

## Arquitetura e pilosidade da raiz de soja em casa de vegetação



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Soja  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 14***

## **Arquitetura e pilosidade da raiz de soja em casa de vegetação**

*Sergio Luiz Gonçalves  
Alexandre José Cattelan  
Alexandre Lima Nepomuceno  
Wellington Bruno da Silva Nascimento*

Embrapa Soja  
Londrina, PR  
2018

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Soja**

Rod. Carlos João Strass, s/n, Acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta  
Londrina, PR, Brasil  
CEP 86001-970  
Caixa Postal 231  
Fone: (43) 3371 6000  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

**Comitê Local de Publicações**

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretária-Executiva: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudine Dinali Santos Seixas, Fernando Augusto Henning, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliane Márcia Mertz-Henning, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier e Osmar Conte*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall' Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica e capa: *Marisa Yuri Horikawa*

Foto da capa: *Sergio Luiz Gonçalves*

**1ª edição**

PDF digitalizado (2018).

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Soja**

---

Arquitetura e pilosidade da raiz de soja em casa de vegetação

[recurso eletrônico]: / Sergio Luiz Gonçalves... [et al.] - Londrina: Embrapa Soja, 2018.

24 p. : il. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN 2178-1680 ; n.14)

1. Soja-Raiz. 2. Pelo radicular. Sistema radicular. 3. Raiz. I. Gonçalves, Sergio Luiz. II. Cattelan, Alexandre José. III. Nepomuceno, Alexandre Lima. IV. Nascimento, Wellington Bruno da Silva. V. Título. VI. Série.

---

CDD 575.54 (21.ed.)

© Embrapa 2018

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract.....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	11
Referências .....	20

# Arquitetura e pilosidade da raiz de soja em casa de vegetação

---

*Sergio Luiz Gonçalves<sup>1</sup>, Alexandre José Cattelan<sup>1</sup>, Alexandre Lima Nepomuceno<sup>1</sup>, Wellington Bruno da Silva Nascimento<sup>2</sup>*

## Resumo

O presente estudo aborda os temas arquitetura e pilosidade da raiz de soja em casa de vegetação. Os ângulos formados entre a raiz principal e as raízes laterais são indicadores da tendência de a raiz ser mais superficial ou mais profunda, sendo importantes em estudos sobre tolerância à seca. O presente trabalho avaliou tais ângulos, o diâmetro da raiz principal no ponto inicial de formação das raízes laterais, o comprimento máximo do sistema radicular e uma avaliação visual da densidade de pelos nas raízes laterais, para 20 genótipos de soja. Os resultados mostraram que existe diferença significativa na angulação e nos diâmetros estudados das raízes entre os genótipos estudados, sendo formados um grupo com tendência de ter ângulos e diâmetros maiores e outro grupo com tendências de ter ângulos mais fechados, diâmetros menores e raízes mais profundas. A pilosidade mostrou-se variável em ambos os grupos.

---

<sup>1</sup> Pesquisador, Dr., Embrapa Soja, Londrina, PR

<sup>2</sup> Estagiário de Agronomia, Universidade Norte do Paraná (UNOPAR), Londrina, PR

## **Abstract**

The present study addresses the themes of architecture and hairiness of the soybean root under greenhouse conditions. The angles formed between the main root and the lateral roots are an indicator of the tendency of the root to be more superficial or deeper, being important in studies on drought tolerance. The present study evaluated the angles, the diameter of the main root at the initial point of formation of the lateral roots, maximum root length, and visual evaluation of hair density in the lateral roots for 20 soybean genotypes. The results showed that there is a significant difference in the angulation and in the diameters studied of the roots among the studied genotypes, being formed one group with a tendency to have larger angles and diameters and another group with tendencies to have more closed angles, smaller diameters and deeper roots. Hairiness was variable in both groups.

## Introdução

As raízes das plantas, por situarem-se abaixo da superfície do solo, têm sido relativamente pouco estudadas (Fenta et al., 2014). Porém, a eficiência da exploração do solo é função da arquitetura do sistema radicular, uma vez que a absorção de água e nutrientes e a adaptação das plantas a um ambiente dependem da distribuição da raiz no solo (Fitter et al., 1991; Atta et al., 2013). O termo arquitetura, em raízes de plantas, refere-se à configuração espacial, enfatizando a geometria e os ângulos formados entre os diferentes tipos de raízes (Lynch, 1995), havendo ideótipos para elas (Lynch, 2013; White et al., 2013), existindo aquelas com propensão a serem mais superficiais ou mais profundas. Estes traços de raízes apresentam significativa variabilidade genética, com diferenças na angulação entre a raiz principal e as raízes laterais. O mesmo pode-se dizer com relação à pilosidade. A arquitetura da raiz está diretamente relacionada com a eficiência na absorção de nutrientes, como por exemplo, o fósforo, conforme demonstraram Gahoonia et al. (2001), para cevada; Jing et al. (2004), para soja; Ge et al. (2000) e Miguel et al. (2013), para feijão. Outro ponto importante é que a arquitetura da raiz também tem forte correlação com a sua profundidade, sendo que vários trabalhos demonstraram a importância de a raiz ser profunda, por aumentar as chances de sobrevivência na seca (Passioura, 1983; Ho et al., 2005; Lopes; Reynolds, 2010; Uga et al.,

