RESPOSTA FOTOSSINTÉTICA DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DE RADIAÇÃO E DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO

DERBLAI CASAROLI[1], QUIRIJN DE JONG VAN LIER[2]

Recebido em 29.01.2014 e aceito em 26.01.2015.
[1]Doutor em Agronomia, Professor Adjunto, Setor de Engenharia de Biossistemas, Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, CEP 74690-900, Goiânia, GO. Autor para correspondência: derblai@ufg.br
2 Doutor em Agronomia, Professor Titular, Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, CEP 13400-970, Piracicaba-GO. qdjvlier@usp.br

RESUMO: Objetivou-se determinar a taxa de fotossíntese líquida do feijoeiro submetido a intensidades de radiação, teor de água no solo e diferentes solos. As plantas foram cultivadas em vasos, em casa de vegetação. Confeccionaram-se curvas de respostas fotossintéticas em função de intensidades de radiação (0 à 1500 μmol m^{-2}). Medidas de fotossíntese foram feitas a partir do estádio R1 (início do florescimento), onde se iniciou a aplicação dos tratamentos (irrigado e não irrigado). Utilizou-se o DIC, em esquema trifatorial 11x2x2 (tempos; irrigado e não irrigado; argiloso e arenoso), com 3 repetições. A maior taxa fotossintética (≈16 μmolCO2 mol^{-1} s^{-1}) foi atingida para uma radiação entre 900-1000 μmol m^{-2}, em um teor de água na capacidade de campo, independente do tipo de solo, decrescendo em função do teor de água no solo. Conclui-se que é possível determinar um teor de água crítico no solo em função da taxa deplecionada de fotossíntese.

Palavras-chave: déficit hídrico; resposta fisiológica; demanda atmosférica; teor de água no solo; *Phaseolus vulgaris* L.

PHOTOSYNTETICAL RESPONSE OF BEAN CROP IN FUNCTION OF RADIATION INTENSITIES AND SOIL WATER CONTENT

ABSTRACT: It was aimed to determined the net photosynthesis rate of bean plants as function of radiation intensity, soil water content in different soil type. The plants where grown in pots in a greenhouse. Photosynthetic response curves were made as a function of radiation intensity (0 to 1500 μmol m^{-2}). Net photosynthesis measurements were started at the R1 stage (flowering), when irrigation treatments were initiated (irrigated and non-irrigated). A completely randomized design was used, in a factorial scheme 11x2x2 (times; irrigation and non-irrigated; clay and sandy soil texture), with 3 replicates. The highest net photosynthesis (≈16 μmolCO_2 mol^{-1} s^{-1}) was reached for a radiation intensity between 900-1000 μmol m^{-2}, in a water content at field capacity, independent of the soil type. Photosynthesis rate was observed to decrease with decreasing water content. It was concluded that can determine an assimilation/transpiration critical point of soil water content from net photosynthesis measurements.

Key words: water deficit; physiological response; atmospheric demand; soil water content; *Phaseolus vulgaris* L.

INTRODUÇÃO

O feijoeiro é uma planta de grande importância econômica no cenário nacional. Entretanto, esta planta é sensível à deficiência hídrica, pois reduz seu metabolismo pelo estresse hídrico e, consequentemente, diminui a produção (Muñoz-Perea et al., 2006).

Estima-se que 60% da produção mundial de feijão vêm de regiões com deficiência hídrica, o que a torna a segunda maior causa de redução da produtividade da cultura. Além da demanda hídrica das plantas, a disponibilidade de radiação solar também é um dos fatores que limitam o crescimento vegetal, pois essa energia é capaz transformar o CO_2 atmosférico em energia metabólica, através do processo de fotossíntese (Taiz & Zieger, 2012). Neste processo, a luz é a precursora da reação. A

rigor, a planta absorve seis moléculas de dióxido de carbono mais seis moléculas de água, e na presença da luz têm-se o início desta reação, podendo-se dizer que a luz é um fator limitante para que a reação possa ser desencadeada. A radiação solar também é responsável por outros processos fisiológicos nas plantas como a abertura dos estômatos e, consequentemente, a realização de trocas gasosas entre a planta e a atmosfera (Taiz & Zieger, 2012). Em resposta à luz, a fotossíntese é um processo chave tanto para os organismos vegetais quanto para os demais constituintes dos níveis tróficos subsequentes. Para as plantas, sua quantificação pode determinar o seu estado fisiológico, de modo a identificar o quão uma planta pode estar estressada. Além disto, o comportamento fisiológico das plantas responde a um teor de água no solo limitante ou crítico, em que a taxa fotossintética deixe de ser potencial, tornando-se deplecionada.

