



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, n°. 3, p.172–183, 2010
 ISSN 1982-7679 (On-line)
 Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>
 Protocolo 012.082 – 10/03/2010 Aprovado em 11/06/2010

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

Douglas Roberto Bizari¹, Edson Eiji Matsura², Jamile Chamlet³, Márcio Mesquita⁴,
 Conan Ayade Salvador⁵

¹Eng, Agrônomo, aluno de Doutorado, FEAGRI/UNICAMP, CEP 13083-875, Campinas, SP, Fone (19) 3521 1010, e-mail: douglas,bizari@feagri,unicamp.br,

²Eng, Agrônomo, Prof, Doutor, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP,

³Aluna de iniciação científica, Pibic/CNPq, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP,

⁴Eng, Agrícola, Aluno de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas, SP,

⁵Eng, Agrícola, Aluno de Doutorado, Esalq, USP, Piracicaba, SP,

RESUMO

No dimensionamento de projetos e manejo da irrigação é importante o conhecimento do sistema radicular das culturas para o controle adequado das irrigações e armazenamento de água no solo. Pelas dificuldades dos métodos de trabalho, a caracterização da profundidade efetiva de raízes se faz geralmente no florescimento da cultura, resultando em falta de informação, principalmente nos estádios iniciais de seu crescimento. Em face desta realidade, o objetivo deste trabalho foi determinar, para as condições locais, a profundidade efetiva de raízes nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro, variedade Pérola, e relacioná-la com os parâmetros de desenvolvimento da parte aérea. A irrigação foi realizada pelo turno de rega variável, mantendo o conteúdo de água no solo entre 37% e 33%, que correspondem às umidades na capacidade de campo e crítica para a cultura, respectivamente. Os resultados indicaram que a profundidade efetiva do sistema radicular da variedade estudada nas condições específicas em que ocorreu o ensaio, se encontra nas camadas: de 0 a 15 cm para o desenvolvimento vegetativo, de 0 a 20 cm para o florescimento/enchimento de grãos e de 0 a 25 cm no início da maturação fisiológica. A relação entre os parâmetros de crescimento da variedade Pérola, altura e massa seca da parte aérea pode ser considerada um instrumento adequado para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular para manejo de irrigação no local onde foi realizado o ensaio. A densidade radicular relacionou-se linearmente com a altura de plantas e massa seca da parte aérea. E os valores máximos de densidade radicular e dos parâmetros da parte aérea foram obtidos no estágio de enchimento de grãos.

Palavras-chave: manejo de irrigação, crescimento radicular, estádios de desenvolvimento, variety Pérola.

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA
CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN EFFECTIVE ROOTING DEPTH AND AERIAL PART
IN THE IRRIGATED BEAN CROP IN NO TILLAGE SYSTEM

In the projects and irrigation management is important the knowledge of the root system of crops for the appropriate control of irrigations and soil water content storage. For difficulties of the work methods, the characterization of the effective rooting is usually accomplished in the flowering stage of crop, resulting in lack of information, mainly in initial stage of growth of crop. In face of this reality, the objective of this work was to determine, to local conditions, the effective rooting depth in the development stages of the bean crop, variety Pérola, and to relate it with the parameters of the aerial part. The irrigation was accomplished by variable intervals irrigation, maintaining the soil water content between 39% and 36%, that it's correspond to humidities at field capacity and critic for the crop, respectively. The results indicated that the effective rooting depth of studied variety, in the specific conditions that occurred this experiment, is in the layers: from 0 to 15 cm for the vegetative development, from 0 to 20 cm for the flowering/ grains filling and from 0 to 25 cm in the beginning of the physiologic maturation. The relationship between the parameters of growth of the bean crop, height and dry mass of the aerial part can be considered an appropriate instrument to estimate the effective depth of root system for irrigation management in the local of experiment. The root density related linearly to the height of plants and dry mass of the aerial part. And the maximum values of root density and parameters of the aerial part were obtained at grains filling stage.

Key words: irrigation management, growth root, development stages, variety Pérola.

INTRODUÇÃO

O manejo de irrigação tem sido objeto de estudos em diversas pesquisas, porém os resultados obtidos ainda são pouco empregados no campo por agricultores irrigantes. Além disso, a falta de critérios para a utilização dos equipamentos de irrigação tem contribuído para o aumento dos custos de energia elétrica e lâminas de água aplicada em excesso, comprometendo, de certa forma, a expansão da agricultura irrigada (PAVANI et al., 2009). Porém, com a cobrança pelo uso da água será necessário um gerenciamento mais efetivo dos recursos hídricos nas propriedades rurais, e que deve consistir de alguns aspectos principais, tais como, dimensionamento correto dos sistemas de irrigação e implantação do manejo adequado da água ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas, com o objetivo de evitar o desperdício de água e conseqüentemente perda de solo e nutrientes.

