

# ADAPTAÇÃO DO FEIJOEIRO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) À SECA

## I. DENSIDADE E EFICIÊNCIA RADICULAR<sup>1</sup>

CLEBER MORAIS GUIMARÃES<sup>2</sup>, ORIVALDO BRUNINI<sup>3</sup> e LUIS FERNANDO STONE<sup>2</sup>

RESUMO - O estudo, realizado em área experimental do CNPAF-EMBRAPA, Santo Antônio de Goiás, GO, examina a influência da eficiência radicular, em mm<sup>3</sup> de água absorvida/cm de raízes/dia, e a densidade linear radicular, em cm de raízes/cm<sup>3</sup> de solo, na resistência à seca, do feijoeiro. Os resultados visam fornecer subsídio aos programas de melhoramento genético, que geram variedades dessa cultura para regiões com deficiência hídrica. Neste trabalho, estudaram-se a variedade Carioca e as linhagens BAT 477 e RAB 96, em três tratamentos hídricos: irrigado, estresse moderado e estresse severo. A 'BAT 477' e a 'Carioca' apresentaram, nos tratamentos com estresse hídrico, em relação ao irrigado, maior densidade linear radicular, nas camadas mais profundas, do que a 'RAB 96'. Observou-se, ainda, que a eficiência radicular na absorção de água aumentou com a profundidade do solo, independentemente do nível de deficiência hídrica ou dos genótipos estudados. A eficiência foi superior na 'BAT 477' e na 'Carioca', principalmente nas camadas mais profundas.

Termos para indexação: mecanismos de resistência à seca, genótipos, absorção de água.

## ADAPTATION OF COMMON BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) TO DROUGHT

### I. ROOT DENSITY AND ROOT EFFICIENCY

ABSTRACT - The study was conducted at the experimental station of CNPAF/EMBRAPA, Santo Antônio de Goiás, GO. The objective was to examine the influence of water absorption efficiency of root (mm<sup>3</sup> of water used/cm of roots/day) and linear root density (cm of roots/cm<sup>3</sup> of soil) on drought resistance of common bean genotypes in order to support the breeding program directed for regions with water deficiency. In this study three genotypes BAT 477, Carioca, and RAB 96 were used. These genotypes were subjected to three moisture treatments, irrigated, moderated stress and severe stress. The genotypes BAT 477 and Carioca presented, under stress treatments related to irrigated, higher linear root density, in the lower soil depth, when compared to 'RAB 96'. Further, it was observed that water absorption efficiency of root increased with soil depth, independently of water deficiency levels or genotypes studied. It was superior in genotypes BAT 477 and Carioca, specially at lower soil depths.

Index terms: mechanisms of drought resistance, water absorption, genotypes.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 16 de fevereiro de 1996.

Extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor, UNICAMP, Campinas, SP.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Dr., EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 74001-970 Goiânia, GO.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Ph.D, Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Seção de Climatologia, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas, SP.

## INTRODUÇÃO

A produção nacional de feijão é bastante flutuante, em decorrência da instabilidade climática que afeta a cultura em quase todas as regiões produtoras. Entre os fatores climáticos, é possível que a deficiência hídrica seja o de fundamental importância. Assim, sugere-se que as variedades produzidas em

condições de sequeiro apresentem resistência aos estresses ambientais.

A adaptação ao estresse hídrico, entre outros fatores, pode ser dada pela densidade, profundidade e eficiência radicular (Guimarães & Zimmermann, 1985; Markhart, 1985).

As informações que relacionam manutenção da produtividade em condições de deficiência hídrica a desenvolvimento radicular são numerosas. Boyer et al. (1980) verificaram que variedades melhoradas apresentaram potenciais de água nas folhas mais altos do que variedades tradicionais, no período da tarde, em condições de deficiência hídrica. A variedade Wayne, além do potencial de água mais elevado na folha, apresentou alta densidade radicular. Segundo esses autores, o melhoramento com vistas ao aumento de produtividade levou à seleção de materiais com altos potenciais de água nas folhas, no período da tarde, em virtude, provavelmente, de estes materiais apresentarem sistemas radiculares mais desenvolvidos.