A cultura do feijão se caracteriza por apresentar alta sensibilidade ao déficit hídrico, que promove uma redução em seu metabolismo, podendo refletir em quebra de produção (Albercht et al., 1984; Calvache & Reichardt, 1996; Guimaraes et al., 2011). A ocorrência de déficit hídrico inviabiliza o processo fotossintético, uma vez que a água, além de ser componente básico da reação, também é responsável pela manutenção da transpiração, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar (Buchanan et al., 2000). Um dos primeiros efeitos do déficit hídrico nas plantas vasculares manifesta-se sobre os estômatos. Em geral, sob deficiência hídrica, a queda da taxa de fotossíntese pode ser relacionada com a limitação das trocas gasosas, consequência do fechamento dos estômatos em resposta a um decréscimo no potencial hídrico foliar (Oliveira et al., 2002).

Sendo assim, é de suma importância conhecer o comportamento fotossintético do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em função das condições de disponibilidade hídrica do solo, bem como suas relações com o ambiente, de modo a obter condições favoráveis ao pleno crescimento, desenvolvimento e produção. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a taxa de fotossíntese líquida de plantas de feijão submetidas a diferentes intensidades luminosas e regimes hídricos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), em Piracicaba-SP, Brasil (Coordenadas geográficas: 22° 42’ S; 47° 37’ W; e 546 m de altitude), no período de abril a junho de 2007. Utilizaram-se plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivadas em vasos plásticos (8 L), preenchidos com solo peneirado, seco ao ar, de modo a atingir densidades de 1200 e 1400 kg m^{-3}, para os solos de textura argilosa e arenosa, respectivamente. Dois tipos de solos foram avaliados: i) NITOSSOLO VERMELHO Eutroférrico típico com textura argilosa; e ii) um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, com textura arenosa (Embrapa, 2006). A adubação seguiu as recomendações do Boletim Técnico em função da análise química (macro e micronutrientes) do solo (Raij et al., 1997).

A reposição de água perdida por evapotranspiração e a determinação do teor de água no solo atual, foi obtido por lisimetria, em que os vasos, contendo solo e planta, foram pesados diariamente às 7:00 e 18:00 h, com o auxílio de balança digital (capacidade: 16 kg; precisão: 0,01 g), repondo-se a quantidade de água perdida entre esse período, de modo a elevar o teor de água no solo até a capacidade de campo. A capacidade de campo (θ_{cc}, m^3 m^{-3}) foi determinada conforme a metodologia descrita por Casaroli e Jong van Lier (2008). Com isto, encontraram-se valores de θ_{cc} iguais a 0,30 e 0,24 m^3 m^{-3}, para os solos argiloso e arenoso, respectivamente.

Em ambos os solos foram realizadas as curvas características de água no solo, ajustando-se a equação descrita por Brooks e Corey (1964):

$$\Theta = \left(\frac{h_b}{\psi_m} \right)^{\lambda} \quad (1)$$

em que $\Theta = \left(\theta - \theta_r\right) / \left(\theta_s - \theta_r\right)$, sendo θ, θ_r e θ_s, o teor de água no solo em um dado momento, o valor residual e na saturação (m^3 m^{-3}), respectivamente; ψ_m é o potencial matricial (m); h_b (m) e λ são os parâmetros empíricos. Para a confecção das curvas de retenção da água foram coletadas oito amostras indeformadas, com anel volumétrico, diretamente nos vasos onde foram colocadas

as plantas. As amostras foram submetidas a oito tensões, saturando-as novamente antes da aplicação de cada nova tensão. Para as tensões de 0,05 a 0,6 m foi utilizada a metodologia de mesa de tensão e para os valores acima destes a câmara de pressão de Richards (1949).

