

Avaliação das características morfológicas do sistema radicular de linhagens recombinantes endogâmicas de sorgo em solução nutritiva sob estresse de fósforo

Bárbara França Negri⁽¹⁾; Bárbara Maciel Hufnagel⁽²⁾; Maria Marta Pastina⁽³⁾; Jurandir Vieira Magalhães⁽⁴⁾; Sylvia Moraes de Sousa⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Estudante de Mestrado em Bioengenharia, bolsista CAPES; Universidade Federal de São João Del Rei, São João del-Rei, Minas Gerais; barbarafnegri@gmail.com; ⁽²⁾Estudante de doutorado em Genética, bolsista FAPEMIG; Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG; barbarahufnagel@gmail.com; ⁽³⁾ Pesquisadora; Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG; marta.pastina@embrapa.br; ⁽⁴⁾Pesquisador; Embrapa Milho e Sorgo, sete Lagoas, MG; jurandir.magalhaes@embrapa.br; ⁽⁵⁾Pesquisadora; Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG; sylvia.sousa@embrapa.br.

RESUMO: O sistema radicular é chave na aquisição de fósforo (P), que é um macroelemento essencial para as plantas. Este trabalho teve como objetivo avaliar as características radiculares relacionadas com a eficiência na aquisição de P de linhagens recombinantes endogâmicas (RILs) de sorgo. Para isto, foi utilizado um sistema de pasta 2D com solução nutritiva (2,5 μ M P) em um ambiente controlado, para avaliar características radiculares, comprimento, área de superfície total e de raízes com diâmetro entre 0-1 mm diâmetro e diâmetro médio, peso seco total e conteúdo de P total. Foi observada alta herdabilidade e baixo coeficiente de variação para todas as características avaliadas, com exceção de diâmetro médio. Além disso, foi observada segregação transgressiva para quase todas as características radiculares analisadas. Características radiculares, exceto diâmetro, apresentaram altas correlações entre si e com peso seco e conteúdo de P, sugerindo uma vantagem proporcional do aumento da massa seca da parte aérea pelo aumento da massa seca da raiz. Estes resultados fenotípicos serão utilizados no mapeamento de locos de caracteres quantitativos (QTLs) e na possível associação de tais parâmetros morfológicos com a eficiência de aquisição de P em milho.

Termos de indexação: estresse abiótico, fenotipagem, raiz, QTL.

INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) tem se destacado nos últimos anos por causa da versatilidade de seu uso. A sua principal utilização está na alimentação animal (RODRIGUES, 2009), mas recentemente tem sido proposta a sua utilização como uma alternativa para a produção de etanol lignocelulósico (DAMASCENO et al., 2010).

No Brasil, grande parte da agricultura se concentra em regiões onde o solo é classificado

como latossolos (SANTOS et al., 2010), sendo uma de suas características baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente o fósforo (P) (BRASIL et al., 2007).

Para assegurar a produtividade desejada da cultura nestes solos é necessário o emprego de grandes quantidades de insumos fosfatados, o que acarreta o aumento dos custos de produção (VANCE et al., 2003). Uma possível alternativa para reduzir os custos de produção é aumentar a eficiência no uso de P explorando a variabilidade genética disponível (GOOD et al., 2004).

Plantas adaptadas a condições limitantes de P desenvolveram inúmeras modificações na morfologia e na arquitetura radicular favorecendo uma maior absorção de P (LYNCH, 2007). O P é um nutriente essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos e é o segundo macronutriente mais importante para as plantas em termos de produção de grãos (ALVES, 2005).

Este trabalho teve como objetivo avaliar características morfológicas do sistema radicular, em solução nutritiva sob estresse de P, de linhagens endogâmicas recombinantes (RILs) de sorgo, derivadas de um cruzamento entre genótipos contrastantes para eficiência na aquisição de P.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas 396 famílias F7 de linhagens recombinantes endogâmicas derivadas do cruzamento entre dois parentais contrastantes para produção de grãos em campo e aquisição de P, sendo BR007B mais eficiente do que SC283B (SILVA, 2012).