O efeito do sistema radicular sobre o estado hídrico da planta é muito mais evidente quando espécies diferentes são comparadas, como foi observado nas espécies *Phaseolus vulgaris* L. e *Phaseolus acutifolius*. Esta manteve potencial de água na folha de 0,1 a 0,3 MPa mais alto do que aquela. Considerando que a resistência estomática foi semelhante em ambas as culturas irrigadas e que as áreas foliares não diferiram até o estágio mais avançado do ciclo da cultura, os potenciais de água mais altos em *Phaseolus acutifolius* foram atribuídos a seu sistema radicular mais eficiente, não só em exploração mais profunda de água como em maior volume de solo (Markhart, 1985). A diferença entre as duas espécies de feijoeiro não está no volume total de raízes, mas na distribuição e eficácia do sistema radicular em absorver água (Markhart, 1985). Observações qualitativas indicam que as raízes do *Phaseolus acutifolius* são mais finas e ramificadas e apresentam ainda córtex mais fino, comparativamente às raízes do *Phaseolus vulgaris* L., deixando claros indícios da variabilidade genética quanto à resistência ao fluxo de água.

Reicosky et al. (1972) relataram que a capacidade de absorção radicular não é função apenas do aumento da densidade radicular. Este fator, segun-

do os autores, é afetado pela condutividade hidráulica do solo e pela idade da planta.

Este trabalho examina a influência da eficiência radicular na absorção de água, em mm<sup>3</sup> de água absorvida/cm de raízes/dia, e da densidade linear radicular, em cm de raízes/cm<sup>3</sup> de solo, na resistência do feijoeiro à seca, para servir de suporte aos programas de melhoramento genético da cultura, com vistas à obtenção de variedades para as condições de sequeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAF/EMBRAPA), Santo Antônio, GO, de coordenadas geográficas 16°28' de latitude sul, 49°17' de longitude oeste e altitude de 840 m, em Latossolo Vermelho-Escuro, distrófico, de textura argilosa.

Usaram-se, neste estudo, a variedade Carioca e as linhagens BAT 477 e RAB 96. As duas primeiras são classificadas como promissoras para as condições de deficiência hídrica (Guimarães & Zimmermann, 1985; Ibarra, 1987; White & Castillo, 1987). A linhagem RAB 96 tem apresentado boa produtividade em experimentos conduzidos na época da seca (Araújo, 1991).

Os genótipos foram mantidos sob boas condições hídricas até aproximadamente 15 dias após a emergência, quando a irrigação convencional foi substituída pela linha central de aspersores (Hanks et al., 1976), que foi mantida até o fim do ciclo da cultura. Usou-se este sistema de irrigação para que um gradiente de disponibilidade hídrica fosse introduzido nas plantas.

A linha central foi instalada ao longo de um espaço de 1m de largura, deixado no centro do experimento. Os genótipos que constituíram as parcelas foram plantados transversalmente à linha central em ambos os lados desta. As parcelas foram formadas de 15 fileiras de 15 m de comprimento, espaçadas de 0,5 m, com 10-12 plantas por metro, perfazendo uma área total de 112,5 m<sup>2</sup>.

O gradiente de umidade foi dividido em três níveis, os quais constituíram as subparcelas, com 15 fileiras de 5 m, perfazendo uma área total de 37,5 m<sup>2</sup>. A subparcela mais próxima da linha central recebeu suprimento adequado de água, ou seja, foi mantida a um potencial de água no solo superior a -0,035 MPa, a 15 cm de profundidade (Díaz-Durán & Castillo, 1983). A subparcela submetida ao déficit hídrico severo, por estar mais distante da linha central de aspersores, praticamente não recebeu água durante o período do tratamento. A subparcela submetida ao déficit hídrico moderado localizava-se entre as subparcelas

já descritas e recebeu quantidade intermediária de água.

Os experimentos foram conduzidos durante os anos de 1987 e 1988, sendo implantados, respectivamente, em 25 e 18/5, na mesma área experimental, próxima a uma barreira natural, para reduzir os efeitos do vento sobre as irrigações. Estas eram feitas ao anoitecer, durante períodos sem ventos. A pressão da água na entrada da linha central de aspersores foi mantida a 0,25 MPa. As lâminas de irrigação foram monitoradas através de pluviômetros instalados na área experimental, com o uso de dois por subparcela. As leituras foram feitas na manhã seguinte à irrigação.