Em face desta realidade, uma maneira da agricultura irrigada alcançar maior eficiência seria por meio de estudos mais consistentes sobre a determinação da profundidade efetiva do sistema radicular para diferentes culturas e conseqüentemente, instalação mais criteriosa de sensores de umidade e extratores de solução do solo (MACHADO e COELHO, 2000; SANTOS et al., 2005), pois na prática do manejo de irrigação, este mesmo parâmetro representa a camada na superfície do solo onde se encontra a maioria de raízes finas ou absorventes, que devem receber a lâmina de água no momento correto e na quantidade adequada.

Para JUNG (1978) citado por PIRES et al. (1991) o crescimento das raízes é influenciado por diversos fatores relacionados ao solo que as envolvem, como por exemplo, resistência mecânica, umidade, aeração e fertilidade do solo, podendo limitar sua atuação na absorção e translocação de nutrientes, e também, na sustentação das plantas. Segundo

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

FUJIWARA et al. (1994) para a cultura do feijoeiro tem sido relatado que, em condições ideais de solo, as raízes podem atingir 1,5 m de profundidade.

De acordo com VASCONCELOS et al. (2003) não existe uma forma perfeita para avaliação de raízes e os resultados podem variar de acordo com método empregado, cultura, variedade estudada e seu manejo, com o tipo de solo, condições físico-químicas e com os procedimentos adotados pelo operador. Sendo que a escolha do método a ser utilizado deve considerar os objetivos da pesquisa e os parâmetros que se deseja avaliar.

Normalmente, as raízes desta leguminosa se desenvolvem até 40 cm de profundidade em regiões tropicais e até abaixo de 1,0 m em regiões de clima temperado. Outro fator importante é que o sistema radicular é diferenciado para cada espécie vegetal e varia de acordo com as características genéticas das culturas, sendo as cultivares com sistema radicular mais raso, as menos tolerantes à seca (AIDAR et al., 2003). É o caso das plantas do feijoeiro, que por apresentarem sistema radicular pouco desenvolvido são muito sensíveis às variações climáticas, necessitando da utilização da irrigação e manejo adequado na época de inverno, para suprir suas necessidades hídricas (SOUSA et al., 2009). Caso isso não ocorra, pode haver queda de produtividade se o déficit hídrico ocorrer, principalmente, nos estádios de florescimento e enchimento de grãos, em virtude de sua baixa capacidade de recuperação após o estresse (MOUHOUCHE et al., 1998).

É notória a importância do sistema radicular na produtividade das culturas, mas, pelo fato de ficarem abaixo do solo, os métodos existentes para sua determinação são trabalhosos quando comparados aos parâmetros da parte aérea das culturas, dificultando os estudos de raízes para fins de manejo de irrigação (FUJIWARA et al., 1994; AIDAR et al., 2003). E isso, possivelmente, limitou a maioria dos trabalhos a determinarem a

profundidade efetiva do sistema radicular somente após o florescimento, como pode ser observado em PIRES et al. (1991) e WUTKE et al. (2000).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estimar a densidade radicular e a profundidade efetiva das raízes nos diferentes estádios da cultura do feijoeiro, variedade Pérola, sob sistema plantio direto irrigado em um Latossolo vermelho distroférico típico, relacionando-as com os parâmetros da parte aérea.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido em um Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999), na região de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22° 48' 57" sul, longitude 47° 03' 33" oeste e altitude média de 640 m.

As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por (EMBRAPA, 1997) e apresentaram os seguintes resultados: pH (CaCl₂), 5,4; Ca²⁺, 51,0 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 20,0 mmol_c dm⁻³; P, 38,0 mg dm⁻³; K, 6,2 mmol_c dm⁻³; e areia, 248 g kg⁻¹; silte, 192 g kg⁻¹ e argila, 559 g kg⁻¹. Os valores de densidade média do solo foram: 1,24 kg dm⁻³ na camada de 0 a 20, de 1,31 kg dm⁻³ na de 20 a 40 cm e de 1,17 kg dm⁻³ na camada de 40 a 60 cm.

A adubação de plantio foi realizada com base nas informações contidas na análise de solo, usando-se 250 kg ha⁻¹ da formulação 04-16-08, de forma a corrigir as deficiências nutricionais que poderiam vir a influenciar no crescimento radicular. Aplicou-se a quantidade de 120 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia na adubação de cobertura, parcelado aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, segundo recomendação de AMBROSANO et al. (1996).

O controle das plantas infestantes para implantação do ensaio foi realizado em 17/05/2007 com a aplicação Roundup na dose de 4,0 L ha⁻¹. Também foi

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

realizada uma aplicação do fungicida Cercobim 700 PM na dose de 0.5 kg ha⁻¹ em pós-emergência da cultura do feijão.

Para a realização do experimento foi utilizada uma área experimental sob sistema plantio direto no terceiro ano de implantação. No ano agrícola de 2005 foi instalada a cultura de verão (milho) em sistema plantio direto sobre cobertura morta de nabo forrageiro, cultivado no ano agrícola anterior no período de inverno, iniciando-se as pesquisas com esse sistema de manejo na área estudada.

