

Transpiração e condutância foliar à difusão de vapor de feijoeiro irrigado em função da temperatura da folhagem e variáveis ambientais

Felipe Gustavo Pilau^{1*}, Reinaldo Antônio Garcia Bonnacarrère², Durval Dourado Neto³, Antônio Luiz Fancelli³, Thomas Newton Martin², Carlos Rodrigues Pereira⁴ e Paulo Augusto Manfron⁵

¹Programa de Pós-graduação em Física do Ambiente Agrícola, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, Cx. Postal 09, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ²Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil. ³Departamento de Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo, Brasil. ⁴Departamento de Ciências Ambientais, Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil. ⁵Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: fgpilau@esalq.usp.br

RESUMO. Áreas com cultivo irrigado têm o déficit de saturação de vapor (DPV) e temperatura do ar modificados. Sendo a resposta estomática influenciada por essas variáveis e outras como temperatura do dossel, a cultura do feijão irrigado tende a apresentar condutância estomática à difusão de vapor (Gva) e transpiração, diferenciados com relação ao cultivo de sequeiro. Avaliando-se Gva e transpiração com porômetros de equilíbrio dinâmico, verificou-se que a taxa de transpiração apresentou melhor correlação em relação à temperatura da folhagem em condições de folhas ao sol, do que em relação a folhas sombreadas. Relações de Gva com temperatura do ar, DPV e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) reforçam a interação dos fatores ambientais com a resposta estomática. Valores de Gva apresentaram correlação exponencial negativa tanto com temperatura do ar e DPV, para valores entre 20 e 35°C, de 0,5 à 3 KPa, respectivamente e aumento exponencial quando relacionada a PAR, mesmo com valores superiores a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Palavras-chave: estômato, temperatura do ar, déficit de saturação de vapor do ar, radiação fotossinteticamente ativa, *Phaseolus vulgaris*.

ABSTRACT. Transpiration and stomatal conductance of irrigated bean in relation to foliage temperature and environmental variables. Irrigated areas present environmental variables such as vapor pressure deficit (DPV) and modified air temperature. The stomatal response is not only affected by these modified environmental conditions, but also by others such as canopy temperature. Thus, an irrigated bean crop tend to present modifications in stomatal conductance (Gva) and transpiration in relation to a non irrigated common bean crop. Gva and transpiration were measured with steady-state null-balance porometers. Results showed that transpiration rate correlated better with canopy temperature in conditions of sunny leaves than of shaded leaves. The relation between Gva and air temperature, and between DPV and photosynthetic active radiation (PAR) reinforce the interaction of the environmental variables with stomatal response. Gva values presented negative exponential correlation with air temperature and DPV, for values between 20 and 35°C, and 0.5 to 3 KPa, respectively, and an exponential increase when correlated with PAR, even when values were above 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Key words: stomatal, air temperature, vapor pressure deficit, photosynthetic active radiation, *Phaseolus vulgaris*.

Introdução

O feijoeiro, cultivado em todo Brasil, tanto em sistema irrigado quanto de sequeiro, é submetido a diferentes condições ambientais, com diferentes níveis de umidade e temperatura do ar, irradiância

solar e condições hídricas, que afetam o crescimento, desenvolvimento, produção da cultura e sua qualidade (Fancelli e Dourado Neto, 2005).

Ao irrigar-se uma área cultivada, modificam-se os elementos ambientais, tais como: o déficit de

saturação de vapor (DPV) e temperatura do ar e, principalmente o suprimento de água para a cultura, alterando, assim, todo o balanço energético da área.

Como as plantas apresentam resposta estomática diretamente influenciada pelas condições ambientais modificadas pelo sistema de irrigação, além de outras como: radiação fotossinteticamente ativa, vento, concentração de CO₂ no ambiente e na câmara estomática e a própria temperatura do dossel, o cultivo irrigado tende a apresentar valores de condutância estomática à difusão de vapor (Gva) e transpiração diferenciados em relação ao cultivo de sequeiro.