As sementes de sorgo foram germinadas em papel de germinação em câmara de crescimento por quatro dias. O sistema de crescimento das plantas foi composto por pastas de arquivo forradas com papel de germinação (HUND et al., 2009) e solução nutritiva de Magnavaca modificada (pH 5,65) (MAGNAVACA et al, 1987) com 2,5 μ M de P,

sendo trocada a cada três dias. Os experimentos foram realizados em câmara de crescimento sob condições controladas. Após 13 dias, o sistema radicular foi fotografado com uma câmera digital (Nikon D300S SLR). As imagens obtidas foram analisadas com o auxílio dos softwares RootReader2D e Winrhizo v. 4.0 (Regent Systems, Quebec, Canadá), sendo quantificadas quatro características de morfologia radicular: comprimento total (cm), diâmetro médio (mm), área de superfície radicular total (cm²) e área de superfície de raízes entre 0 e 1 mm (cm²) (SOUSA et al., 2012).

A parte aérea e as raízes das plântulas foram separadas e secas a 65 °C até peso constante para a obtenção do peso seco total. Foi quantificado o teor de P das amostras da parte aérea e raiz utilizando digestão nitroperclórica e leitura espectrofotométrica em ICP (SILVA, 1999). O conteúdo de P foi calculado multiplicando-se o teor de P total pelo peso seco total.

O delineamento experimental foi de blocos incompletos com três repetições. Foi realizada uma análise de modelos mistos utilizando o Teste de Wald no programa estatístico Gen Stat (PAYNE et al., 2008) para obtenção dos componentes de variância genética e residual. A partir dos componentes de variância foram obtidas as estimativas de herdabilidade para os seis caracteres analisados. A análise de coeficiente de correlação de Pearson foi feita utilizando o pacote *pysich* do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se baixo coeficiente de variação para todas as características indicando a confiabilidade dos dados (**Tabela 1**). O efeito de blocos foi significativo a 1% ($p < 0,01$) de probabilidade para todas as características, indicando que o modelo estatístico utilizado é adequado para os dados apresentados. A herdabilidade observada mostrou-se de magnitude mediana, exceto para diâmetro médio. A baixa herdabilidade do diâmetro provavelmente se deve à pequena variação dessa característica na população analisada. A variância genética foi menor do que a variância residual para todas as características sugerindo que o fenótipo observado se deve a outros componentes da variância (**Tabela 1**).

Na distribuição de frequência, os extremos do gráfico tiveram um menor número de genótipos para todas as características (**Figura 1**), como esperado para caracteres de herança quantitativa. Foi verificada uma pequena amplitude para a característica de diâmetro na população de RILs de sorgo em relação às RILs de milho (NEGRI et al., 2012), indicando que essa característica fenotípica pode ser pouco variável dentro da população de RILs de sorgo.

Os parentais, SC283B e BR007B, apresentaram contraste para a característica de diâmetro médio e para peso seco total, permanecendo em classes extremas opostas nos gráficos de frequência

(**Figura 1**). Para as características de comprimento total, área de superfície total, área de superfície de raízes finas e conteúdo de P na planta, os parentais permaneceram em classes intermediárias e não apresentaram fenótipos tão distintos para tais parâmetros quanto a sua progênie. Esse é um típico caso de segregação transgressiva, quando a população transcende a média dos parentais (VICENTE; TANKSLEY, 1993). Essa segregação é decorrente de novas combinações de alelos em múltiplos locos relativos a cada um dos pais. A segregação transgressiva foi também observada para o número e o comprimento de raízes laterais (ZHU et al., 2005a), comprimento e número de raízes seminais (ZHU et al., 2006) e para o comprimento de pelos radiculares (ZHU et al., 2005b) em RILs de milho provenientes do cruzamento de uma linhagem ineficiente e outra eficiente, sob diferentes doses de P. Este tipo de segregação também foi observada para características de raízes adventícias em RILs de feijão crescidas em diferentes doses de P (OCHOA et al., 2006).