No ano de 2006, foi cultivada a cultura do feijoeiro no inverno nos restos culturais do milho da safra 2005/2006. Após a colheita desse feijão foi cultivado o milho novamente na safra de verão (ano 2006/2007) para a formação de cobertura morta para a instalação do feijão irrigado na época de inverno no ano de 2007, possibilitando a realização do presente ensaio. A variedade de feijão estudada foi a Pérola, semeada no dia 08/06/2007, com espaçamento de 0,5 m entre linhas.

A densidade de plantio foi de 10 a 12 plantas por metro linear e a irrigação foi a aspersão convencional, constituída de 2 linhas laterais com 5 aspersores cada uma, do tipo 427 AG e vazão de 0,45 m³ h⁻¹ e pressão de serviço de 2,0 kgf cm⁻². O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de 12 m x 12 m, proporcionando uma precipitação média de 4 mm h⁻¹, determinada pela quantificação dos volumes de água em cada coletor pertencente a uma malha regular de 2 m x 2 m utilizada na avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), com valor médio de 73 %.

O manejo da irrigação foi realizado pelo turno de rega variável, baseado na reposição da lâmina de água evapotranspirada, estimada pela evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura ao longo do ciclo do feijoeiro, que compreende os estádios de Desenvolvimento vegetativo (DV); Florescimento (FL); Enchimento de grãos (EG) e Maturação fisiológica (MF). Para a

estimativa da evapotranspiração de referência foi utilizada a equação de Penman-Monteith modificado pela FAO (ALLEN et al., 1998) sendo os dados climáticos levantados junto à Estação Meteorológica, marca Campbell com datalogger modelo CR 10 X., instalada próximo ao ensaio.

O monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo do feijoeiro foi realizado por 6 baterias de tensiômetros instalados nas profundidades de 20 e 40 cm.

Para a avaliação quantitativa do sistema radicular utilizou-se o método do trado tipo caneca com 7 cm de diâmetro, descrito por (FUJIWARA et al, 1994), por permitir um maior número de repetições no campo, sem comprometimento da área, sendo que cada amostragem foi realizada a 5 cm da linha de plantio.

A tradagem foi realizada a 10 cm de profundidade, e posteriormente de 5 em 5 cm até a profundidade de 50 cm, em nove plantas por amostragem, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. No período vegetativo as amostras de raízes foram retiradas com um intervalo de tempo de uma semana, nas profundidades de 0-10, 10-15 e 15-20 cm. Na fase reprodutiva, a amostragem foi realizada com um intervalo de quinze dias, nas profundidades de 0-10; 10-15, 15-20, 20-25; 25-30; 30-35, 35-40, 40-45 e 45-50 cm, até a fase de maturação da cultura.

A densidade média do solo foi determinada nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm aos 50 DAE, próxima às nove plantas amostradas aleatoriamente para avaliação do sistema radicular. Imediatamente após a extração das raízes nas profundidades estabelecidas, estas eram acondicionadas em sacos plásticos, em solução com 5% de álcool para manter sua conservação. Posteriormente, as raízes eram lavadas em água corrente com peneira de malha 0.1 mm de abertura. - Método Gottingen (BOHM, 1979) citado por (FUJIWARA et al, 1994).

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEJJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

A lavagem das raízes foi realizada em um laboratório específico para esta atividade, permitindo o descarte adequado do solo, proveniente das sucessivas lavagens. Após isso, as raízes eram secas em temperatura ambiente, sendo as impurezas e matéria orgânica retiradas com auxílio de pinças. Com a retirada destes materiais, as raízes eram colocadas na estufa a 65 °C por 48 horas e pesadas, para a determinação da densidade radicular e da profundidade efetiva das raízes, interpolando-se o somatório dos valores de duas ou mais profundidades consecutivas, sendo considerada a efetiva aquela que apresentasse 80 % ou mais de raízes finas.

Com relação aos parâmetros de desenvolvimento da parte aérea, a altura de plantas foi determinada nas mesmas plantas amostradas para a determinação da densidade radicular (7 a 92 DAE), pela medida da distância vertical entre a superfície do solo e o ponto de inserção da última folha utilizando-se uma régua graduada. Em seguida, as plantas eram retiradas e levadas em laboratório para a determinação da área foliar utilizando-se o medidor Marca Li-Cor, modelo 3100, que estima a área foliar total de cada planta, em cm², segundo metodologia utilizada por GUIMARÃES et al. (2002) e PAVANI et al. (2009). Pela relação da área foliar e a superfície correspondente do terreno ocupado pela respectiva planta, determinou-se o índice de área foliar (IAF), em m² m⁻², segundo metodologia utilizada por URCHAI et al. (2000). Para a análise de massa seca da parte aérea (MS), quantificou-se por pesagem a massa total constituída por partes da haste, folhas e vagens, após serem secas em estufa por 24 horas a 65 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina total de água recebida pela cultura foi de 346.2 mm, sendo 119.0 mm proveniente das irrigações e 227.2 mm das precipitações de chuva que se concentraram, principalmente, no final do

estádio de desenvolvimento vegetativo e início do florescimento. A umidade no solo manteve-se na faixa entre a capacidade de campo (37 %) e a umidade crítica para a cultura (33%), mostrando que a irrigação foi bem conduzida durante o ensaio não comprometendo o crescimento da cultura. De acordo com DOORENBOS e KASSAN (1979), a necessidade de água do feijoeiro com ciclo de 60 a 120 dias varia entre 300 a 500 mm. Neste ensaio a lâmina de água atendeu à exigência hídrica das plantas, mas o consumo pode variar com as condições de clima do local, época de semeadura e cultivares (SILVEIRA e STONE, 1998) e também em diferentes sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento da planta (BIZARI et al., 2009).