Segundo Konis (1950), as taxas de transpiração de diferentes folhas de uma mesma planta, dependem, em grande parte, das diferenças apreciáveis entre seus incrementos de temperatura, dos diferentes ângulos de exposição à radiação solar e posição de inserção na planta (periférica ou central). Além da exposição à radiação, a temperatura de folha é influenciada por temperatura e umidade do ar e velocidade do vento (Gates, 1968). Devido à temperatura da folhagem ser então o resultado de uma interação de todas essas variáveis, a diferença de temperatura entre folhas acaba por influenciar na resposta estomática e na perda de calor latente por transpiração (Gates, 1968; Pilau *et al.*, 2004).

Cultivares de feijoeiro apresentam diferentes respostas fisiológicas quando submetidos a variações de temperatura do ar, déficit de saturação de vapor do ar, radiação fotossinteticamente ativa e condição hídrica. As diferentes reações de cada genótipo a essas variações permitem que eles possam tolerá-las quando em níveis críticos, mantendo ainda assim taxas adequadas de fotossíntese (Pimentel e Hébert, 1999; Costa *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2004).

Bergamaschi *et al.* (1991) relatam incremento exponencial da resistência estomática de feijoeiro com o aumento dos valores de déficit de saturação d'água do ar, evidenciando que, em condição de cultivo com déficit hídrico, os incrementos em resistência estomática foram superiores aos verificados para cultivo irrigado. Da mesma forma, a resistência estomática apresentou incremento exponencial com o aumento da velocidade do vento.

Como o impacto das flutuações naturais do ambiente na fisiologia do feijoeiro não tem sido muito explorado, o trabalho objetivou avaliar os efeitos da temperatura da folhagem e variações ambientais na condutância estomática à difusão de vapor e transpiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), cultivar Pérola, pois o maior conhecimento de como as plantas respondem às variações naturais do ambiente e, como são por ele afetadas, podem melhorar o manejo das

culturas e mostrar diretrizes para programas de melhoramento de plantas de feijoeiro.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Piracicaba, Estado de São Paulo (22° 42'S; 47° 30'W; 546 m), em abril de 2004.

O cultivar de feijoeiro utilizado foi Pérola, de hábito de crescimento indeterminado (tipo II). Semeou-se manualmente em linhas espaçadas de 0,45 m, obtendo-se em torno de 200.000 plantas ha⁻¹ após estande de plantas formado. As seis parcelas foram irrigadas por pivô central, utilizando-se a lâmina de irrigação determinada por balanço hídrico. As parcelas mediam 3 m x 5 m, com uma população de 300 plantas de feijoeiro, locadas no círculo central do perímetro irrigado no pivô central, equidistante de seu eixo central e do perímetro de área irrigada.

As avaliações da condutância foliar à difusão de vapor (Gva), transpiração, temperatura da folhagem e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram realizadas com a utilização de dois porômetros de equilíbrio dinâmico, marca LI-COR, modelo LI-1600 (Steady State Porometer), aos 17, 23, 36 e 44 dias após a semeadura (DAS), ao longo do período diurno, a partir do momento em que as plantas não mais apresentavam depósito de água sobre a superfície de suas folhas, devido à formação de orvalho no período noturno.

As medidas porométricas foram realizadas em intervalos de 15 minutos, correspondentes ao intervalo de registro e formação de média da temperatura do ar e déficit de pressão de vapor (DPV) na estação meteorológica automática instalada na área experimental.

Em cada momento de medida, realizados em intervalos de 30min, foram amostradas 10 plantas por parcela, escolhidas ao acaso, totalizando-se 60 plantas amostradas a cada período. A escolha pela aleatoriedade das plantas deveu-se ao fato de que a câmara de medida do instrumento é capaz de causar lesões ao limbo foliar devido ao grande número de observações realizadas, o que influenciaria medições posteriores.

Resultados e discussão

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as análises de regressão simples, associando-se os valores de transpiração e temperatura da folhagem, separando-se, na Figura 2, as medidas realizadas nas folhas mais externas da planta, expostas diretamente à radiação

fotossinteticamente ativa (PAR) (folhas ao sol), daquelas inseridas na porção central da planta, recebendo valores inferiores de PAR (folhas à sombra).