2013). Como exemplo desta importância, pode-se destacar a afirmativa de Manschadi et al. (2006), de que cada mm adicional da raiz em profundidade permite que a cultura do trigo absorva uma quantidade adicional de água que possibilita a produção de 55 kg/ha adicionais.

Os pelos radiculares, por sua vez, são considerados detalhes estruturais, não fazendo parte da arquitetura (Lynch, 1995). Eles representam apenas uma parte desprezível da massa das raízes, porém aumentam grandemente a área de absorção de água e nutrientes, notadamente o fósforo, que é um recurso natural não renovável. Segundo Segal et al. (2008), os pelos radiculares constituem-se numa alternativa mais positiva para a planta do que um comprimento maior ou um diâmetro maior da raiz. Eles concluíram que, em solo arenoso, pelos radiculares de 0,5 e de 1,0 mm de comprimento absorvem 30 e 55% mais água, respectivamente, quando compararam uma cultivar de cevada rica em pelos radiculares com outra sem pelos.

Apesar da importância, a dificuldade natural em estudos de raízes de plantas é significativa, uma vez que em trabalhos com os mais diferentes objetivos, sem quebrar raízes e sem perder raízes laterais é um desafio ainda a ser vencido pela ciência agrônômica, principalmente em condições de campo (Gregory, 2006). Ensaio em casa de vegetação, com a utilização de vasos, areia e vermiculita, apesar de não representarem as condições exatas do ambiente natural do campo, conseguem manter melhor a integridade das raízes e produzir bons resultados na comparação de diferentes genótipos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar a arquitetura e a pilosidade das raízes de 20 genótipos de soja, em vasos de casa de vegetação, pela determinação da angulação entre a raiz principal e as laterais, o diâmetro da região inicial da raiz principal, o comprimento máximo que a raiz pode ter e a sua pilosidade.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na safra de 2016/2017, em casa de vegetação, na Embrapa Soja (23°11'37" S, 51°11'03" O), localizada em Londrina, PR, Brasil. A instalação do ensaio ocorreu em novembro de 2016 e foi conduzido até os 30 dias após a emergência, momento em que as plantas estavam nos estádios V4/V5, quando foram feitas as coletas de raízes para avaliações. Para a semeadura foram preparados vasos de plástico com 3 kg de substrato cada. Estes foram preparados uma semana antes da semeadura para a estabilização do substrato, que foi composto de 1/3 de vermiculita, 1/3 de areia lavada e 1/3 de Latossolo Roxo. Na semeadura foram utilizadas 4 sementes por vaso.

O ensaio constituiu-se de 20 tratamentos, com cinco repetições para cada um dos seguintes genótipos: BRS 184, BRS 284, EMBRAPA 48, BRS 1001IPRO, BRS 1010IPRO, PI 416937 (Kuwazu), PI 471938, JACKSON, WILLIAMS 82, FORREST, BRB14 207526, BRB14 207527, DUMBAR, GOLS (35S:AtGols2), BMX DESAFIO RR, BRS 316RR, MG/BR 46 (Conquista), BRS 7380RR, BRS 397CV e BRS 8482CV.

Logo após a emergência, as plântulas foram desbastadas, deixando-se uma por vaso. Durante 30 dias após a emergência, os vasos foram irrigados automaticamente, pelo sistema de irrigação da casa de vegetação.

Após esse período as plantas foram colhidas para amostragens das raízes. Estas foram separadas da parte aérea, lavadas cuidadosamente, evitando-se, ao máximo, quebras na sua estrutura. Em seguida foram identificadas e fotografadas em detalhes para a obtenção de dados de ângulos entre raízes, diâmetro da raiz principal, na região próxima ao hipocótilo e do comprimento do sistema radicular. O intervalo para a determinação dos ângulos entre as raízes principal e as laterais ficou estabelecido como sendo do início da raiz principal e surgimento das primeiras laterais, logo abaixo do nível do solo, ponto exato de onde foram determinados os diâmetros, até o momento em que a raiz principal vai se afunilando e tem o seu diâmetro significativamente diminuído.