Todas as correlações apresentaram significância a 1% de probabilidade ($p < 0,01$). O diâmetro médio apresentou correlações negativas com comprimento total, área de superfície de raízes finas e área de superfície total (**Figura 1**), sugerindo que quando o comprimento/área de superfície aumenta o diâmetro diminui. O comprimento, área de superfície total e área de superfície de raízes finas apresentaram correlações positivas entre si e estas apresentaram correlações com o peso seco e com conteúdo de P (**Figura 1**). Além disso, foi observada correlação entre peso seco total e conteúdo de P total. Esses resultados sugerem que um maior comprimento/área de superfície levam a um aumento da biomassa da planta e da aquisição de P.

As raízes têm um custo metabólico significativo para as plantas, portanto compreender como os mecanismos de compensação se integram com os sinais externos é importante para selecionar um tipo de sistema radicular ou outro. O investimento em um tipo radicular normalmente é compensado em detrimento de outro (LYNCH; BROWN, 2012). Além disso, o controle da proporção raiz:parte aérea varia de acordo com o estresse e esse ajuste pode ou não ser favorável à produtividade. Portanto, conhecer o sistema radicular dos genótipos e saber para que e até quando ele é vantajoso é o primeiro passo para que características radiculares sejam utilizadas para estudos de mapeamento de locos de caracteres quantitativos (QTL) e posteriormente nos programas de melhoramento, visando o desenvolvimento de cultivares adaptadas a condições limitantes de P.

CONCLUSÕES

As RILs de sorgo provenientes do cruzamento entre duas linhagens contrastantes para aquisição de P apresentam diversidade quanto ao sistema radicular, peso seco e conteúdo de P.