Na Figura 2, verifica-se que maior número de medidas registraram temperatura da folhagem superior a 27°C para folhas ao sol, comparando-se com folhas sombreadas, com a mesma tendência para o 4º dia de medida, tomando-se, porém, como limite, a temperatura da folhagem de 25°C. Esses valores de temperatura de folhagem superiores para folhas ao sol resultaram maior dissipação de energia por calor latente como forma de regulação da temperatura, apresentando valores máximos de transpiração próximos a 45 e 25 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 1), respectivamente para o 1º e 2º dias, e de 30 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ para 3º e 4º dias (Figura 2). Para folhas à sombra, entretanto, com temperatura de folhagem mais amena, os valores máximos ficaram próximos a 20 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o 3º dia e a 18 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o 4º dia (Figura 2).

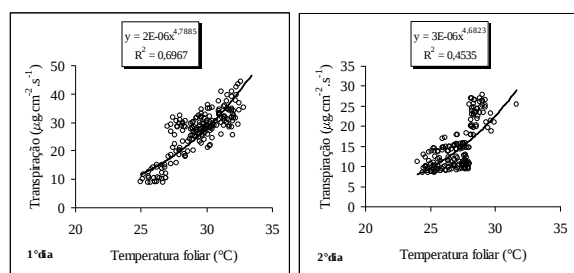


Figura 1. Transpiração em função da temperatura foliar para o 1º e 2º dias de medidas.

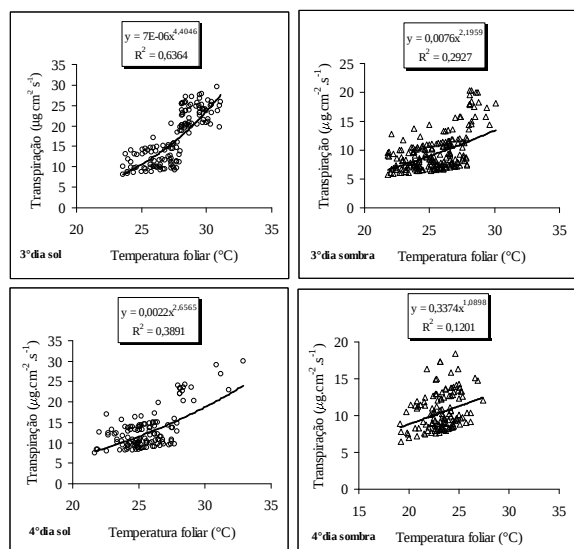


Figura 2. Transpiração em função da temperatura foliar para 3º e 4º dias de medidas com folhas ao sol e folhas a sombra.

Densidade de fluxo transpiratório similar aos obtidos são citados por Vieira *et al.* (1989), em

condições hídricas adequadas, para os cultivares de feijoeiro “Aroana 80” e “Aeté 3”, com valores de 7,4 à 36,3 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 6,6 à 31,6 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente.

A correlação positiva entre transpiração e temperatura da folhagem apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2) para folhas ao sol (Figura 2), devido à maior interação dessas folhas com as variáveis condicionantes de sua temperatura.

Valores de transpiração de 20,25 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 2,25 $\mu\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, inferiores aos obtidos para folhas ao sol e similares aos registrados à sombra (Figuras 1 e 2), foram observados por Ribeiro *et al.* (2004) avaliando os efeitos ambientais sobre a fotossíntese de cultivares de feijoeiro “Carioca”, “Ouro Negro” e “Guarumbé”, em vasos, com bom suprimento hídrico, com temperatura do ar de 38,5 e 32°C e DPV de aproximadamente 4 e 1 KPa, respectivamente. Os maiores valores de transpiração, obtidos em comparação aos resultados de Ribeiro *et al.* (2004), podem ser, em parte, devido não só aos diferentes genótipos utilizados nos estudos, mas principalmente devido às diferenças em temperatura do ar e DPV (Figuras 3, 4 e 5), cujas medidas permaneceram inferiores a 35°C e 3KPa, respectivamente, mais próximas às condições ótimas para o crescimento do feijoeiro (Jones, 1971).