Foi retirada uma amostra de parte do sistema radicular, constituída basicamente de raízes laterais e guardada em álcool e água, para posterior avaliação da densidade de pelos, em laboratório. Assim, foram capturadas cinco imagens de cada raiz ainda fresca, com identificação do tratamento, com uma régua graduada em centímetros (servindo de escala). As imagens foram avaliadas com o software Micro-measure, usado para medir os ângulos formados entre as raízes, o diâmetro da raiz principal e do comprimento do sistema radicular. Os ângulos são obtidos diretamente, enquanto que para medidas de comprimento, o software quantifica o número de pixels existentes numa dada medida feita na imagem e a transforma na unidade correspondente, por exemplo, centímetros ou milímetros.

As amostras de raízes coletadas foram analisadas visualmente, em laboratório, para a determinação da densidade de pelos nas raízes laterais de cada genótipo. Nesta análise, as raízes foram mergulhadas em água com o corante azul de toluidina, para melhor visualização dos pelos e analisadas num microscópio digital do tipo estereoscópio. Na determinação da densidade dos pelos, foi usada uma escala de notas, com três níveis (tipo alto, médio e baixo), onde foi dada a nota 3 quando o genótipo apresentava alta densidade; nota 2 para uma densidade apenas média e nota 1 para baixa densidade (Marques Júnior et al., 1997; Gonçalves et al., 2016).

Por fim, as variáveis relativas à arquitetura (ângulos, diâmetro e comprimento máximo de raízes) foram usadas para a realização de uma análise estatística de agrupamento. Separadamente foram tabulados os dados de densidade visual de pelos nas raízes laterais. A análise de agrupamento ou de “clusters” tem a finalidade de evidenciar relações multidimensionais entre um conjunto de observações, em um gráfico denominado dendograma ou fenograma (Johnson; Wichern, 1988; Freitas, 1998; Gonçalves, 2004). A medida de similaridade utilizada foi a distância euclidiana e o dendograma construído pelo método de Ward.

## Resultados e Discussão

O segmento da raiz principal onde foram coletados os dados de ângulos e diâmetros, como já foi enfatizado, ficou estabelecido como sendo do início da raiz principal e surgimento das primeiras laterais até o momento em que a raiz principal se afunila, tendo o seu diâmetro significativamente diminuído, não sendo, portanto, a extensão total da mesma. Neste ensaio, o referido segmento teve, em média, de 5 a 7 cm, sendo que neste intervalo, os genótipos estudados tiveram uma média aproximada de 8 a 16 raízes laterais. A Tabela 1 sintetiza os resultados obtidos no ensaio, sendo apresentados, em separado, os dados de cada variável estudada para a arquitetura (ângulos entre as raízes principal e laterais; diâmetro da raiz principal, comprimento máximo do sistema radicular, obtido em pelo menos uma planta) e de pilosidade (densidade de pelos radiculares nas raízes laterais).

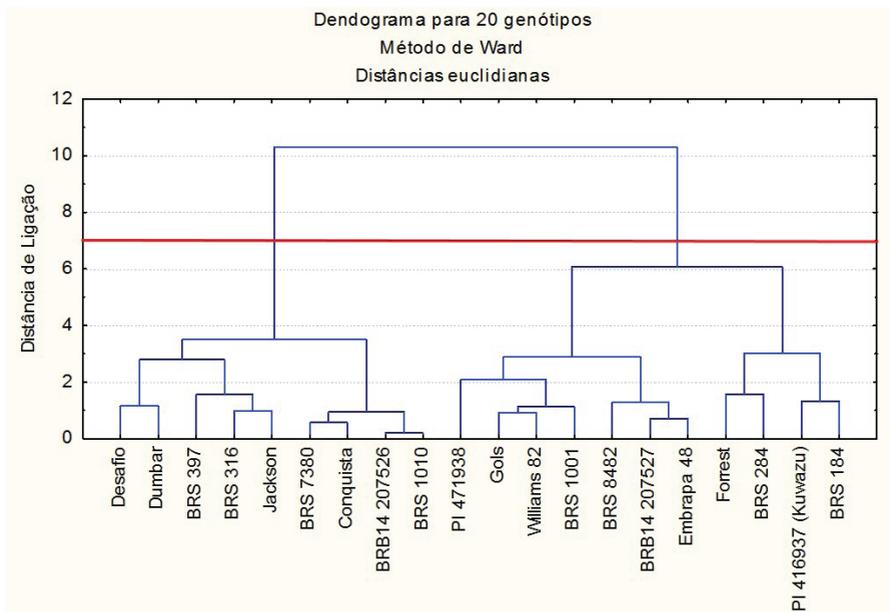
Com os dados de arquitetura, foi realizada a análise de agrupamento para a diferenciação de genótipos e formação de grupos. Estes foram tabulados com os dados apresentados na Tabela 1 correspondentes aos ângulos entre a raiz principal e as laterais, o diâmetro da raiz principal no ponto inicial das raízes laterais e o comprimento máximo da raiz. Em complementação, os dados de pilosidade foram analisados separadamente para cada grupo formado. A Figura 1 representa a análise de agrupamento feita pelo método de Ward, para os 20 genótipos de soja.