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema trifatorial 11x2x2 (tempos de avaliação: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21 dias após a identificação do estádio R_1; regimes hídricos: irrigado e não irrigado; tipos de solos: argiloso e arenoso), com três repetições. Os vasos, distribuídos aleatoriamente em bancadas de cultivo, eram diariamente, após a pesagem, redistribuídos nesta bancada, reduzindo assim os efeitos espaciais, sobretudo, de radiação solar no interior da casa de vegetação. A coleta de dados de fotossíntese e de teor de água no solo, a contabilização do tempo, e a aplicação do tratamento de déficit hídrico teve início no subperíodo reprodutivo, no estádio R_1 (início do florescimento), tendo em vista que, neste momento, há uma máxima demanda hídrica devido ao maior índice de área foliar.

Antes da aplicação dos tratamentos de déficit hídrico foram confeccionadas curvas de resposta fotossintética à radiação, a qual relaciona intensidade de radiação e as taxas de fotossíntese. Para essa medida utilizou-se um medidor de trocas gasosas (CO_2 e vapor d'água) denominado IRGA (*Infrared Gas Analyzer* – LI-6400). Cinco plantas cultivadas em solo argiloso e cinco do solo arenoso foram avaliadas, sendo selecionado apenas um dos folíolos destas plantas, plenamente expandido e exposto ao solo. Assim, aplicaram-se diferentes intensidades de luz de forma crescente (10, 30, 50, 80, 100, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400 e 1500 µmol m^{-2}), obtendo assim, uma taxa de fotossíntese líquida (FS_L, µmolCO_2 mol^{-1} s^{-1}) representativa da planta. Estas curvas também foram realizadas em cada um dos tempos de avaliação, após a aplicação dos tratamentos de déficit.

Ainda com o IRGA, medidas de taxa de fotossíntese líquida atual foram realizadas em cada um dos tempos de avaliação, utilizando a intensidade luminosa existente no ambiente. Para esta determinação, três plantas do solo argiloso e três do solo arenoso foram marcadas, selecionando-se três folíolos plenamente expandidos e expostos à radiação solar. Esta avaliação teve início no primeiro dia da aplicação dos tratamentos de déficit hídrico, repetindo-se dia sim, dia não, no mesmo horário (hora local=8:30 h) e na mesma sequência de plantas.

Os dados de fotossíntese líquida atual foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. Além disto, equações de regressão também foram utilizadas para a interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva característica de água no solo, bem como, os parâmetros determinados pela equação de Brooks e Corey, encontram-se descritos na Figura 1. A partir desta análise foi possível determinar as tensões de água no solo em função do teor de água, que foi medido por lisimetria.

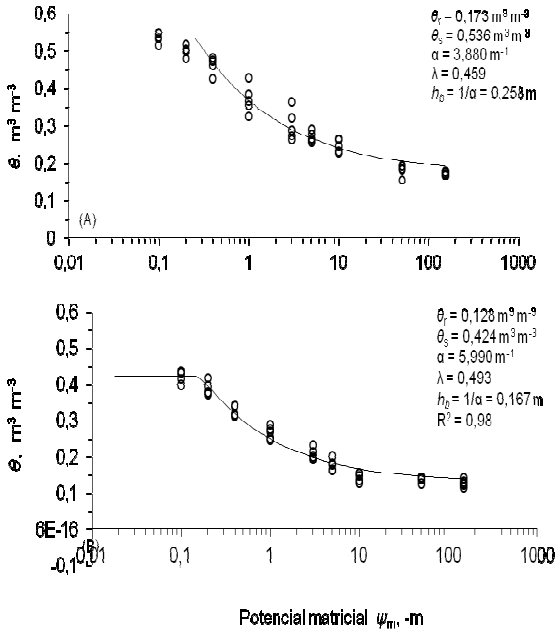

Figura 1. Valores observados do teor de água θ em função do potencial matricial (pontos), curva de retenção da água no solo representada pela equação de Brooks e Corey (parâmetros válidos para $|h|>|h_b|$, para $h \leq h_b$ e $\theta=\theta_s$) ajustada (linha) e parâmetros de ajuste para os dois solos argiloso (A) e arenoso (B).

A análise de variância demonstrou interação significativa entre os fatores: tempo ou avaliações, regimes hídricos e tipos de solo. As médias de fotossíntese líquida encontram-se na Tabela 1.