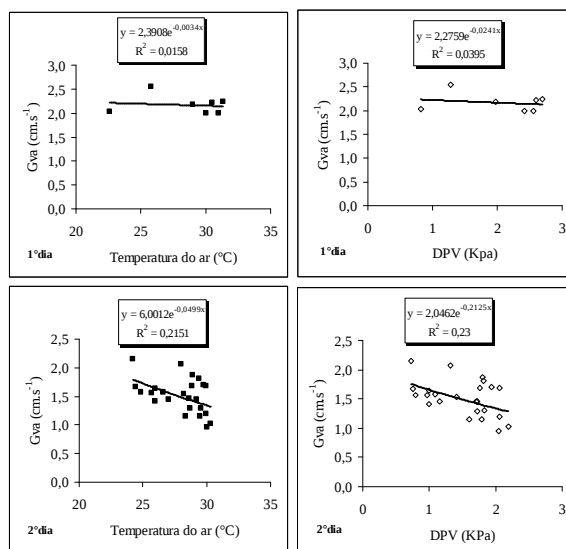


Figura 3. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da temperatura do ar e do déficit de saturação de vapor do ar (DPV) para o 1º e 2º dias de medidas.

As relações entre a condutância foliar à difusão de vapor (Gva) com temperatura do ar e déficit de saturação de vapor do ar (DPV) (Figuras 3, 4 e 5) reforçam a interação dos fatores ambientais com a resposta estomática. Valores de Gva apresentaram

correlação exponencial negativa tanto para temperatura do ar quanto DPV, concordando com as relações apresentadas por Angelocci *et al.* (2004), para citros em uma faixa de temperatura similar às verificadas durante o experimento.

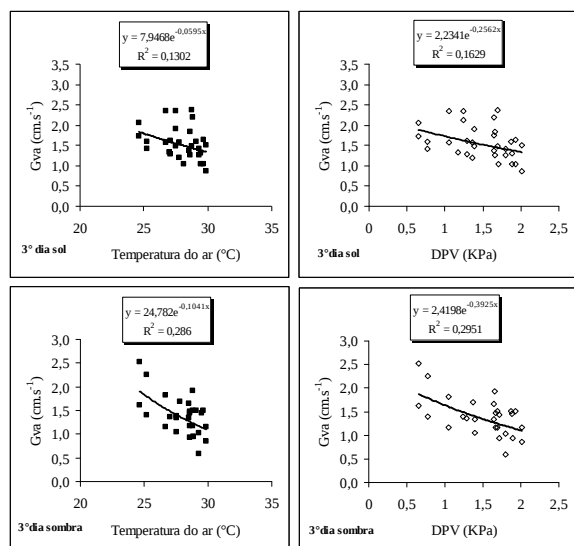


Figura 4. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da temperatura do ar e do déficit de saturação de vapor do ar (DPV) para o 3º dia de medida, com folhas ao sol e folhas sombreadas.

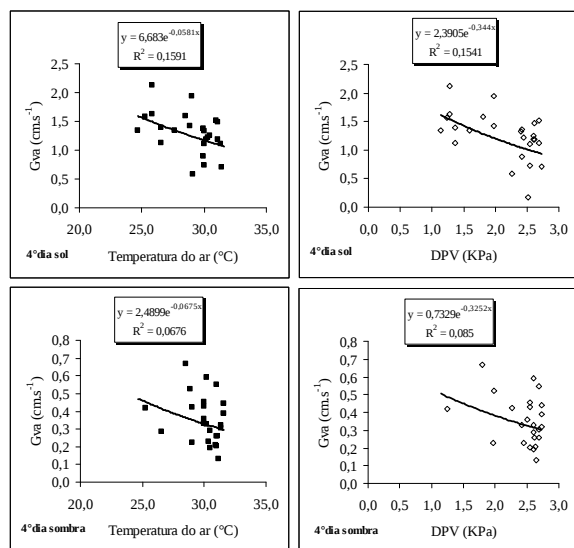


Figura 5. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da temperatura do ar e do déficit de saturação de vapor do ar (DPV), para o 4º dia de medida, com folhas ao sol e folhas sombreadas.