Um maior comprimento/área de superfície radicular resulta no aumento de biomassa das plantas e maior acúmulo de P.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Gislene Rodrigues Braga Cristeli pela ajuda na montagem dos experimentos de câmara de crescimento. Agradecem também a Embrapa, Fapemig, CNPq e GCP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ALVES, V. M. C. Mechanisms of plant adaptations to low phosphorus conditions. In: WORKSHOP, 2005, Brasília, DF. **Advances in improving acid soil adaptation of tropical crops and forages, and management of acid soil**. Cali: CIAT, 2005. p. 3-4. Disponível em: <http://webapp.ciat.cgiar.org/forrajes/pdf/acid_soils_brazil_workshop_abstracts_05.p df>. Acesso em: 10 maio 2014.
- BRASIL, E. C.; ALVES, V. M. C.; MARRIEL, I. E.; PITTA, G. V. E.; CARVALHO, J. G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contratantes quanto à aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 704-712, 2007.
- DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, R. A. C.; SIMEONE, M. L. P.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHÃES, J. V. Caracterização bioquímica de genótipos de sorgo quanto ao teor de lignina e análise molecular de rotas metabólicas visando à produção de etanol de segunda geração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, 28., SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE LAGARTA DO CARTUCHO, 4., 2010, Goiânia. **Potencialidades, desafios e sustentabilidade**: resumos expandidos. Goiânia: ABMS, 2010. 1 CD-ROM.
- GOOD, A. G.; SHRAWAT, A. K.; MUENCH, D. G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 9, p. 597-605, 2004.
- HUND, A.; TRACHSEL, S.; STAMP, P. Growth of axile and lateral roots of maize: I development of a phenotyping platform. **Plant and Soil**, The Hague, v. 325, p. 335-349, 2009.
- LYNCH, J. P. Roots of the second Green revolution. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 55, p. 493-512, 2007.
- LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. New roots for agriculture: exploiting the root phenome. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, London, v. 367, p. 598-1604, 2012.
- MAGNAVACA, R.; GARDNER, C. O.; CLARK, R. B. Evaluation of maize inbred lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In: GABELMAN, H. W.; LONGHMAN, B. C. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p. 255-265.
- NEGRI, B. F.; AZEVEDO, G. C.; MATOS, F. M.; GUIMARÃES, C. T.; SOUSA, S. M. de **Morfologia do sistema radicular de linhagens recombinantes endogâmicas de milho sob baixo nível de fósforo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 22 p.
- (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 50).
- PAYNE, R.; WELHAM, S.; HARDING, S. **A Guide to REML in GenStat**. Beijing: VSN International, 2008.
- OCHOA, I. E.; BLAIR, M. W.; LYNCH, J. P. QTL analysis of adventitious root formation in common bean under contrasting phosphorus availability. **Crop Science**, Madison, v. 46, p. 1609-1621, 2006.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 3 mar. 2014.
- RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 2). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHT/ML/Sorgo/CultivodoSorgo_5ed/index.htm>. Acesso em: 10 maio 2014.
- SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F.; CARVALHO, J. A. M.; MACHADO, C. J. **O cerrado brasileiro**: notas para estudo. Belo Horizonte: UFMG: Cedeplar, 2010. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%20387.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2014.
- SILVA, L. A. **Fenotipagem para a eficiência de fósforo em linhagens de sorgo**. 2012. 98 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012.
- SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.
- SOUSA, S. M. de; CLARK, R.; MENDES, F.; OLIVEIRA, A. de; VASCONCELOS, M. J. de; PARENTONI, S. N.; KOCHIAN, L.; GUIMARÃES, C.; MAGALHÃES, J. A role for root morphology and related candidate genes in P acquisition efficiency in maize. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 39, p. 925-935, 2012.
- VANCE, C. P.; STONE, C. U.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Oxford, v. 157, p. 423-447, 2003.
- VICENTE, M. C.; TANKSLEY, S. D. QTL analysis of transgressive segregation in an interspecific tomato cross. **Genetics**, Austin, v. 134, p. 585-596, 1993.
- ZHU, J.; MICKELSON, S. M.; KAEPLER, S. M.; LYNCH, J. P. Detection of quantitative trait loci for seminal root traits in maize (*Zea mays* L.) seedlings grown under differential phosphorus levels. **Theoretical and Applied Genetics**, Austin, v. 113, p. 1-10, 2006.
- ZHU, J.; KAEPLER, S. M.; LYNCH, J. P. Mapping of QTLs for lateral root branching and length in maize (*Zea mays* L.) under differential phosphorus supply. **Theoretical and Applied Genetics**, Austin, v. 111, p. 688-695, 2005a.
- ZHU, J.; KAEPLER, S. M.; LYNCH, J. P. Mapping of QTL controlling root hair length in maize (*Zea mays* L.) under phosphorus deficiency. **Plant and Soil**, The Hague, v. 270, p. 299-310, 2005b.

Tabela 1. Média, coeficiente de variação (CV), herdabilidade (h^2), variância residual e variância genética das características comprimento total (C), diâmetro médio (D), área de superfície total (AST), área de superfície de raízes finas 0-1 mm (ASRF), peso seco total (PST) e conteúdo de P total na planta das 396 RILs de sorgo crescidas sob baixo P.

	C (cm)	D (mm)	AST (cm ²)	ASRF (cm ²)	PST (g)	CPT(mg)
Média das RILs¹	190,11	0,63	36,93	28,76	0,20	0,47
CV (%)	22,21	7,17	21,30	21,60	10,65	12,68
h^2 (%)	65,00	25,00	65,00	65,00	63,00	64,00
Variância residual	1783,00	0,0020	61,85	38,60	0,0005	0,003
Variância genética	1118,00	0,0002	40,27	24,64	0,0003	0,002

¹ Médias de três repetições significativas a 1% pelo teste de Wald.