Verificou-se que as maiores médias foram determinadas até o quarto dia após a aplicação do tratamento de déficit, demonstrando uma tendência decrescente após este momento, com médias significativamente menores. Entretanto, observou-se também que algumas médias foram significativamente semelhantes entre as medidas de fotossíntese antes da quarta avaliação e após esta, podendo ser devido às condições meteorológicas locais (Tabela 1).

Na Figura 2 estão apresentados os comportamentos fotossintéticos médios das plantas de feijão cultivadas em solo argiloso e arenoso, sem restrição hídrica, submetidos a diferentes intensidades luminosas. A partir disto, foi possível identificar um ponto de saturação luminosa, que para ambos os solos, obtiveram-se fotossínteses líquidas máximas quando o valor de intensidade luminosa foi igual a 1000 µmol m^{-2}, sendo a resposta fotossintética igual a 15,6 e 18,7 µmolCO_2 mol^{-1} s^{-1}, para os solos argiloso e arenoso, respectivamente. Outros autores também determinaram valores aproximados aos encontrados neste estudo (Pimentel, 1998; Siebeneichler et al., 1998).

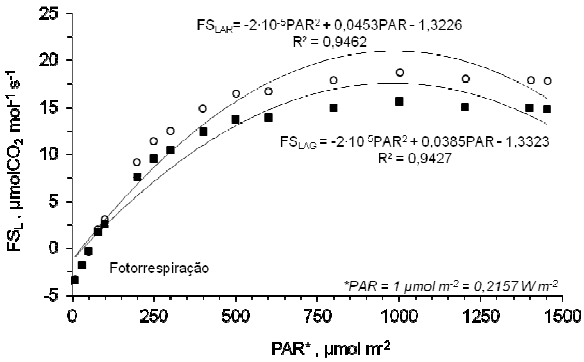

Figura 2. Médias de fotossíntese líquida (FS_L, µmolCO_2 mol^{-1} s^{-1}) em função de diferentes intensidades de radiação, de plantas cultivadas em solo argiloso (AG ■) e arenoso (AR ○), sem restrição hídrica.

A mesma tendência de taxas fotossintéticas em função de intensidades de radiação, primeiramente crescente, atingindo um ponto de máxima (1000 µmol m^{-2}), também foi observada por Lobo et al. (2013) em modelos de simulação matemática, para plantas de metabolismo C_3, entretanto, estes autores mostram uma estabilização linear das taxas fotossintéticas após atingirem o ponto de saturação, até um valor de 2000 µmol m^{-2}, o que não foi observado no presente estudo, decrescendo após o valor de saturação (Figura 2).

As curvas de luz correspondentes às plantas mantidas irrigadas e de plantas em déficit hídrico, nos diferentes tipos de solos, encontram-se na Figura 3. Uma regressão de segundo grau também foi ajustada aos dados de fotossíntese em função da radiação PAR (R^2 >0,93). Observa-se que, no decorrer das avaliações há uma queda na fotossíntese líquida máxima, podendo ser devido à redução do teor de água no solo (Figura 3 e 4).

A resposta fotossintética das plantas irrigadas teve um comportamento crescente em função da intensidade de radiação PAR imposta até o ponto de saturação luminosa, decrescendo após este momento, sendo possível ajustar uma equação polinomial quadrática, com R^2 > 93% (Figura 3), em ambos os solos.

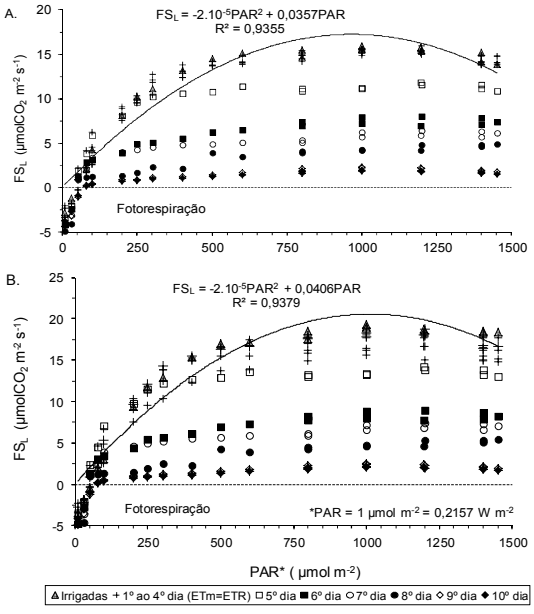

Figura 3. Fotossíntese líquida em função da intensidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), para o solo de textura argilosa (A) e arenosa (B).