A adubação utilizada foi 300 kg/ha da fórmula comercial 5-30-15, no plantio, e 100 kg/ha de sulfato de amônia, em cobertura, aplicados cerca de 15 dias após a emergência. Usaram-se os tratamentos fitossanitários necessários ao bom desenvolvimento das plantas.

A distribuição do sistema radicular no solo foi avaliada no período da floração, de 20 em 20 cm, da superfície até 120 cm de profundidade, com o uso de trados com amostradores do tipo haste, de 7,5 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. As amostras, formadas por três subamostras coletadas ao acaso nas subparcelas, após devidamente homogeneizadas, foram divididas em duas porções: uma foi descartada, para adequar o volume da amostra à condução da metodologia de avaliação; a outra foi dispersa em baldes com água. Pelo processo de suspensão/decantação repetitivas, separaram-se todas as raízes da amostra de solo. A seguir, elas foram recuperadas do sobrenadante em peneiras de 0,25 mm, e as impurezas foram eliminadas com o auxílio de pinças. Após este processo, as raízes foram avaliadas quantitativamente, pelo método de Newman (1966), para se determinar seu comprimento total na amostra de solo. Dividindo-se o comprimento radicular, em cm, pelo volume das amostras (três subamostras com 50% de descarte), em  $\text{cm}^3$ , encontrou-se a densidade linear radicular, em  $\text{cm}$  de raízes/ $\text{cm}^3$  de solo (Proffitt et al., 1985; Taylor, 1986).

A densidade linear radicular absoluta foi transformada em relativa, tomando-se, como referência, em cada camada e genótipo, o tratamento irrigado. Este procedimento visava isolar a variabilidade intra-específica do efeito do estresse hídrico, da variabilidade global presente no sistema radicular.

A eficiência radicular foi expressa em quantidade diária de água esgotada de uma determinada camada do solo, por unidade de comprimento radicular presente nessa camada. Nesta avaliação, considerou-se o esgotamento hídrico do solo entre 10 e 19/7/1988 e a densidade radicular como constante, durante o mesmo período.

A eficiência radicular foi determinada em todos os

genótipos, da superfície até 120 cm de profundidade, em dois tratamentos, estresse moderado e estresse severo. Esta variável foi determinada apenas em 1988, pois, em 1987, os dados indicaram que o sistema radicular cresceu além dos 120 cm de profundidade, ultrapassando as camadas do solo em que as raízes e a umidade do solo eram monitoradas.

Durante o período, aplicaram-se 9,2 e 0,5 mm de água, respectivamente, nos tratamentos com estresse moderado e estresse severo. Supôs-se que essas lâminas de água tenham sido absorvidas pela camada superficial, de 0-20 cm. A aplicação de 27,4 mm de água no tratamento sem estresse hídrico impossibilitou o cálculo da eficiência radicular nesse tratamento, pois não se pode aferir, como nos outros tratamentos hídricos, se esta lâmina de água fora absorvida pela camada superficial, nem se pôde prever a distribuição dessa lâmina de água no perfil do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Densidade linear radicular

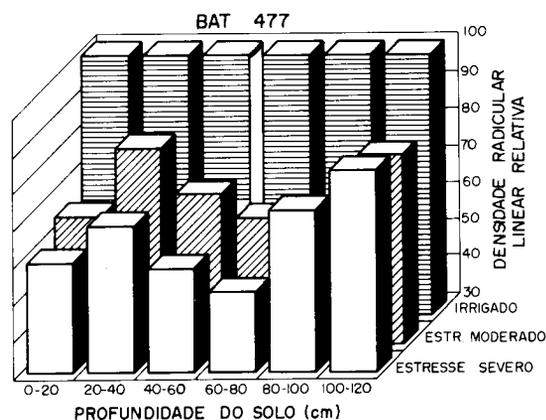
Os dados médios dos dois experimentos, conduzidos em 1987 e 1988, são apresentados na Tabela 1. Eles indicam que houve redução do sistema radicular com a intensificação do estresse hídrico, independentemente do genótipo, o que confirma as observações de Newell & Wilhelm (1987).