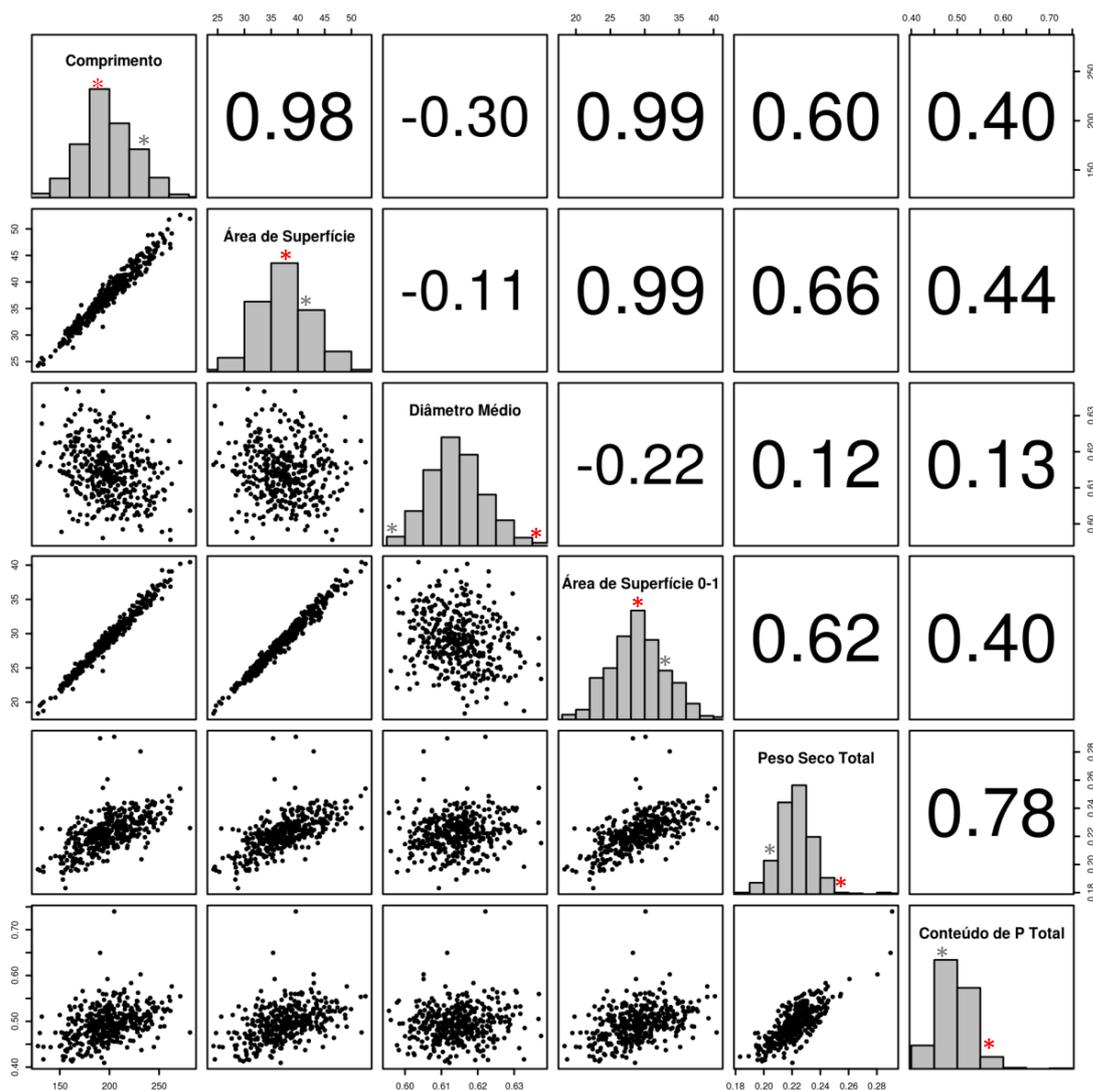


Figura 1 - Frequência da distribuição e coeficiente de correlação de Pearson para comprimento total (cm), diâmetro médio (mm), área de superfície total (cm²) e área de superfície de raízes finas (0-1 cm²) da população de 396 RILs provenientes do cruzamento SC283B x BR007B, crescidas sob baixo P. O parental SC283B está indicado com asterisco vermelho e o parental BR007B está indicado com asterisco cinza.