Analisando as Figuras 3, 4 e 5, verifica-se que apenas no 4º dia de medidas, para folhas a sombra (Figura 5), os valores de Gva foram inferiores a 1 cm s^{-1} durante todo o período, com a maioria das medidas realizadas com temperatura do ar superior a 30°C e

DPV entre 2,5 e $3,0 \text{ KPa}$. Esses valores de temperatura do ar superiores à temperatura citada por Jones (1971) como ótima para a fotossíntese do feijoeiro (25°C) e DPV, juntamente aos baixos valores de PAR (Figura 8) provocaram redução da Gva, evitando uma perda de água devido à alta demanda atmosférica, que poderia provocar a redução do potencial de água nas folhas.

As melhores relações de Gva com temperatura do ar e DPV foram registradas para medidas de folhas à sombra, com coeficiente de determinação de 0,28 e 0,29 (Figura 4) respectivamente, devido, possivelmente, à reduzida densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos incidentes. Essa variável, de acordo com Bergamaschi *et al.* (1991), em condições de bom suprimento hídrico para as plantas, pode sobrepor-se à influência da temperatura do ar e à influência do DPV na resposta estomática.

Relações exponenciais entre Gva e DPV, como as obtidas (Figura 3, 4 e 5), também foram registradas por Bergamaschi *et al.* (1991), para feijoeiro tanto para condições irrigadas quanto de déficit hídrico e, também, por Schulze *et al.* (1972) e Moldau e Syber (1975).

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam a relação exponencial positiva entre Gva e PAR, demonstrando que da mesma forma ocorrida entre Gva e temperatura do ar ou DPV, a radiação fotossinteticamente ativa, em condições de campo, onde não se consegue isolar, ou, ao menos, reduzir o efeito das demais variáveis ambientais sobre a resposta estomática, também não apresenta boa relação com Gva. Tais interdependências, entre resposta estomática e variáveis ambientais, são enfatizadas por Cowan (1977), Farquhar (1978), Vieira *et al.* (1989), Bergamaschi *et al.* (1991) e Angelocci *et al.* (2004).

Valores de PAR iguais ou levemente superiores a $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ foram registrados em alguns momentos (Figuras 6 e 7), não afetando a abertura estomática e mantendo os valores de Gva elevados, pois, de acordo com Ribeiro *et al.* (2004), a capacidade fotossintética dos cultivares de feijoeiro não são saturados ainda que tenham valor de PAR igual a $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Relações entre Gva e PAR, com coeficientes de determinação superiores aos encontrados são descritos por Bergamaschi *et al.* (1991), restritos, porém, a uma faixa de DPV com valor máximo de, aproximadamente, $1,9 \text{ KPa}$, pouco abaixo dos valores de DPV registrados em alguns períodos de medidas porométricas (Figuras 3, 4 e 5).

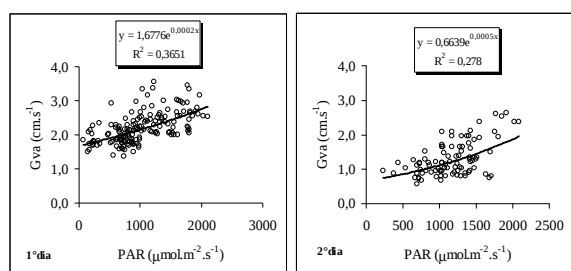


Figura 6. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o 1º e 2º dias de medidas.

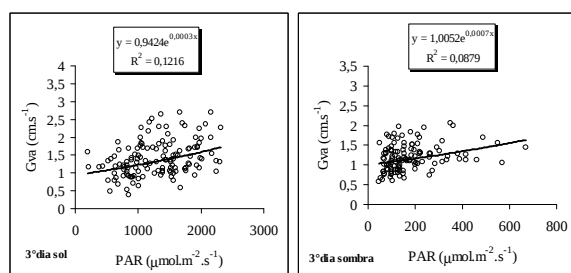


Figura 7. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o 3º dia de medidas, com folhas ao sol e folhas sombreadas.