Para o solo argiloso (Figura 3A) o maior valor de fotossíntese obtido foi de 15,9 $\mu molCO_2\ mol^{-1}\ s^{-1}$, para uma radiação PAR de 1000 $\mu mol\ m^{-2}$. As plantas do solo arenoso atingiram uma maior média de fotossíntese líquida (FS_L=16,2$\mu molCO_2 mol^{-1}s^{-1}$) em relação ao solo argiloso, e um ponto de saturação luminosa menor 905 $\mu mol\ m^{-2}$ (Figura 3B). Ainda na Figura 3, as plantas em déficit apresentaram comportamento similar às plantas irrigadas, até o quarto dia após a restrição hídrica, obtendo coeficientes de correlação de Pearson r = 0,82. Isto também pode ser comprovado na Figura 5, na qual foram relacionadas fotossínteses líquidas de plantas mantidas irrigadas e sob déficit hídrico.

Desta forma, observou-se que até o quarto dia de avaliação esta relação entre plantas irrigadas e sob déficit se manteve semelhante, obtendo pouca dispersão em relação a uma reta 1:1, e ajustando uma regressão linear.

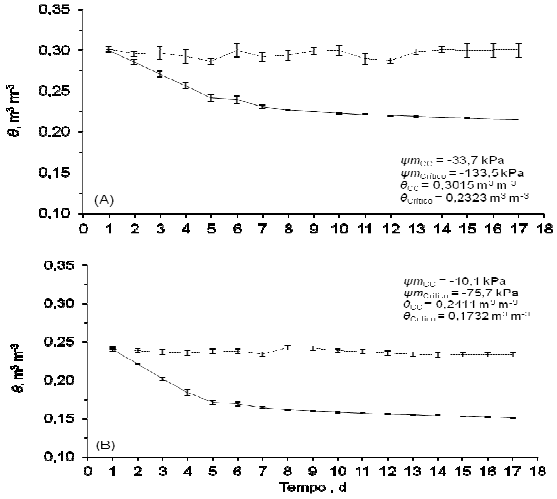

Figura 4. Teor de água no solo (θ) em função do tempo (dias) para os solos argiloso (A) e arenoso (B), em plantas irrigadas (linha pontilhada) e com déficit (linha cheia). Descrição do potencial matricial na capacidade de campo (ψm_{CC}) e no ponto crítico ($\psi m_{Crítico}$), bem como o teor de água no solo na capacidade de campo (θ_{CC}) e no ponto crítico ($\theta_{Crítico}$).

Entretanto, após a 4ª avaliação, nota-se um aumento dos coeficientes angulares das regressões lineares ajustadas, distanciando-se da reta 1:1, evidenciando uma maior fotossíntese líquida nas plantas mantidas irrigadas (Figura 5).

Na 5ª avaliação iniciou-se um decréscimo na taxa de FS_L, a qual persistiu até o último dia de avaliação (10ª). Desta forma, foi possível detectar um momento considerado crítico a partir dos valores de potencial matricial e de teor de água no solo (Figura 6), em que a FS_L deixa de ser potencial e passa a ser deplecionada, ou decrescente, podendo ter como consequência, uma quebra na produção de fitomassa seca. Os valores críticos de teor de água no solo e de potencial matricial foram, respectivamente, 0,2304 $m^3\ m^{-3}$ e -14,27 m, para o solo argiloso, e de 0,1708 $m^3\ m^{-3}$ e -8,37 m, para o solo arenoso. Deve-se ressaltar que tanto o potencial matricial quanto a umidade são fortemente dependentes do tipo de solo, não podendo extrapolar estas informações consideradas críticas para qualquer tipo de solo (Casaroli et al., 2010; Jong Van Lier et al., 2006).