Analisando-se o dendograma da Figura 1, na distância de ligação 7,0, foi possível formar dois diferentes grupos. O grupo 1 ficou formado pelos genótipos Desafio, Dumbar, BRS 397, BRS 316, Jackson, BRS 7380, Conquista, BRB14 207526 e BRS 1010. Analisando-se as três diferentes variáveis, dentro do grupo, foi possível observar que a média dos ângulos medidos ficou em  $61,49^\circ$ , o diâmetro ao redor de 0,51 cm e o comprimento máximo das raízes (média de todos os genótipos) de 65,39 cm. Neste quesito, a cultivar Conquista mostrou a raiz mais longa, com 78,29 cm. O grupo 2, por sua vez, foi formado pelos genótipos PI 471938, Gols, Williams 82, BRS 1001, BRS 8482, BRB14 207527, Embrapa 48, Forrest, BRS 284, PI 416937 (Kuwazu) e BRS 184.

**Tabela 1.** Ângulos médios, em graus, entre a raiz principal e as raízes laterais; diâmetro da raiz principal; comprimento máximo do sistema radicular e densidade visual de pelos radiculares nas raízes laterais, para 20 genótipos de soja, cultivados em vasos, em casa de vegetação, entre os estádios vegetativo e reprodutivo, no ano de 2016, em Londrina, PR.

Genótipo	Ângulos (Graus)*	Diâmetro (cm)*	Comprimento máximo do sistema radicular (cm)	Densidade de pelos nas raízes laterais (escala de notas)*
BRS 184	43,18	0,43	82,64	1,38
BRS 284	53,60	0,44	56,61	1,63
EMBRAPA 48	52,48	0,50	78,75	2,00
BRS 1001	55,44	0,48	103,62	1,63
BRS 1010	60,05	0,50	67,97	1,75
PI 416937 (Kuwazu)	41,33	0,46	68,15	2,25
PI 471938	47,50	0,50	106,18	1,88
JACKSON	60,59	0,52	52,66	2,50
WILLIAMS 82	60,82	0,49	92,81	2,75
BRB14 207526	61,53	0,50	67,69	1,50
BRB14 207527	55,97	0,49	72,07	2,38
DUMBAR	65,60	0,50	48,84	2,13
GOLS	54,54	0,48	88,03	1,63
FORREST	58,85	0,45	77,52	2,00
DESAFIO	69,46	0,52	62,03	2,00
BRS 316	56,00	0,54	59,64	1,88
MG/BR 46 (Conquista)	64,27	0,49	78,29	2,17
BRS 7380	60,57	0,50	75,19	1,00
BRS 397	55,36	0,53	76,24	1,83
BRS 8482	46,83	0,50	81,84	2,13

\* Média de 5 repetições



**Figura 1.** Dendrograma formado com dados de arquitetura de raízes de soja, indicando a formação de dois grupos delineados pela linha de corte na distância de ligação 7,0.

Analisando-se as três diferentes variáveis, dentro do grupo, foi possível observar que a média dos ângulos medidos ficou em  $51,86^\circ$ , ou seja, em torno de 10 graus a menos que o grupo anterior, o diâmetro ao redor de 0,47 cm, também menor que o grupo anterior e comprimento máximo das raízes foi mais longo, com uma média de todos os genótipos de 82,56 cm. Neste quesito, alguns genótipos mostraram raízes bastante longas, sendo as mais longas: PI 471938, com 106,18 cm; BRS 1001, com 103,62 cm; Williams 82, com 92,81 cm e Gols, com 88,03 cm.

Os dados de densidade de pelos radiculares nas raízes laterais mostraram que os genótipos dos dois grupos apresentaram pilosidade variada, independentemente da arquitetura, mostrando quase a metade deles (9) pilosidade de média a baixa, com variações (Gols, BRS 1001, BRS 284, BRB14 207526, BRS 184, BRS 397, BRS 316, PI 471938 e BRS 1010) e um genótipo (BRS 7380) com pilosidade baixa. Por outro lado, Desafio, Forrest e Embrapa 48 mostraram pilosidade média, enquanto que PI 416937 (Kuwazu), Dumbar, BRS 8482, Conquista, Jackson,

BRB14 207527 e Williams 82 mostraram pilosidade de média a alta, destacando-se neste quesito Williams 82 e Jackson.