Os valores médios de densidade de raízes coletadas ao longo de todo o ciclo da cultura do feijoeiro, variedade Pérola, estão apresentados na tabela 1. Os resultados mostram que na primeira avaliação, realizada aos 7 DAE, 100% das raízes se concentraram na camada de 0 a 10 cm. Observa-se ainda, que foram encontradas raízes até a profundidade de 40 cm (78 e 92 DAE), mas a maior concentração se deu nas camadas mais superficiais do solo (0 a 25 cm) com diminuição gradativa em profundidade para todas as épocas de amostragem, com exceção das avaliações realizadas aos 64 e 92 DAE na camada de 30 a 35 cm, e na de 20 a 30 cm aos 78 DAE. Isso pode ser resultado da metodologia utilizada, que proporciona uma maior variabilidade espacial na área de amostragem, tendo como consequência altos valores de coeficientes de variação entre as repetições.

Outro fator importante é a posição de amostragem com o trado em relação à planta. VASCONCELOS et al. (1999) constataram uma redução gradativa da quantidade de raízes de cana-de-açúcar da linha de plantio para o meio da entrelinha. No caso do feijão, que apresenta espaçamento bem reduzido entre plantas, a quantidade de raízes pode variar com a

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

variedade e o estágio de desenvolvimento da cultura quando se mantém a mesma posição de amostragem do início até final do ciclo da cultura. Em trabalho realizado por KUCKE et al. (1995) também foram observados altos valores de coeficientes de variação para diferentes tipos de cultura, tipos de solo, profundidade e épocas de amostragem.

Nas avaliações realizadas dos 15 aos 29 DAE, houve maior concentração acumulada de raízes na camada de 0 a 15 cm, com valores entre 0.65 a 0.68 mg cm⁻³, podendo ser considerada a profundidade efetiva para o respectivo estágio, pois abrangeu 80% ou mais de raízes em relação ao total encontrado por planta. No final do estágio de desenvolvimento vegetativo (36 DAE) e início do enchimento de grãos (64 DAE), mais de 80 % da quantidade acumulada de raízes se concentrou na camada de 0 a 20 cm, com valores aumentando de 0.76, 1.05 e 1.26 mg cm⁻³ no período avaliado. Na avaliação realizada aos 78 DAE (final do estágio de enchimento de grãos) as raízes continuam em processo de crescimento em profundidade, com maior concentração cumulativa do sistema radicular para fins de manejo de irrigação na camada de 0 a 25 cm, com valor de 0.96 mg cm⁻³, estabilizando-se nesta mesma camada aos 92 DAE (maturação fisiológica) com praticamente o mesmo valor, 0.95 mg cm⁻³. MEDEIROS (2001) avaliando o crescimento radicular da cultura do feijoeiro, no florescimento, utilizando a mesma metodologia encontrou a profundidade efetiva do sistema radicular em uma camada superior em relação à obtida nesse ensaio e no mesmo período de avaliação, provavelmente, em função da variedade e sistema de preparo utilizado.

Por outro lado, PIRES et al. (1991) trabalhando com a mesma cultura e metodologia encontraram valores mais próximos aos observados no presente ensaio, com a profundidade efetiva das raízes na camada de 0-30 cm, a partir do florescimento da cultura. De acordo com

esses autores houve uma redução drástica na distribuição percentual de raízes a partir de 30 cm de profundidade, sendo que para este ensaio esta redução ocorreu somente aos 40 cm.

Utilizando outra metodologia e condições experimentais, GUIMARÃES et al. (2002) observaram que a maior quantidade de massa seca de raízes do feijoeiro se concentrou na camada de 0 a 20 em relação a de 20 a 40 cm, não sendo observado nesta última camada, crescimento radicular para densidade do solo acima de 1.4 kg dm⁻³. No presente ensaio, que utilizou a mesma variedade, as raízes também se concentraram nas camadas mais superficiais do solo praticamente durante todo o ciclo da cultura, cuja densidade média foi de 1.24 kg dm⁻³ e também foram encontradas pequenas quantidades de raízes na profundidade de 40 cm, porém com densidade média abaixo de 1.4 kg dm⁻³ (1.31 kg dm⁻³).