Alguns autores sugerem que as respostas fisiológicas das plantas, na ocorrência de déficit hídrico, sejam avaliadas em função da água facilmente disponível no solo - FAD (Carlesso, 1995; Rosenthal et al., 1987). Ainda, o suprimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera e a interação entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, isto acontece de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos (Santos & Carlesso, 1998).

Para um solo também argiloso (66% de argila) Pavani et al. (2008) determinou um θ_{CC} igual a 0,3993 $m^3\ m^{-3}$ e $\theta_{crítico}$ de 0,3529 $m^3\ m^{-3}$. Estas diferenças podem ter ocorrido devido ao solo deste estudo apresentar um percentual de 53% de argila, o que infere em uma menor retenção de água no solo. Segundo Silveira & Stone (1994) o potencial matricial (ψ_m) crítico para a cultura do feijão é de -40 kPa, o qual corresponde, para este estudo, a uma umidade igual a 0,2759 $m^3\ m^{-3}$, estimada pela equação de Van Genuchten (1980). Tanto o valor do potencial matricial crítico quanto o valor de umidade crítica a partir deste potencial, não corroboram ao potencial matricial crítico e à umidade crítica determinada no presente estudo, tanto em solo argiloso quanto em solo arenoso (Figuras 2 e 3).

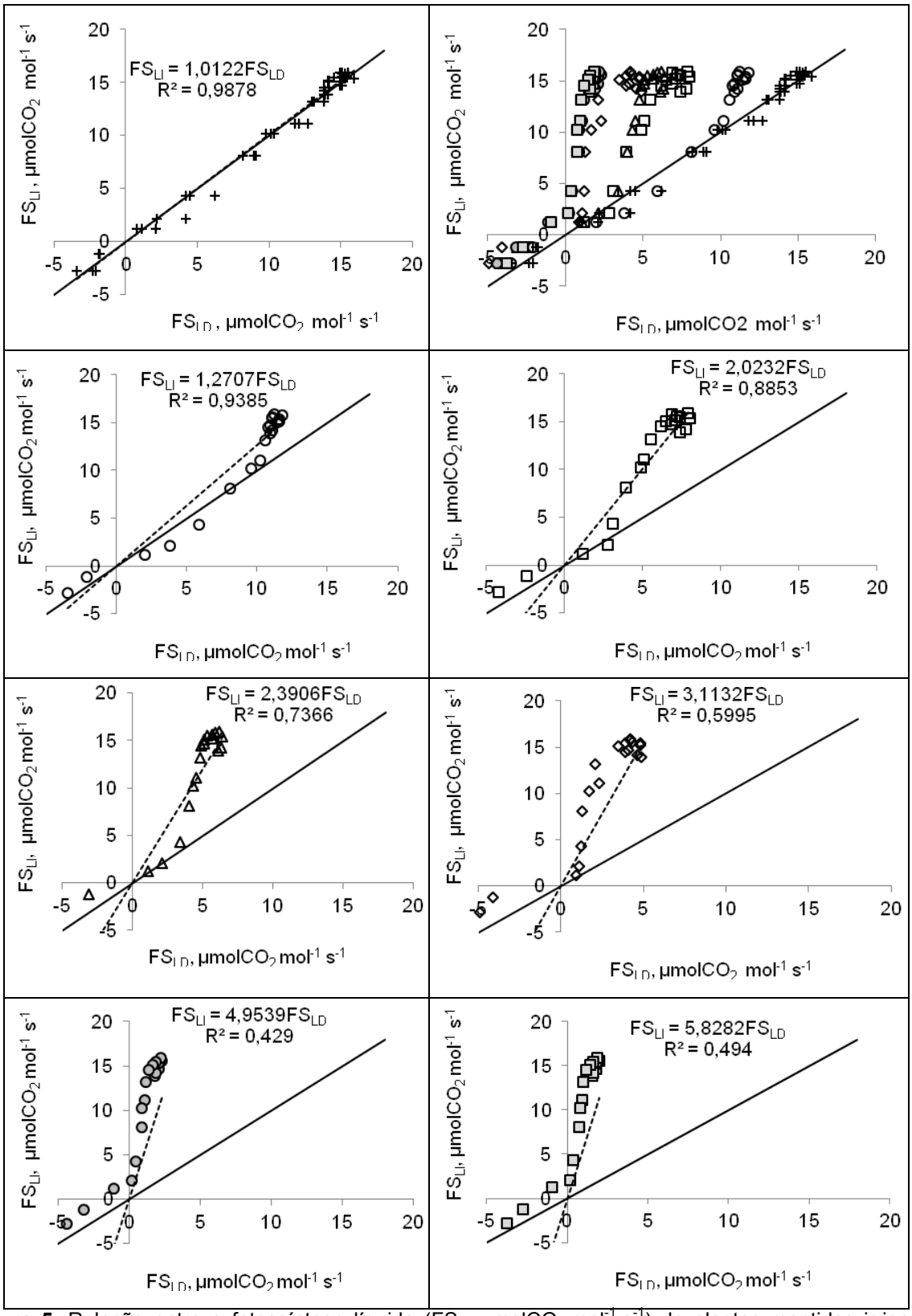

Figura 5. Relação entre a fotossíntese líquida (FS_L, $\mu molCO_2\ mol^{-1}\ s^{-1}$) de plantas mantidas irrigadas (FS_{LI}) e em déficit (FS_{LD}), para todas as avaliações: da 1ª a 4ª (+); 5ª (○); 6ª (□); 7ª ( ); 8ª ( ); 9ª ( ); e 10ª ( ), correlacionando-as com a reta 1:1 (—).

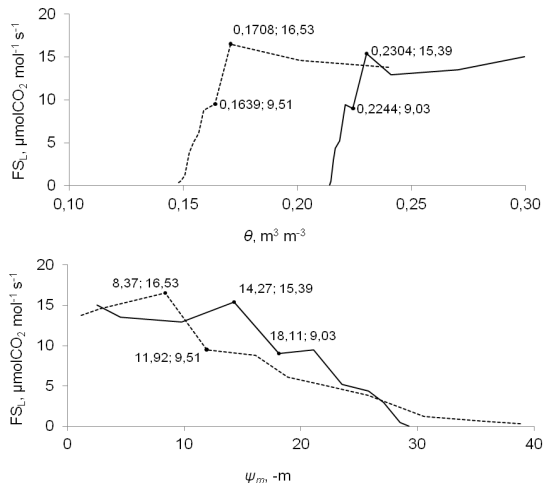

Figura 6. Fotossíntese líquida (FS_L, µmol CO_2 mol^{-1} s^{-1}) em função do teor de água no solo (θ, m^3 m^{-3}) e do potencial matricial (ψ_m, -m), para os solos argiloso (linha cheia) e arenoso (linha pontilhada).