Alguns trabalhos clássicos descreveram algumas cultivares de soja, em condições de campo, como os de Raper e Barber (1970) e Mitchell e Russel (1971), demonstrando que, no sistema radicular da soja, existe uma raiz principal (“taproot”) e um conjunto de raízes laterais. Carlson (1973) descreveu que a raiz principal desenvolve-se aproximadamente até 15 cm de profundidade, quando o seu diâmetro passa a ser tão fino quanto aqueles das raízes laterais. As raízes laterais, por sua vez, originam-se entre 10 a 15 cm da raiz principal, crescem horizontalmente e aos poucos vão se inclinando em sentido da profundidade do solo e ao final, atingem profundidades maiores que a “taproot”, sendo aqui, importante a angulação inicial entre esses dois tipos de raízes. Raper e Barber (1970), estudando 26 cultivares de soja, fizeram a descrição das mais discrepantes: as cultivares Aoda e a Harosoy 63. Concluíram que a cultivar Harosoy 63 tinha uma raiz com grande superfície de absorção, devido a maiores comprimentos de raízes com diâmetros menores, chegando o comprimento do seu sistema radicular a ser uma vez e meia mais longo que o de Aoda.

Considerações sobre os ângulos: A angulação obtida entre as raízes laterais e a raiz principal é um indicativo que mostra a tendência da profundidade da raiz. Em soja, um dos poucos trabalhos encontrados é o de Fenta et al. (2014), que foi realizado em condições de campo e considerou a existência de diferenças na angulação dos genótipos. Outro trabalho, também realizado no campo, é o de Gonçalves et al. (2017), que estudaram cinco genótipos, com e sem irrigação, e concluíram que existem diferenças genotípicas na angulação das raízes, independente de estresse hídrico ou não. Além disso, concluíram que o estresse hídrico no estágio vegetativo causou uma alteração significativa nos ângulos das raízes dos genótipos, tornando-os mais fechados, indicando maior tendência à profundidade. Neste trabalho, de modo geral, os genótipos do grupo 1 mostraram uma angulação maior que os do grupo 2, tendendo a ter raízes mais superficiais que os genótipos do grupo 2 (Figura 2).

Foto: Sergio Luiz Gonçalves



**Figura 2.** Angulação mais aberta na cultivar Desafio, à esquerda, em comparação com o genótipo PI 416937 (Kuwazu), à direita.

Considerações sobre o diâmetro da raiz principal: Poucos trabalhos são encontrados enfatizando o diâmetro no ponto inicial da raiz principal, onde se iniciam as raízes laterais, como foi o caso deste trabalho. Materechera et al. (1991), estudando a resistência de um solo arenoso, rico em sílica, à penetração das raízes de 22 diferentes espécies, em condições controladas por 10 dias, concluíram que a resistência mecânica do solo reduziu o alongamento das raízes de todas as espécies de plantas em mais de 90% e provocou o aumento dos diâmetros das raízes em comparação com as plantas cultivadas no controle, em vermiculita. Alguns trabalhos enfatizaram a necessidade de o diâmetro da ponta das raízes ser maior para melhor penetração em solos que dificultam a penetração e que, em determinadas espécies, o diâmetro da raiz, ao redor da extremidade, aumenta em função da dureza do solo (Taylor; Gardner, 1960; Lynch et al., 2014). Estes últimos autores enfatizaram que os pelos radiculares ajudam as raízes a penetrar no solo. Dittmer (1940) detalhou o sistema radicular da soja, chegando a uma média geral para o diâmetro da raiz principal de 2,5 mm. Provavelmente esses valores tenham incluído todas as medições feitas na “taproot”. No presente trabalho, o diâmetro foi determinado apenas

na parte inicial da “taproot”, onde surgem as primeiras raízes laterais, tendo sido encontrados valores médios, entre os genótipos estudados, variando de 0,43 a 0,53 cm (Tabela 1), sendo que os diâmetros dos genótipos do grupo 1 foram maiores que os do grupo 2.