Verificou-se, também, que houve variabilidade entre os genótipos na distribuição vertical do sistema radicular (Figs. 1, 2 e 3). A linhagem BAT 477 e a variedade Carioca apresentaram menor densidade radicular relativa na camada superficial de 0-20 cm de profundidade, quando submetidas ao estresse hídrico. No entanto, ocorreu aumento da densidade relativa na profundidade de 20-40 cm, havendo reduções nas camadas subsequentes, registrando, novamente, alta densidade relativa nas camadas profundas. Vale mencionar que a 'Carioca' apresentou alta densidade radicular relativa nas camadas mais profundas, de 80-100 e 100-120 cm, quando submetida ao estresse moderado (Fig. 2), característica também observada por Sharp & Davies (1982), na cultura do milho. A 'BAT 477' destacou-se da 'Carioca' por apresentar maiores densidades radiculares relativas em todas as camadas, em condições de estresse severo (Fig. 1). A linhagem RAB 96 apre-

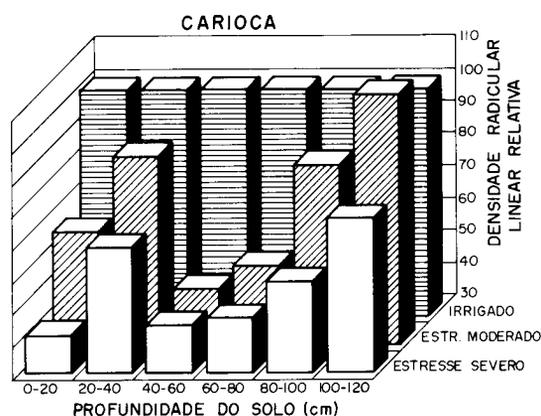
**TABELA 1. Densidade linear radicular média (1987 e 1988), em cm/cm<sup>3</sup>, da superfície até 120 cm de profundidade, dos genótipos BAT 477, Carioca e RAB 96, nos três níveis hídricos: irrigado (3), estresse moderado (2) e estresse severo (1).**

Prof. (cm)	BAT 477			Carioca			RAB 96		
	3	2	1	3	2	1	3	2	1
0-20	2,94a	1,89b	1,75b	3,59a	2,33b	1,50c	3,05a	2,62b	2,03c
20-40	1,05a	0,87a	0,73b	0,94a	0,83ab	0,65b	1,26a	0,88b	0,60c
40-60	0,74a	0,52b	0,43b	0,78a	0,37b	0,35b	1,02a	0,48b	0,31b
60-80	0,58a	0,37b	0,30b	0,64a	0,35b	0,30b	0,73a	0,39b	0,28b
80-100	0,38a	0,20a	0,28a	0,41a	0,35a	0,24a	0,44a	0,31a	0,27a
100-120	0,26a	0,21a	0,22a	0,27a	0,29a	0,21a	0,39a	0,23a	0,21a

<sup>1</sup> Médias dentro de cada genótipo, comparadas na horizontal, seguidas de mesma letra não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade



**FIG. 1. Densidade radicular linear relativa da linhagem BAT 477, submetida a três tratamentos hídricos: irrigação normal, estresse moderado e estresse severo.**



**FIG. 2. Densidade radicular linear relativa da variedade Carioca, submetida a três tratamentos hídricos: irrigação normal, estresse moderado e estresse severo.**

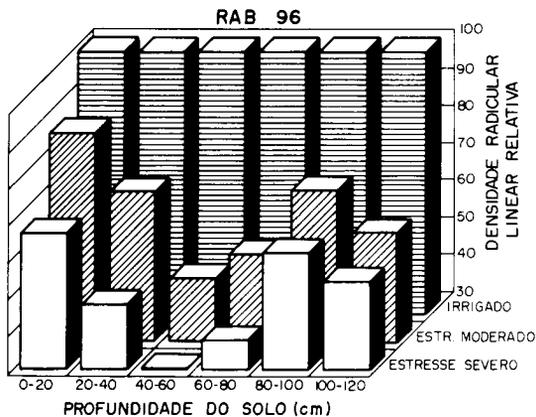
sentou alta densidade radicular relativa na camada superficial, onde há menor disponibilidade de água, o que implicou gasto desnecessário de carboidratos, em detrimento do crescimento radicular nas camadas mais profundas, onde existe maior disponibilidade de água (Fig. 3).