Estas divergências entre diferentes tipos de solo em relação a um θ e ψ_m críticos, se deve, a rigor, devido ao fato de que estas duas variáveis estarem diretamente ligadas à condutividade hidráulica do solo, a qual é uma propriedade do solo que descreve a velocidade do movimento de água no solo (Jong van Lier et al., 2006; Metselaar et al., 2007; Casaroli et al., 2010; Jong van Lier et al., 2013).

Alguns autores (Oliveira et al., 2005; Pazzetti et al., 1992) observaram que o déficit hídrico possui influência sobre as atividades fisiológicas do feijoeiro. Alguns estudos comprovam que quanto menor a frequência de irrigação, os potenciais de água no solo se tornavam mais negativos, provocando, provavelmente, maiores resistências estomáticas e ocasionando maximização da temperatura do dossel e da folha nos horários mais quentes do dia. As irrigações mais frequentes, no entanto, induziram baixa variação na transpiração da planta durante o período mais quente do dia, reduzindo menos o potencial hídrico da folha e mantendo níveis mais altos de utilização da radiação fotossinteticamente ativa. Os autores concluíram que pouca variação no teor de água no solo já é suficiente para que as culturas apresentem maiores temperaturas que no estado ótimo de desenvolvimento (Pazzetti et al., 1992).

François (2012) verificou que a taxa fotossintética de plantas de feijão se reduz linearmente com a irrigação em déficit, quando esta passa de 100% da evapotranspiração da cultura para 25%.

CONCLUSÃO

A fotossíntese líquida de plantas de feijão atinge seu valor máximo quando a radiação fotossinteticamente ativa encontra-se em valores entre 900 e 1000 µmol m^{-2}, quando o solo estiver com um teor de água próximo a capacidade de campo.