Considerações sobre a profundidade da raiz: Com relação à profundidade da raiz, um dos trabalhos clássicos é o de Dittmer (1937) que, estudando cevada, fez as determinações exatas de todos os detalhes da raiz, incluindo todos os comprimentos (das raízes principais até as raízes quaternárias) e a presença de pelos radiculares, num trabalho extremamente meticuloso. A determinação do comprimento da raiz é, sem dúvida, um ponto crítico nos estudos de raízes pela imensa dificuldade na sua determinação ou estimativa. Sobre isto, Ryser (2006) fez uma reflexão que chamou de “os mistérios do comprimento da raiz”, que parece muito atual. Ele enfatizou que, desde Dittmer (1937), muito se avançou nesse campo, porém os mistérios sempre existiram e sempre existirão em função de inúmeros resultados de pesquisa frequentemente contraditórios. Isto provavelmente ocorre porque, em muitos estudos, as variáveis são consideradas isoladamente, mesmo havendo outros fatores ambientais, como por exemplo, deficiência hídrica, compactação do solo e outros, que podem influir nos resultados. Além disso, a realização de trabalhos em diferentes países, diferentes climas e solos contribuem para o aumento das variações de resultados, porque na natureza e mesmo em condições experimentais, as plantas estão expostas a múltiplos estresses e suas interações. Assim há trabalhos afirmando que condições de deficiência hídrica levam a um comprimento maior de raiz (Ryser; Eek, 2000; Craine et al., 2001) e outros afirmando que o aumento da nutrição da planta também leva a um maior crescimento da raiz (Yano; Kume, 2005). Hoogenboom et al. (1987), estudando os efeitos da seca no desenvolvimento da raiz de soja, comparando campos irrigados com não irrigados, concluíram que a deficiência hídrica proporcionou um desenvolvimento maior das raízes e que o maior crescimento da raiz ocorreu nos momentos finais dos estádios vegetativos e início do reprodutivo. Gonçalves et al. (2017), em estudo semelhante com a cultura da soja no campo, também concluíram que

o estresse hídrico no estágio vegetativo provocou uma mudança nos ângulos entre a raiz principal e as laterais, tornando-os mais fechados e, portanto, mais propícios ao aprofundamento. No entanto, Mayaki et al. (1976), também estudando a cultura da soja, comparando áreas irrigadas e não irrigadas, fizeram uma correlação entre o comprimento da raiz e o desenvolvimento da parte aérea, porém não encontraram diferenças no desenvolvimento da raiz, que atingiu 160 cm, nos plots irrigados e também nos não irrigados. Esses autores encontraram diferenças significativas na parte aérea, sendo que as plantas irrigadas tiveram altura significativamente maior que as não irrigadas. Neste trabalho, as plantas com os menores diâmetros mostraram, em média, um sistema radicular mais profundo, estando de acordo com os dados de Raper e Barber (1970), apesar de haver uma limitação metodológica quanto à determinação do comprimento da profundidade, o que permite apenas o registro de uma tendência. Por estes relatos, é possível perceber que, em função de muitos trabalhos serem realizados em lugares diferentes e com metodologias diferentes, as probabilidades de contradições são grandes, reforçando a ideia dos mistérios envolvendo a profundidade da raiz.

O trabalho aqui relatado foi feito em vasos, em casa de vegetação, portanto em condições bastante controladas. Os ângulos estudados mostraram uma variação significativa entre os genótipos, o mesmo acontecendo com os diâmetros. Estes foram determinados na região inicial da raiz, com a ideia de comparação com os ângulos. O cultivo em vasos criou um ambiente provavelmente mais limitado para as raízes, sendo que as raízes laterais mostraram diferenças significativas na angulação estudada, porém mostraram uma curvatura para baixo mais acentuada quando em comparação com trabalhos de campo. A angulação dos genótipos em casa de vegetação, no geral, mostrou ângulos mais fechados em comparação com trabalhos de campo. Neste trabalho, a cultivar BRS 184 mostrou angulação média de 43,18 graus, um pouco menor que no trabalho de campo (Gonçalves et al., 2017), que foi de 57,7 graus no tratamento irrigado. O comprimento da raiz, por sua vez, apresentou grande variação nas suas medições. Como era

de se esperar, o manuseio da raiz no momento da coleta e da lavagem é delicado, sendo comum a ocorrência de quebras. Raízes quebradas produzem valores muito variáveis e com problemas nas análises estatísticas, exigindo um número muito grande de repetições. Neste caso, a variação no comprimento da raiz produziu médias visivelmente diferentes do que seria esperado, uma vez que várias raízes ficaram visivelmente quebradas. Optou-se, então, por considerar o comprimento máximo da raiz como indicativo do potencial do cultivar em desenvolver uma longa raiz, para ser usado como um complemento aos ângulos e aos diâmetros no estudo da arquitetura (Figura 3).