O aumento da densidade média do solo nesta camada, provavelmente, é decorrente da prática de manejo convencional utilizada anteriormente na área do ensaio. Mas isso, não limitou o crescimento radicular nesta profundidade, possivelmente, devido à correção química do solo no início do ensaio e também pela utilização da prática da irrigação. Mas mesmo assim, não foram encontradas raízes nas profundidades de 45 e 50 cm. Estudando o crescimento radicular do feijoeiro por meio de imagens digitalizadas, que considera o comprimento das raízes, SOUZA et al. (2009) observaram os maiores valores na camada de 0 a 10 cm em relação a de 10 a 20 cm para todos os estágios, exceto na maturação fisiológica. O mesmo foi constatado no presente estudo, que foi instalado no mesmo tipo de solo e com a mesma variedade, mas com os maiores valores nesta mesma camada em todos os estágios de desenvolvimento da cultura.

Em trabalho realizado por WUTKE et al. (2000) na avaliação do

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

desenvolvimento radicular do feijoeiro irrigado, no estágio de florescimento, utilizando a mesma metodologia desse ensaio, constataram que 80 % do sistema radicular do feijoeiro se concentrou nas camadas de 0 a 35 cm e na de 0 a 42 cm, recomendando a profundidade de 35 a 40 cm, como a efetiva para a cultura, que foi superior em 15 e 22 cm ao encontrado no presente estudo (0 a 20 cm no florescimento), possivelmente, por utilizarem outra variedade e também diferentes tipos de cultura, como adubos verdes e graníferas, na rotação com o feijão, mesmo este sendo cultivado em um Latossolo vermelho. Com relação ao desenvolvimento dos parâmetros da parte aérea (altura de plantas, área foliar e massa seca) e as diferentes profundidades efetivas de raízes determinados dos 7 aos 92 dias após emergência das plantas, os resultados obtidos estão apresentados na tabela 2.

Observa-se que os parâmetros avaliados tiveram o mesmo comportamento ao longo do ciclo da cultura, com valores crescentes até os 64 DAE (início do enchimento de grãos). Posteriormente, houve uma diminuição da atividade fotossintética para o início do processo de senescência. Os valores obtidos neste período para altura, área foliar e massa seca foram de 71.5 cm, 3.8 m² m⁻², e 38.32 g planta⁻¹, respectivamente, com uma concentração de 82.33 % das raízes na camada de 0 a 20 cm.

Estudando a altura de plantas na cultura do feijoeiro, HORN et al. (2000) encontraram para altura máxima o valor de 48 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por SOUZA et al. (2004) e PARISI (2007), porém menores que os obtidos no presente ensaio (71.5 cm), possivelmente pelos diferentes objetivos de cada estudo mencionado, que apresentavam diferentes espaçamentos e populações de plantas, níveis de adubação, e lâminas irrigadas, além de variedades distintas. Por outro lado, MEIRA et al. (2005) avaliando a adubação de cobertura com nitrogênio no feijoeiro irrigado em

sistema plantio direto, encontraram o valor máximo de altura de 86.0 cm com aplicação de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, sendo 16 % superior ao obtido no presente ensaio para a mesma dose de nitrogênio, porém aplicado em uma outra variedade da cultura.

Para a área foliar da cultura do feijoeiro, GUIMARÃES et al. (2002) encontraram os maiores valores entre 45 e 60 DAE, variando de 5.0 m² m⁻² a 12.5 m² m⁻², sendo superior ao maior valor obtido neste ensaio. Isto se justifica pelo objetivo do estudo, cujas plantas foram cultivadas em vasos com diferentes densidades do solo, cujos menores valores proporcionaram os maiores valores do IAF. Outro fato importante foi o controle da densidade de plantas, que para aquele ensaio foi de 18 plantas por metro linear, o que influencia diretamente os valores desse parâmetro, mesmo utilizando a mesma variedade. O maior valor de IAF obtido no presente ensaio foi de 3.79 m² m⁻² aos 64 DAE, sendo este valor intermediário aos encontrados por URCHEI et al. (2000), que observaram que as plantas no SPD apresentaram os maiores valores desse parâmetro em relação ao SC com arado de disco, variando de 4.2 a 5.1 e de 2.0 a 3.2 m² m⁻², respectivamente, dependendo da variedade estudada. Situação semelhante foi observada em trabalho realizado por PAVANI et al. (2009) para estes dois sistemas de preparo, porém em outra variedade de feijão. Estes dados estão coerentes com os obtidos no presente ensaio, cuja área está em transição de SC para SPD, que tem apenas 3 anos de implantação. E bem próximos aos obtidos por MEDEIROS et al. (2001), trabalhando na mesma área experimental com feijoeiro irrigado, com valores entre 3.2 a 3.9 m² m⁻² para outra variedade.

Na avaliação da MS, o maior valor encontrado no presente estudo de foi de 38.32 g planta⁻¹ aos 64 DAE, no estágio de florescimento, sendo em torno de 30 % superior em relação aos dados obtidos por PAVANI et al. (2009) que obtiveram

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEJJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

valores máximos de MS variando entre 24.15 a 27.61 g planta⁻¹. Para este mesmo parâmetro PARISI (2007) encontrou o maior valor (30.58 g planta⁻¹), aos 101 DAE, no tratamento baseado em 80 % da lâmina de referência.