A partir de medidas de fotossíntese líquida é possível determinar um teor de água crítico no solo para fins de otimizar o manejo da água de irrigação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT. S.L.; BENNET, J.M.; BOTE, K.J. Relationship on nitrogenase activity to plant water stress in field grown soybean. **Field Crop Research**, v.8, p.61-71, 1984.

BROOKS, R.H.; COREY, A.T. **Hydraulic properties of porous media**. Fort Collins: Colorado State University, Civil Engineering Department, 1964. 27 p. (Hydrology Paper, 3).

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 1408 p.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K. Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso do nitrogênio da cultura do feijão cv. Imbabello. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n.2-3, p.343-353, 1996.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. de; DOURADO NETO, D. Validation of a root water uptake model to estimate transpiration constraints. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p. 1382-1388, 2010.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. de. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p. 59-66, 2008.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Brasil, 1999. 412 p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro comum**. In:_____. (Ed.). Feijão irrigado: tecnologia e produção. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2005. p.166-174.

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria.

GUIMARAES, C.M.; STONE, L.F.; DEL PELOSO, M.J.; OLIVEIRA, J.P. de. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.7, p.649-656, 2011.

JONG VAN LIER, Q. de; METSELAAR, K.; VAN DAM, J.C. Root water extraction and limiting soil hydraulic condictions estimated by numerical simulation. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.5, n.4, p.1264-1277, 2006.

JONG VAN LIER, Q. de; VAN DAM, J.C.; DURIGON, A.; SANTOS, M.A. ; METSELAAR, K. Modeling Water Potentials and Flows in the Soil-Plant System Comparing Hydraulic Resistances and Transpiration Reduction Functions. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.12, n.3, p.1-20, 2013.

LOBO, F. de A.; BARROS, M.P. de; DALMAGRO, H.J.; DALMOLIN, Â.C.; PEREIRA, W.E.; SOUZA, É.C. de; VOURLITIS, G.L.; RODRÍGUEZ ORTÍZ, C.E. Fitting net photosynthetic light-response curves with *Microsoft Excel* – a critical look at the models. **Photosynthetica**, Praga, v. 51, n.3, p.445-456, 2013.

METSELAAR, K.; JONG VAN LIER, Q. de. The shape of the transpiration reduction function under plant water stress. **Vadose Zone Journal**, Madison, v.6, n.1, p.124-139, 2007.

MUÑOZ-PEREA, C.G. TERÁN, H.; ALLEN, R.G.; WRIGHT, J.L.; WESTERMANN, D.T.; SINGH, S.P. Selection for drought resistance in dry bean landraces and cultivars. **Crop Science**, Madison, v.46, n. 5, p.2111-2120, 2006.

OLIVEIRA, A.D. de; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.86-95, 2005.

OLIVEIRA, M.A.J.; BOVI, M.L.A.; MACHADO, E.C.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J.D. Fotossíntese, condutância estomática, e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.59-63, 2002.

PAVANI, L.C; LOPES, A.S; GALBEIRO, R.B. Manejo de Irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas de planto direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.1, n.1, p.12-21, 2008.

PAZZETTI, G.A.; CANO, M.A.O.; RESENDE, M. Aplicação da termometria por infravermelho a irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.): parâmetros fisiológicos. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Viçosa, v.4, n.1, p.27-31, 1992.

RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. (Boletim Técnico, 100).

RICHARDS, L.A. The usefulness of capillary potential to soil moisture and plant investigators. **Journal Agricultural Research**, Washington, v.37, n.12, p.719-742, 1928.

ROSENTHAL, W.D. ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.J. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, n.6, p.1019-1026, 1987.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n.3, p.287-294, 1998.

SIEBENEICHLER, S.C.; SANT'ANNA, R.; MARTINEZ, C.A.; MOSQUIM, P.R.; CAMBRAIA, J. Alterações na fotossíntese, condutância estomática e eficiência fotoquímica induzidas por baixa temperatura em feijoeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.10, n.1, p.37-44, 1998.

SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Goiânia: Embrapa, Brasil, 1994. 46 p. (Circular Técnica, 27).

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª. ed. Porto Alegre: Artemed, 2012. 954 p.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n. 5, p. 892-898, 1980.

★★★★★