Foto: Sergio Luiz Gonçalves



**Figura 3.** Comprimento do sistema radicular do genótipo PI 471938, aos 30 dias, em vaso de casa de vegetação.

As raízes laterais, por sua vez, ao longo do tempo, tornam-se mais longas que a raiz principal. Elas precisam se desenvolver através de vazios disponíveis no solo, que tenham diâmetros maiores que a ponta das mesmas (Taylor; Gardner, 1960). Então, cada tipo de solo, com sua estrutura e porosidade, propicia um meio favorável ou não ao desenvolvimento das raízes. Isto propicia um melhor entendimento e compreensão sobre a grande variabilidade de resultados encontrados na literatura.

Em função de todas as dificuldades em se trabalhar com raízes, as interações entre dados de laboratório, casa de vegetação e de campo sempre serão úteis em futuros trabalhos. A metodologia utilizada aqui é informativa, apesar de todas as limitações encontradas, principalmente na determinação do comprimento final do sistema radicular. Os ângulos e diâmetros são de simples determinação, sendo que esta metodologia é confiável e permite reavaliações das imagens obtidas digitalmente. O mesmo não se pode dizer quanto à determinação do comprimento final do sistema radicular, uma vez que a possibilidade de quebra de raízes, apesar de todo o cuidado, é significativa, sendo ainda necessários novos avanços metodológicos para aumentar a eficiência desta avaliação. A pilosidade, por sua vez, quando feita em plântulas e em laboratório é uma metodologia bastante confiável. Já em trabalhos de campo ou em casa de vegetação, com plantas em estádios avançados, é uma avaliação limitada, principalmente por ser visual e feita numa amostra de parte do sistema radicular, visto que seria muito trabalhosa a realização dessa avaliação em todo o sistema radicular. Apesar de tudo, os dados do ensaio indicam que existe uma variabilidade genética significativa, mostrando que os genótipos comportam-se de maneiras distintas com relação às variáveis estudadas.

## Referências

ATTA, B. M.; MAHMOOD, T.; TRETOWAN, R. M. Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia. **Australian Journal of Crop Science**, v. 7, n. 13, p. 2108-2115, 2013.

CARLSON, J. B. Morphology. In: CALDWELL, B. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p. 17-95.

CRAINE, J. M.; FROEHLE, J.; TILMAN, D. G.; WEDIN, D. A.; CHAPIN III, F. S. The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. **Oikos**, v. 93, p. 274-285, 2001.

DITTMER, H. J. A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (*Secale cereale*). **American Journal of Botany**, v. 24, p. 417-420, 1937.

DITTMER, H. J. A quantitative study of the subterranean members of soybean. **Soil Conservation**, v. 6, p. 33-34, 1940.

FENTA, B. A.; BEEBE, S. E.; KUNERT, K. J.; BURRIDGE, J. D.; BARLOW, K. M.; LYNCH, J. P.; FOYER, C. H. Field phenotyping of soybean roots for drought stress tolerance. **Agronomy**, v. 4, p. 418-435, 2014. DOI: 103390/agronomy4030418.

FITTER, A. H.; STICKLAND, T. R.; HARVEY, M. L.; WILSON, G. W. Architectural analysis of plant root systems 1. Architectural correlates of exploitation efficiency. **New Phytologist**, v. 118, p. 375-382, 1991.

FREITAS, E. D. **Variabilidade sazonal da precipitação no Estado do Paraná**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GAHOONIA, T. S.; NIELSEN, N. E.; JOSHI, P. A.; JAHOR, A. A root hairless barley mutant for elucidating genetic of root hairs and phosphorus uptake. **Plant and Soil**, v. 235, p. 211-219, 2001.

GE, Z.; RUBIO, G.; LYNCH, J. P. The importance of root gravitropism for inter-root competition and phosphorus acquisition efficiency: results from a geometric simulation. **Plant and Soil**, v. 218: 159-171, 2000.

GONÇALVES, S. L. **Riscos de deficiência hídrica e épocas de semeadura de milho (*Zea mays* L.) na região dos Campos Gerais do Paraná**. 2004. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

GONÇALVES, S. L.; CATTELAN, A. J.; NEPOMUCENO, A. L.; OLIVEIRA, M. C. N. de; NEUMAIER, N.; FUGANTI-PAGLIARINI, R.; FERREIRA, L. C.; NASCIMENTO, W. B. da S. **Efeito do estresse hídrico e variabilidade genética na arquitetura da raiz de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 24 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 12).

GONÇALVES, S. L.; MOREIRA, J. U. V.; PIPOLO, A. E.; ARIAS, C. A. A.; SANTOS, E. D. dos; NASCIMENTO, W. B. da S. **Seleção de genótipos de soja ricos em pelos radiculares - ano de 2015**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 10).