É provável que a densidade radicular superficial assumira maior importância na recuperação do potencial da água na planta, sob condições hídricas adequadas no solo, durante os períodos de cobertura do sol por nuvens. É provável, também, que a eficiência radicular assumira maior importância quando se tratar de deficiência hídrica no solo, pois a

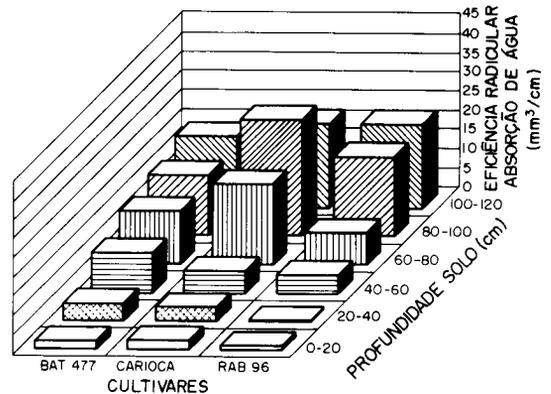
eficiência é maior nas raízes mais profundas (Figs. 4 e 5), justamente onde se encontra maior quantidade de água durante os períodos de deficiência de precipitação pluvial.

#### **Eficiência radicular na absorção de água**

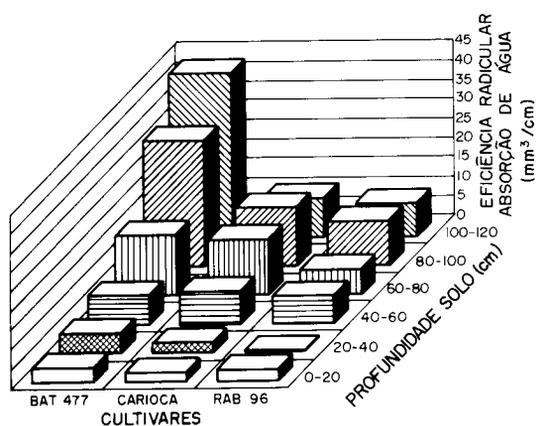
A eficiência radicular na absorção de água aumenta com a profundidade do solo, independentemente do nível de deficiência hídrica ou do genótipo (Figs. 4 e 5). Isto se deve, provavelmente, à maior concentração de raízes novas nas camadas mais úmidas e profundas (Stone et al., 1976). A absorção



**FIG. 3.** Densidade radicular linear relativa da linhagem RAB 96, submetida a três tratamentos hídricos: irrigação normal, estresse moderado e estresse severo.



**FIG. 5.** Eficiência radicular na absorção de água dos genótipos BAT 477, Carioca e RAB 96, submetidos ao estresse hídrico severo.



**FIG. 4.** Eficiência radicular na absorção de água dos genótipos BAT 477, Carioca e RAB 96, submetidos ao estresse hídrico moderado.

de água que ocorre por intermédio das raízes velhas é vagarosa, mesmo em boas condições hídricas do solo, em decorrência da redução da condutividade hidráulica do sistema raízes-parte aérea, por causa da idade da planta (Jung & Taylor, 1984). Follett et al. (1974) supõem que a área superficial e a atividade fisiológica sejam altas nas camadas mais profundas, onde a quantidade de raízes é menor.

Verificou-se, também, que a eficiência radicular foi mais elevada na 'BAT 477' e na 'Carioca' que na

'RAB 96', independentemente do estresse hídrico (Figs. 4 e 5). Houve tendência de a variedade Carioca apresentar valores mais altos nas camadas de 60-80 e 80-100 cm de profundidade, em condições de estresse severo, enquanto a linhagem BAT 477 apresentou valores mais altos nas camadas intermediárias.