No tratamento para reposição de 100% da evapotranspiração de referência, este valor foi de 26.42 g planta⁻¹, sendo inferior ao encontrado nesse ensaio, para a mesma forma de reposição de lâmina e manejo de irrigação. GUIMARÃES et al. (2002) encontraram os maiores valores de MS (25 a 30 g planta⁻¹) nos menores valores de densidade do solo, da mesma forma que o IAF. Para densidades do solo igual ou acima de 1.4 kg dm⁻³, os valores de MS não ultrapassaram 10 g planta⁻¹. URCHEI et al. (2000) também avaliando a produção de MS do feijoeiro constataram que este parâmetro foi influenciado pelo sistema de preparo do solo, com as plantas no SPD propiciando os maiores valores, possivelmente, decorrente do aumento da disponibilidade de água para as plantas, em função das menores taxas de evaporação e maiores valores de potenciais de água no solo ao longo do ciclo da cultura.

Neste estudo, os parâmetros altura e massa seca da parte aérea relacionaram-se linearmente com a densidade média radicular total, conforme mostra a figura 1 (a,c). O mesmo não ocorrendo com o IAF, pois no final do ciclo, a partir de 64 DAE, houve uma redução mais acentuada deste parâmetro em relação à perda de massa do sistema radicular neste mesmo período (Figura 1 b), que corresponde ao estágio de enchimento de grãos. Relação semelhante foi obtida por GUIMARÃES et al. (2002) para a variedade Pérola, com relação a MS, com $r^2=0.85$. Por outro lado, os autores encontraram relação linear entre IAF e densidade do comprimento radicular ($r^2=0.78$).

Analisando estes mesmos parâmetros com a profundidade efetiva do sistema radicular (figura 1, d,e,f) observou-se que houve boa correlação dos parâmetros altura de plantas e massa seca,

com $r^2=0.86$ e $r^2=0.91$, respectivamente, com a profundidade do solo onde se concentraram 80% ou mais de raízes. Nota-se também, que os resultados mostram uma tendência linear até aproximadamente 64 DAE (enchimento de grãos) para altura de plantas e MS. Na avaliação aos 78 DAE, que corresponde ao final do estágio de enchimento de grãos, foi observada uma redução nos valores dos parâmetros de desenvolvimento da parte aérea, devido ao processo de senescência das plantas, um mecanismo genético da cultura que ocorre próximo à fase de maturação, e de acordo com WOLF et al. (1988) tem uma importância fundamental na produção final das culturas, pois reduz a área fotossinteticamente ativa da planta, limitando seu crescimento e priorizando a formação de grãos.

Mesmo com a redução dos parâmetros da parte aérea, o sistema radicular continuou a crescer até os 78 DAE, sendo observado um pequeno incremento da profundidade efetiva do sistema radicular, que se concentrou na camada de 0 a 25 cm, e assim permaneceu até a última avaliação, aos 92 DAE. E isso provavelmente ocorreu, devido a prática de irrigação que foi cessada somente aos 85 DAE e também, provavelmente, por se tratar de uma cultura que apresenta sistema radicular raso, que após o secamento da superfície do solo pode explorar camadas um pouco mais profundas com maior disponibilidade de água (BALL et al. (1994) mesmo sem ocorrer déficit hídrico durante seu ciclo de desenvolvimento.

CONCLUSÕES

Considerando a variedade estudada e as condições específicas na qual foi realizado o ensaio, conclui-se que:

1. A profundidade efetiva do sistema radicular em cada estágio de desenvolvimento da variedade Pérola se encontra nas camadas: de 0 a 15 cm para o desenvolvimento vegetativo, de 0 a 20 cm para o florescimento/enchimento de grãos

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

e de 0 a 25 cm no início da maturação fisiológica

2. A relação entre os parâmetros de crescimento da variedade Pérola, altura e massa seca da parte aérea pode ser considerada um instrumento adequado para estimar a profundidade efetiva do sistema radicular para manejo de irrigação no local do ensaio.

3. A densidade radicular relacionou-se linearmente com os parâmetros altura de plantas e massa seca da parte aérea. E os valores máximos de densidade radicular e parâmetros de desenvolvimento da parte aérea foram obtidos no estágio de enchimento de grãos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor.

Ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo de Campinas pelo apoio técnico e material para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, H. **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum em várzeas tropicais irrigadas por subirrigação**. Embrapa: Santo Antônio de Goiás, 2003. (Circular técnica, 60).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed.

Campinas: Instituto Agrônomo/ IAC, 1996, p.187-199.

BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D.M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p. 788-795, 1994.

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; ROQUE, M.W.; SOUZA, A.L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciencia. Rural**, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009.

BOHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979, 188p.

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Field response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

FUJIWARA, M.; KURACHI, S.A.H.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C.M.; SAKAI, E. **A Técnica de estudo de raízes pelo método do trado**. Campinas, Instituto Agrônomo, 10p., 1994 (Boletim 153).

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro irrigado. II: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.213-218, 2002.