GREGORY, P. **Plant roots: growth, activity and interaction with soils**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006. 317 p.

HO, M. D.; ROSAS, J. C.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Roots architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, v. 32, p.737-748, 2005.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M. G.; PETERSON, C. M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, v. 79, p.607-614, 1987.

JING, Z.; JIABING, F.; HONG, L.; HAI, N., YUEMING, H.; LINJUAN, Q.; YINSAN, D.; XIAOLONG, Y. Characterization of root architecture in na applied core collection for phosphorus efficiency of soybean germplasm. **Chinese Science Bulletin**, v. 49, n. 15, p. 1611-1620, 2004.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 2nd. ed. New Jersey: Pearson, 1988. 607 p.

LOPES, M. S.; REYNOLDS, M. S. Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought wheat. **Functional Plant Biology**, v. 37, p. 147-156, 2010.

LYNCH, J. P. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiology**, v. 95, p. 7-13, 1995.

LYNCH, J. P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize roots systems. **Annals of Botany**, v. 112, p. 347-357, 2013. DOI: 10.1093/aob/mcs293.

LYNCH, J. P.; CHIMUNGU, J. G.; BROWN, K. M. Root anatomical phenes associated with water acquisition from drying soil: targets for crop improvement. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, n. 21, p. 6155-6166, 2014. DOI: 10.1093/jxb/eru162.

MANSHADI, A. M.; CHISTOPHER, J.; de VOIL, P.; HAMMER, G. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water-limited environments. **Functional Plant Biology**, v. 33, p. 823-837, 2006.

MARQUES JÚNIOR, O. G.; RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; SANTOS, J. B. Viabilidade do emprego de notas na avaliação de alguns caracteres do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, v. 44, n. 254, p. 411-420, 1997.

- MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, v. 135, p. 31-41, 1991.
- MAYAKI, W. C., TEARE, I. D., STONE, L. R. Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. **Crop Science**, v. 16, p. 92-94, 1976.
- MIGUEL, A.; WIDRIG, A.; VIEIRA, R. F.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Basal root whorl number: a modulator of phosphorus acquisition in common bean (*Phaseolus vulgaris*). **Annals of Botany**, v. 112, n. 6, p. 973-82, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct164.
- MITCHELL, R. L.; RUSSEL, W. J. Root development and rooting patterns of soybean (*Glycine max* (L) Merrill) evaluated under field conditions. **Agronomy Journal**, v. 63, p. 313-316, 1971.
- PASSIOURA, J. B. Roots and drought resistance. **Agricultural Water Management**, v. 7, p. 265-280, 1983.
- RAPER, C. D.; BARBER, S. A. Rooting systems of soybean. I. Differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 581-584, 1970.
- RYSER, P. The mysterious root length. **Plant and Soil**, v. 286, p. 1-6, 2006.
- RYSER, P.; EEK, L. Consequences of phenotypic vs. interspecific differences in leaf and root traits for acquisition of aboveground and belowground resources. **American Journal of Botany**, v. 87, n. 3, p. 402-411, 2000.
- SEGAL, E.; KUSHNIR, T.; MUALEM, Y.; SHANI, U. Water uptake and hydraulics of the root hair rhizosphere. **Vadose Zone Journal**, v. 7, n. 3, p. 1027-1034, 2008.

TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Relative penetrating ability of different plant roots. **Agronomy Journal**, v. 52, n. 10, p. 579-581, 1960.

UGA, Y.; SUGIMOTO, K.; OGAWA, S.; RANE, J.; ISHITANI, M.; HARA, N.; KITOMI, Y.; INUKAI, Y.; ONO, K.; KANNO, N.; INOUE, H.; TAKEHISA, H.; MOTOYAMA, R.; NAGAMURA, Y.; WU, J.; MATSUMOTO, T.; TAKAI, T.; OKUNO, K.; YANO, M. Control of root system architecture by DEEPER ROOTING 1 increases rice yield under drought conditions. **Nature Genetics**, v. 45, p. 1097-1102, 2013. DOI:10.1038/ng.2725.

WHITE, P. J.; GEORGE, T. S. GREGORY, P.; BENGOUGH, A. G.; HALLET, P. D.; MCKENZIE, B. M. Matching roots to their environment. **Annals of Botany**, v. 112, p. 207-222, 2013. DOI: 10.1093/aob/mct123.

YANO, K.; KUME, T. Root morphological plasticity for heterogeneous phosphorus supply in *Zea mays* L. **Plant Production Science**, v. 8, n. 4, p. 427-432, 2005.

**Embrapa**

---

**Soja**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



CGPE 14352