A linhagem RAB 96, sob estresse severo, apresentou eficiência radicular média de 0,76 mm³/cm/dia na camada de 0-40 cm de profundidade, onde se concentravam 71% do seu sistema radicular (Tabela 1). Os genótipos BAT 477 e Carioca apresentaram eficiência radicular média de 3,32 e 3,06 mm³/cm/dia nessa mesma camada, onde concentrava-se, respectivamente, 67 e 66% dos seus sistemas radiculares.

Houve tendência de a eficiência média radicular da camada de 0-40 cm, a mais esgotada hidricamente pela maior concentração radicular, ser menor no tratamento com estresse severo do que no com estresse moderado, exceto para a variedade Carioca, que apresentou eficiências radiculares semelhantes. A linhagem BAT 477 apresentou eficiência radicular de 3,32 e 4,57 mm³/cm/dia, e a linhagem RAB 96, de 0,76 e 1,90 mm³/cm/dia, respectivamente, em tratamentos com estresse severo e estresse moderado, enquanto a variedade Carioca apresentou, com os

mesmos tratamentos, eficiência radicular de 3,06 e 2,53 mm<sup>3</sup>/cm/dia. Sob estresse moderado, a eficiência radicular também se manteve mais elevada na 'BAT 477' e na 'Carioca', especialmente na primeira, nas camadas mais profundas do solo. Essa diferença, em favor da linhagem BAT 477, foi de 409%, em relação à 'RAB 96', e de 316%, em relação à variedade Carioca, na camada de 100-120 cm de profundidade.

Os dados apresentados concordam com a literatura ao registrar aumento da eficiência radicular na absorção de água com o aumento da disponibilidade hídrica no solo (Allmaras et al., 1975; Stone et al., 1976). Os dados, porém, não apresentam variabilidade como os apresentados por Reicosky et al. (1972). Esses autores observaram valores de 0,4; 430 e 23 mm<sup>3</sup>/cm/dia, respectivamente, nas camadas de 0-10, 50-60 e 80-90 cm de profundidade.

Reicosky et al. (1972) presumem que a redução da eficiência radicular na absorção da água nas camadas superficiais e mais secas relaciona-se com a condutividade hidráulica do solo e não com as raízes. Esta observação deve ser aplicada às condições de deficiência hídrica no solo que limitem a expressão da variabilidade genética desta característica. Por outro lado, é exatamente a deficiência hídrica que inibe o desenvolvimento das raízes nodais do trigo, aumentando a resistência do sistema radicular e tornando-o capaz de escalonar o uso da água disponível no solo, durante o ciclo da cultura (Richards & Passioura, 1981). As camadas abaixo de 20 cm de profundidade certamente não apresentaram deficiência hídrica extrema e, por conseguinte, permitiram a manifestação mais evidente da variabilidade genética da eficiência radicular na absorção de água (Figs. 4 e 5). Os dados indicam que as plantas com resistência à seca possuem profundo e eficiente sistema radicular, o qual pode ser definido, segundo Berengena et al. (1985), pelo volume de solo explorado pelas raízes, pela distribuição e densidade das raízes por zona do perfil do solo, pela resistência radicular radial e axial ao fluxo de água e pela resistência ao fluxo hídrico no xilema do caule.

## CONCLUSÕES

1. Houve redução do sistema radicular com a intensificação do estresse hídrico em todos os genótipos estudados.

2. A linhagem BAT 477 e a variedade Carioca apresentaram menor densidade radicular linear relativa na camada superficial e maior nas camadas mais profundas, quando comparadas com a linhagem RAB 96.

3. A eficiência radicular na absorção de água aumentou com a profundidade do solo, independentemente do tratamento com estresse hídrico moderado ou estresse hídrico severo, ou do genótipo estudado.

4. Houve tendência de a eficiência radicular na camada de 0-40 cm, mais esgotada hidricamente pela maior concentração de raízes, ser inferior no tratamento com estresse hídrico severo em comparação com o estresse hídrico moderado, exceto para a variedade Carioca.