HORN, F.L.; SCHUCH, L.O.B.; SILVEIRA, E.P.; ANTUNES, I.F.; VIEIRA, J.C.; MARCHIORI, G.;

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEJJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

- MEDEIROS, D.F.; SCHWENGBER, J.E. Avaliação de espaçamento e população de plantas de feijão visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.1, p.41-46, 2000.
- KUCKE, M.; SCHMID, H.; SPIESS, A. A comparison of four methods for measuring roots in field crops in three contrasting soils. **Plant Soil**. v.172, p.63-71, 1995.
- MACHADO, C.C.; COELHO, R.D. Estudo da distribuição espacial do sistema radicular do limão Cravo enxertado com lima ácida 'Tahiti'. **Laranja**, v.21, p.359-380, 2000.
- MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um latossolo roxo sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2001.
- MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.4, p.383-388, 2005.
- MOUHOUCHE, B, RUGET, F., DELÉCOLLE, R. Effects of water stress applied at different phenological phase on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Agronomie**, v.18, p. 197-205, 1998
- PARISI, A.R.C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*phaseolus vulgaris* L.) e milho (*zea mays* L.) na região de Santiago., RS**. 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- PAVANI, L.C.; LOPES, A.da S.; PEREIRA, G.T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.453-459, 2009.
- JUNG, G.A. **Crop tolerance to suboptimal land conditions**. Madison, American Society of Agronomy, 1978, 343p. (Special publication, 32) apud PIRES, R.C.de M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, v.50, n.1, p.153-162, 1991.
- SANTOS, D.B.; COELHO, E.F.; AZEVEDO, C.A.V. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.9, p.327-333, 2005.
- SILVEIRA, P.M.; STONE, L.F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa, MG: UFV, 1998, p.181-220.
- SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; ALVES, V.G. Populações de plantas, adubação e calagem para o feijoeiro (cv. Iapar 91) em um Gleissolo de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.3, p.347-352, 2004.
- SOUZA, M.A.; LIMA, M.D.B.; SIMON, G.A.; ANDRADE, J.W.de SÁ. Efeito do estresse hídrico na densidade do comprimento radicular em estádios de desenvolvimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.1, p.25-30, 2009.
- URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.3, p.497-506, 2000.
- VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; BARBOSA, J.C.; LANDELL, M.G.A. Aplicação de método de amostragem do sistema radicular da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIA DEL SUELO, 14., Pucon, 1999. **Proceeding...** Pucon, Sociedad Latino-

PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

americana de La Ciencia Del Suelo, 1999, p.832.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L.A.C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.849-858, 2003.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C. Interactive water and nitrogen

effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*, v.80, p.859-864, 1988.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A. SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.3, p.621-633, 2000.

