, 2011). Santos et al. (2016) observaram queda de folhas em genótipos de cacauzeiro submetidos ao déficit hídrico e discutem que consiste numa estratégia de aclimação da planta. Segundo Muller et al. (2011) a baixa disponibilidade de água no solo pode acelerar a senescência das folhas. Em região semiárida da Venezuela plantas adultas do cultivar Guasare sombreadas tiveram redução de 25% na fotossíntese e 39% na transpiração foliar em plantas irrigadas a cada 25 dias em comparação com plantas irrigadas a cada 3 dias (Rada et al., 2005).

Por meio de regressão linear segmentada observou-se que a partir de um valor crítico de potencial de água no solo (-24,89 kPa) a transpiração esperada mostrou tendência de redução linear de 1,57% na transpiração esperada por decréscimo unitário de potencial de água no solo em kPa. Acima desse potencial crítico a transpiração tem uma tendência constante igual a 109%. Esperava-se um percentual máximo em torno de 100% da transpiração, entretanto, um desvio de 9% pode ser considerado aceitável, considerando a variabilidade natural nesse tipo de experimento. Para um potencial da água na capacidade de campo igual a -10 kPa a disponibilidade de água nesse potencial crítico corresponde a 85,3% da disponibilidade total de água no solo. Com potencial médio de -59,5 kPa a transpiração esperada teve o seu valor mínimo igual a 52,5%, o que corresponde a uma redução de 47,5% da transpiração média (Figura 3). Evidencia-se assim a sensibilidade do cacauzeiro ao déficit hídrico, já que para fins de manejo da irrigação é comum assumir valores críticos para algumas plantas lenhosas de até -100 kPa.

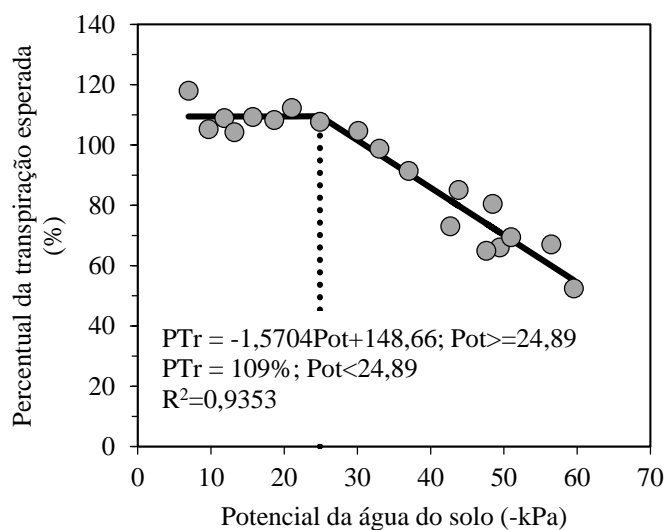


Figura 3. Relação entre transpiração esperada e potencial de água no solo.

A sensibilidade do cacauzeiro ao déficit hídrico pode ser explicada pela baixa capacidade de extração de água pelo sistema radicular e a baixa condutividade hidráulica dos tecidos vegetais. De acordo com Fageria (2012), o sistema radicular é um dos órgãos mais sensíveis da planta à limitação de água, dada a alta capacidade das raízes para reconhecer e responder às mudanças nos parâmetros físico-químicos do solo.

O crescimento e produção das plantas dependem da atividade fotossintética que por sua vez está relacionada à condição hídrica da planta. Sendo assim, esses resultados indicam que sistemas de irrigação de alta frequência como a irrigação localizada e estratégias de manejo como a irrigação por pulso podem apresentar vantagens significativas quanto à produção do cacauzeiro.

CONCLUSÕES

Para plantas jovens de cacauzeiro submetidas à irrigação mantendo-se o potencial de água no solo até -24,89 kPa, a transpiração média diária varia linearmente com a ETo. Abaixo desse valor ocorre redução linear da transpiração na ordem de 1,57% por decréscimo unitário de potencial de água (kPa) no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.
- BAE, H.; KIM, S. H.; KIM, M. S.; SICHER, R. C.; LARY, D.; STREM, M. D.; BAILEY, B. A. The drought response of *Theobroma cacao* (cacao) and the regulation of genes involved in polyamine biosynthesis by drought and other stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 46, p.174-188, 2008.
- BALIGAR, V. C.; BUNCE, J. A.; MACHADO, R. C. R.; ELSON, M. K. Photosynthetic photon flux density, carbon dioxide concentration, and vapour pressure deficit effects on photosynthesis in cacao seedlings. *Photosynthetica*, v.46, p.216–221, 2008.
- CARR, M. K. V.; LOCKWOODTHE, G. Water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.): a review. *Experimental Agriculture*. Bedford, v.47, n.4, p.653–676, 2011.

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

FAGERIA N. K. *The role of plant roots in crop production*. 1. ed. CRC Press. New York. 2012. 467.

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

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

MOSER, G.; LEUSCHNER, C.; HERTEL, D.; HÖLSCHER, D.; KÖHLER, M.; LEITNER, D.; SCHWENDENMANN, L. Response of cocoa trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi. *Agroforestry systems*, v.79, p.171-187, 2010.

MULLER, B.; PANTIN, F.; GÉNARD, M.; TURC, O.; FREIXES, S.; PIQUES, M.; GIBON, Y. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*, v. 62, p. 1715–1729, 2011.

OLIVEIRA, A. S.; GHEYI, H. R.; SILVA, N. D. da. Área foliar de cacau irrigado e não sombreado cultivado no semiárido da Bahia. In: III Congresso Brasileiro Do Cacau, 3, 2012, Ilhéus, Bahia. Anais. Ilhéus, Congresso Brasileiro do Cacau, 2012.

OLIVEIRA, G. X. S.; COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. DE C.; COELHO, E. F.; PAZ, V P. DA S.; CASTRO NETO, M. T. de. Relações entre transpiração máxima, evapotranspiração de referência e área foliar em quatro variedades de mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, p. 20-27, 2009.

RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; GARCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A.; RAMIREZ, M. E. Water relations and gas exchange in *Theobroma cacao* var. Guasare under periods of water deficit. *Revista de la Facultad de Agronomia*, v.22, p.112–120, 2005.

SANTOS, E. A.; ALMEIDA, A.-A. F.; AHNERT, D.; BRANCO, M. C. DA S.; VALLE, R. R.; BALIGAR, V. C. Diallel Analysis and Growth Parameters as Selection Tools for Drought Tolerance in Young *Theobroma cacao* Plants. *Plos One*, v. 11, 2016.

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.; FRAGA JUNIOR, E. F.; COELHO, R D. Effect of partial soil wetting on transpiration, vegetative growth and root system of young orange trees. *Scientia Agricola*, v. 72, n. 5, p. 377-384, 2015.

VILLA NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R.; MARIN, F.R. Estimativa da transpiração máxima de macieiras, em pomares irrigados, pelo método de Penman adaptado. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, p.245-250, 2002.