5. A linhagem BAT 477 e a variedade Carioca apresentaram maior eficiência radicular na absorção de água, quando comparadas com a linhagem RAB 96, independentemente do nível de estresse hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ALLMARAS, R.R.; NELSON, W.W.; VOORHEES, W. B. Soybean and corn rooting in Southwestern Minnesota. II. Root distributions and related water inflow. *Soil Science Society of America, Proceedings*, Madison, v. 39, p. 771 - 777, 1975.
- ARAÚJO, G.A. de A. *Avaliação de cultivares de feijão à diferentes regiões do Estado de Minas Gerais*. Viçosa: EPAMIG, 1991. 13p. Relatório.
- BERENGENA, J.; GIMENEZ, C.; ABA, A.; FERERES, E. *The role of the root system in the drought resistance of sunflower*. Paris: Institut National de la Recherche Agronomique, 1985. p. 385-395.
- BOYER, J.S.; JOHNSON, R.R.; SAUPE, S.G. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. *Agronomy Journal*, Madison, v.72, p.981-986, 1980.
- DIÁZ-DURÁN, A.; CASTILLO, J. Cuándo conviene regar el frijol. *Hojas de Frijol para América Latina*, Cali, v.5, n.1, p.1-2, 1983.

- FOLLETT, R.F.; ALLMARAS, R.R.; REICHMAN, G.A. Distribution of corn roots in sandy soil with a declining water table. **Agronomy Journal**, Madison, v.66, p.288-292, 1974.
- GUIMARÃES, C.M.; ZIMMERMANN, M.J. Deficiência hídrica em feijão. In: REUNION DE TRABAJO SOBRE MEJORAMIENTO EN FRIJOL EN BRASIL CON ENFASIS EN TOLERANCIA A SEQUIA, 1985, Cali. **Anais**. Cali: CIAT, 1985. p. 15-28.
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.426-429, 1976.
- IBARRA, F. Efectos de sequía en características morfofisiológicas en genotipos de frijol en dos localidades de Durango, Mexico. In: INTERNATIONAL BEAN DROUGHT WORKSHOP, 1987, Cali, Colombia. **Proceedings**. Cali: CIAT, 1987. p.4-42.
- JUNG, Y.S.; TAYLOR, H.M. Differences in water uptake rates of soybean roots associated with time and depth. **Soil Science**, Baltimore, v.137, n.5, p.341-350, 1984.
- MARKHART, A.H. Comparative water relations of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus acutifolius* Gray. **Plant Physiology**, Rockville, v.77, p.113-117, 1985.
- NEWELL, R.L.; WILHELM, W.W. Conservation tillage and irrigation effects on corn root development. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.160-165, 1987.
- NEWMAN, E.I. A method of estimating the total length of root in a sample. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v.3, p.139-145, 1966.
- PROFFITT, A.P.B.; BERLINER, P.B.; OOSTERHUIS, D.M. A comparative study of root distribution and water extraction efficiency by wheat grown under high and low-frequency irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, n.5, p.655-662, 1985.
- REICOSKY, D.C.; MILLINGTON, R.J.; KLUTE, A.; PETERS, D.B. Patterns of uptake and root distribution of soybean (*Glycine max* L.) in the presence of a water table. **Agronomy Journal**, Madison, v.64, p.292-297, 1972.
- RICHARDS, R.A.; PASSIOURA, J.B. Seminal root morphology and water use of wheat. I. Environmental effects. **Crop Science**, Madison, v.21, p.249-252, 1981.
- SHARP, R.E.; DAVIES, W.J. Root distribution and water uptake by water stressed maize. **Plant Physiology**, Rockville, v.69, p.15, 1982.
- STONE, L.R.; TEARE, I.D.; NICKEL, C.D.; MAYAKI, W.C. Soybean root development and soil water depletion. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.677-680, 1976.
- TAYLOR, H.M. Methods of studying root systems in the field. **HortScience**, Alexandria, v.21. n.4, p.952-956, 1986.
- WHITE, J.W.; CASTILLO, J.A. Studies at CIAT on mechanisms of drought tolerance in beans. In: INTERNATIONAL BEAN DROUGHT WORKSHOP, 1987. Cali, Colombia. **Proceedings**. Cali: CIAT, 1987. p.146-164.