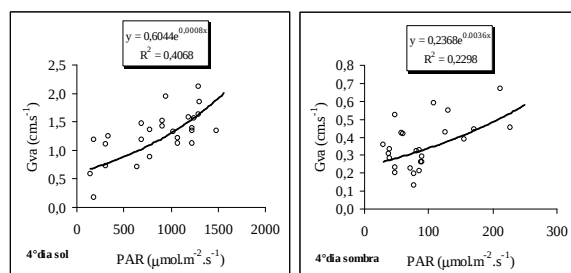


Figura 8. Condutância foliar à difusão de vapor (Gva) em função da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) para o 4º dia de medidas, com folhas ao sol e folhas sombreadas.

Conclusão

A relação entre transpiração e temperatura da folhagem apresentou-se maior para folhas ao sol que à sombra. Não se obtiveram boas relações entre Gva e temperatura do ar, DPV e PAR, evidenciando a dificuldade de isolar o efeito de apenas uma variável sob a resposta estomática de feijoeiro, ainda que sob irrigação.

Referências

ANGELOCCI, L.R. *et al.* Transpiration, leaf diffusive conductance and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. *Braz. J. Plant Physiol.*, Campinas, v. 16, n. 1, p. 53-64, 2004.

BERGAMASCHI, H. *et al.* Efeito de variáveis micrometeorológicas e disponibilidade hídrica no solo sobre resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro. *Turrialba*, San José, v. 41, n. 4, p. 445-451, 1991.

COSTA, E.S. *et al.* Photochemical efficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) during recovery from high temperature stress. *Braz. J. Plant Physiol.*, Campinas, v. 14, p. 105-110, 2002.

COWAN, I.R. Stomatal behavior and environment. *Adv. Bot. Res.*, New York, v. 4, p. 117-228, 1977.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. Cultura do feijoeiro: estresse e produtividade. In: FANCELLI, A.L., DOURADO NETO, D. *Feijão irrigado, tecnologia e produtividade*. Piracicaba: Esalq/Usf, 2005.

FARQUHAR, G.D. Feed forward response of stomata to humidity. *Austr. J. Plant Physiol.*, Melbourne, v. 5, p. 787-800, 1978.

GATES, D.M. Transpiration and leaf temperature. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, Palo Alto, v. 19, p. 211-239, 1968.

JONES, L.H. Adaptive responses to temperature in dwarf French beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Ann. Bot.*, Oxford, v. 35, p. 581-596, 1971.

KONIS, E. The effect of leaf temperature on transpiration. *Ecology*, Washington, D.C., v. 31, n. 1, p. 147-148, 1950.

MOLDAU, K.A.; SYBER, A.Y. Effect of air humidity on the conductivity of stomata and mesophyll on bean leaves at two values of soil moisture. *Soviet Plant Physiol.*, New York, v. 21, n. 4, p. 663-668, 1975.

PILAU, F.G. *et al.* Condutância foliar à difusão de vapor e transpiração em função da temperatura da folha de plantas de alface sob cultivo hidropônico. *Rev. Cient. Rural*, Bagé, v. 9, n. 2, p. 106-112, 2004.

PIMENTEL, C.; HÉBERT, G. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, Campinas, v. 11, n. 1, p. 7-11, 1999.

RIBEIRO, R.V. *et al.* Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 39, n. 7, p. 615-623, 2004.

SCHULZE, E.D. *et al.* Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta*, Berlin, v. 108, p. 259-270, 1972.

VIEIRA, H.J. *et al.* Comportamento de duas variedades de feijoeiro sob dois regimes de disponibilidade hídrica no solo. II. Resistência estomática à difusão de vapor, densidade de fluxo transpiratório e potencial de água na planta. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 24, n. 9, p. 1045-1053, 1989.

Received on May 19, 2005.

Accepted on August 22, 2006.