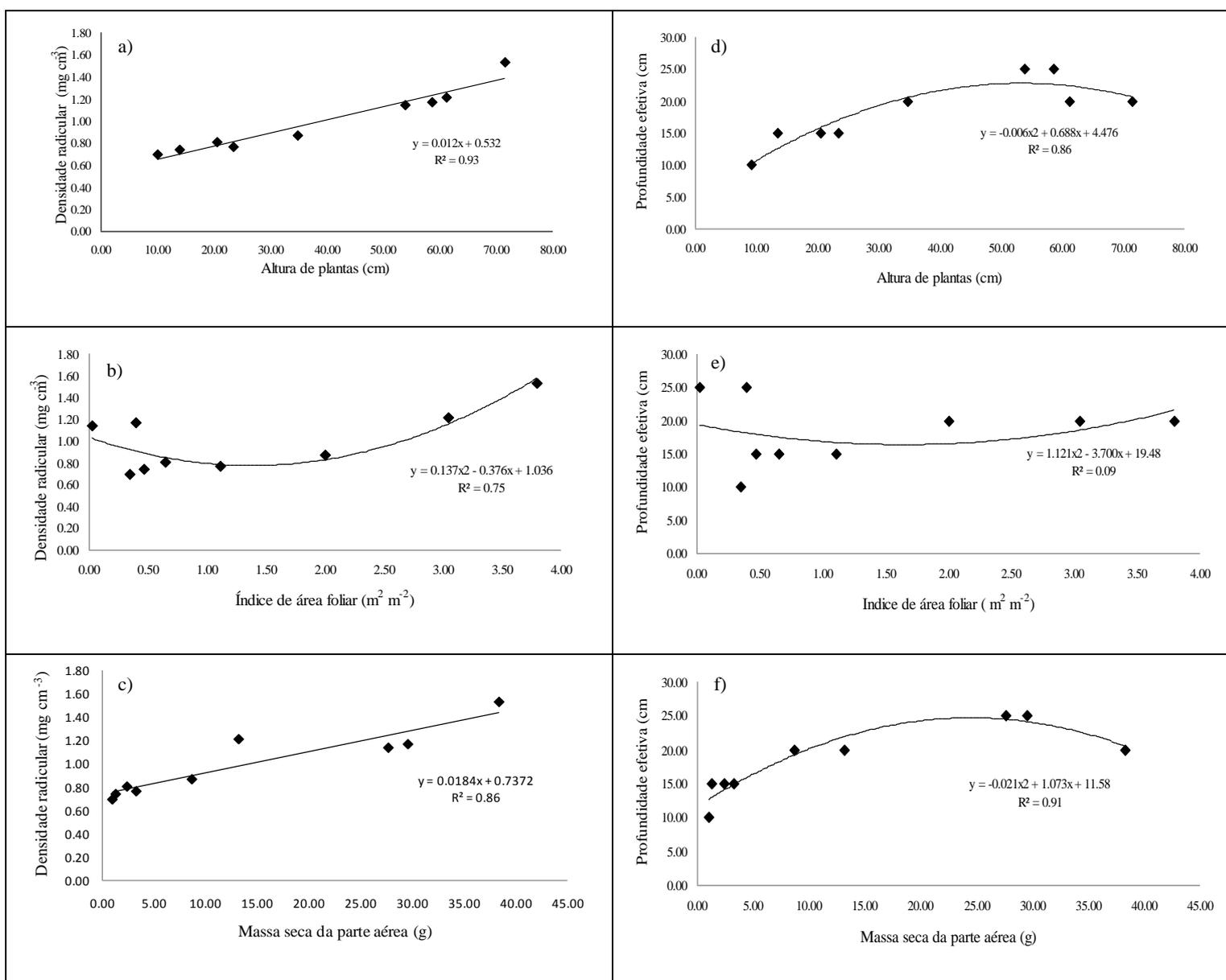


Figura 1: Altura de plantas (a,d); índice de área foliar (b,e) e matéria seca da parte aérea (c,f) em função da densidade radicular e profundidade efetiva do sistema radicular na cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, cultivado sob sistema plantio direto em um Latossolo vermelho distroférico típico da Feagri/Unicamp.

**PROFUNDIDADE EFETIVA DE RAÍZES E SUA RELAÇÃO COM A PARTE AÉREA DA
CULTURA DO FEIJOEIRO IRRIGADO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO**

Tabela 1. Densidade média de raízes, em mg cm^{-3} , e respectivo (erro padrão da média) no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto em um Latossolo vermelho distroférico típico da Feagri/Unicamp.

Profundidade (cm)	Densidade de raízes (mg cm^{-3})								
	7 DAE	15 DAE	22 DAE	29 DAE	36 DAE	50 DAE	64 DAE	78 DAE	92 DAE
0 - 10	0.70 (0.24)	0.54 (0.22)	0.54 (0.30)	0.52 (0.27)	0.46 (0.13)	0.77 (0.26)	0.87 (0.51)	0.49 (0.28)	0.48 (0.30)
10 - 15	-	0.12 (0.07)	0.14 (0.15)	0.13 (0.07)	0.18 (0.13)	0.17 (0.09)	0.24 (0.12)	0.25 (0.19)	0.20 (0.14)
15 - 20	-	0.08 (0.04)	0.05 (0.03)	0.06 (0.04)	0.12 (0.02)	0.11 (0.04)	0.15 (0.19)	0.09 (0.06)	0.14 (0.10)
20 - 25	-	-	0.05 (0.04)	0.04 (0.02)	0.09 (0.04)	0.10 (0.06)	0.10 (0.07)	0.13 (0.09)	0.13 (0.10)
25 - 30	-	-	0.03 (0.02)	0.02 (0.01)	0.02 (0.02)	0.07 (0.04)	0.05 (0.03)	0.11 (0.05)	0.07 (0.06)
30 - 35	-	-	-	-	-	-	0.11 (0.11)	0.06 (0.03)	0.11 (0.08)
35 - 40	-	-	-	-	-	-	-	0.04 (0.04)	0.02 (0.02)
Total	0.70	0.74	0.81	0.77	0.87	1.21	1.53	1.17	1.14

Tabela 2. Profundidade efetiva do sistema radicular (P_{efetiva}) e valores médios e respectivo (erro padrão da média) dos parâmetros altura de plantas, índice de área foliar e massa seca da parte aérea no ciclo da cultura do feijoeiro irrigado, variedade Pérola, sob sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho distroférico típico da Feagri/Unicamp.

DAE	P_{efetiva} cm	Raízes na P_{efetiva} %	Altura de plantas cm	Índice de área foliar $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$	Massa seca g planta^{-1}
7	0 - 10	80.00	9.94 (15.2)	0.35 (0.11)	1.00 (28.2)
15	10 - 15	89.50	13.94 (13.6)	0.47 (0.11)	1.33 (36.4)
22	10 - 15	84.82	20.54 (12.7)	0.67 (0.19)	2.42 (22.5)
29	10 - 15	84.68	23.44 (28.8)	1.11 (0.46)	3.31 (44.7)
36	15 - 20	87.05	34.76 (16.3)	2.00 (0.56)	14.16 (35.2)
50	15 - 20	86.43	61.11 (18.5)	3.04 (1.37)	13.20 (45.0)
64	15 - 20	82.33	71.50 (20.0)	3.79 (1.40)	38.32 (19.3)
78	20 - 25	81.49	58.61 (12.2)	0.40 (0.20)	29.53 (50.0)
92	20 - 25	88.87	53.83 (19.1)	0.02 (0.01)	27.64 (41.9)