

## **Análise da Diversidade do Sistema Radicular de Linhagens e Híbridos de Milho Cultivados em Solução Nutritiva em Diferentes Níveis de Fósforo**

Fabiano Melo de Matos<sup>1</sup>, Walter Fernandes Meirelles<sup>2</sup>, Barbara França Negri<sup>3</sup>, Flávia Ferreira Mendes<sup>4</sup>, Lauro José Moreira Guimarães<sup>5</sup>, Sidney Netto Parentoni<sup>6</sup>, Pedro Soares Vidigal Filho<sup>7</sup>, Sylvia Morais de Sousa<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. fabianommatos@gmail.com, <sup>2</sup>Depto de Agronomia-PGM/UEM-Maringá, PR. walter@cnpso.embrapa.br <sup>3</sup>UNIFEMM, Sete Lagoas, MG. babinegri@hotmail.com <sup>4,5,6</sup>Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. flvmendes2001@yahoo.com.br, lauro@cnpms.embrapa.br, sidney@cnpms.embrapa.br, <sup>7</sup>Depto de Agronomia-PGM/UEM-Maringá, PR. psvfilho@uem.br, <sup>8</sup>Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. smsousa@cnpms.embrapa.br

**RESUMO** - Solos tropicais são caracterizados pela baixa disponibilidade de nutrientes, em especial o fósforo (P). Este nutriente apresenta pouca mobilidade, sendo necessário o contato com o sistema radicular para sua absorção. O objetivo deste trabalho foi investigar a diversidade da morfologia radicular de linhagens e híbridos de milho para ajudar no desenvolvimento de genótipos mais eficientes na aquisição de P. Nove linhagens de milho e 36 F1's derivados a partir destas linhagens foram utilizados neste estudo. As plântulas foram avaliadas em um sistema de pastas de papel em solução nutritiva sob baixo (2,5 • M) e alto (250 • M) P. Após 13 dias foram quantificadas quatro características radiculares. Foi observado um baixo coeficiente de variação e uma interação significativa entre genótipos para todas as características. As interações entre genótipo e concentração de P foram significativas para comprimento e volume. Em geral, os genótipos sob baixo P apresentaram maior comprimento, volume total e raízes finas e menor diâmetro do que as crescidas sob alto P. Os híbridos apresentaram maior média de comprimento e volume total e raízes finas e menor diâmetro do que as linhagens. Estes resultados serão usados para melhor compreensão da genética da morfologia radicular.

**Palavras-chave:** *Zea Mays* L., morfologia radicular, aquisição de P.

### **Introdução**

Solos brasileiros, em sua maioria, são caracterizados pelo intemperismo, baixo pH, alto conteúdo de Al na subsuperfície e baixa disponibilidade de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) (PARENTONI, 2008). O P é o segundo nutriente mais importante para os vegetais (BATTEN, 1992) e um dos que mais limitam o crescimento das plantas. Sua eficiência de absorção pelas culturas pode ser inferior a 10% do P aplicado (BALIGAR et al., 2001) e esta ineficiência está relacionada com a alta capacidade de fixação de P por estes solos e pela sua baixa mobilidade, pois sua movimentação no solo até as raízes é feita principalmente por difusão (SCHENK e BARBER, 1980).

Características fenotípicas das cultivares afetam diretamente a aquisição de P, e dentre elas destacam-se o comprimento e a arquitetura radicular, a presença de pelos radiculares, a capacidade de associação com fungos micorrízicos e a associação da rizosfera com bactérias solubilizadoras de fosfato (HISINGER et al., 2006).

O desenvolvimento de novas cultivares eficientes na aquisição de P, com melhor adaptação ao ambiente tropical e que sejam capazes de atingir níveis razoáveis de produção é uma alternativa de desenvolvimento economicamente desejável, ambientalmente segura e socialmente adequada (SANCHEZ e SALINAS, 1981). O objetivo deste trabalho foi investigar a diversidade na morfologia radicular de linhagens e híbridos de milho para contribuir no desenvolvimento de genótipos eficientes na aquisição de P.

### **Material e métodos**

Foram utilizadas neste estudo sementes de nove linhagens de milho tropicais provenientes do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (L3, L228-3, L36, L5680079, L51502020, L5680084, L22, L53 e L5680067) e 36 híbridos das famílias F1's derivados do cruzamento em dialelo a partir destas linhagens.

As sementes de milho foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 0,5% por 5 minutos, lavadas com água destilada e germinadas em papel de germinação em câmara de crescimento. Após a germinação por quatro dias, foi retirado o endosperma, visando eliminar as reservas nutricionais da planta, e foram selecionadas três plântulas uniformes para cada uma das três repetições. Utilizou-se solução nutritiva de Magnavaca (pH 5,65) em um sistema composto de pastas de arquivo forradas com papel de germinação (HUND et al., 2009). A unidade experimental constituiu-se de um pote com cinco litros de solução com 10 pastas ( $24 \times 33 \times 0,020$  cm) cada, cujos três centímetros finais ficaram submersos em solução nutritiva. A dose de P adotada foi de  $2,5 \cdot M$ , como tratamento de baixo P e de  $250 \cdot M$ , como tratamento de alto P. Os experimentos foram realizados em câmara de crescimento com temperatura diurna média de  $27 \pm 3$  °C, noturna de  $20 \pm 3$  °C e fotoperíodo de 12 horas, sob aeração contínua, sendo que a solução foi trocada a cada três dias.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com três repetições, com três plantas cada. Após 13 dias, separou-se o sistema radicular da parte aérea das plântulas. O sistema radicular foi fotografado com uma câmera digital (Nikon D300S SLR). As imagens obtidas foram analisadas com o auxílio do software Winrhizo

v. 4.0 (Regent Systems, Quebec, Canadá) obtendo-se valores para quatro características de morfologia da raiz: comprimento total (cm) (C), diâmetro médio (mm) (D), volume total (cm<sup>3</sup>) (V) e volume de raízes finas com diâmetro entre 1 e 2 mm (cm<sup>3</sup>) (V2). Foi feita uma análise de variância (ANOVA) com comparações de médias usando o teste de menor significância (LSD) ( $p < 0,05$ ) usando o software SISVAR.

### **Resultados e discussão**

O coeficiente de variação observado foi de 21,95; 9,00; 16,62 e 19,68% para C, D, V e V2, respectivamente, quando todos os 46 genótipos foram analisados (Tabela 1). Houve diferença significativa entre os genótipos, para todas as quatro características de raízes. Além disso, houve diferença significativa entre as doses de P, baixo e alto P, indicando resposta diferenciada dos genótipos aos níveis de P. Interações entre genótipo e concentração de P foram significativas para C e V.

Em baixo P o comprimento e volume das raízes foram maiores do que em alto P (Tabela 2). Esta relação é importante, pois quanto maior o comprimento e volume, maior será a área de absorção de nutrientes explorada pela planta. O tamanho e a área do sistema radicular constituem pontos-chaves na capacidade das plantas em adquirir P do solo uma vez que a absorção é feita através de difusão e não por fluxo de massa, como no caso de nitrogênio (PARENTONI et al. 2011). Em experimentos de campo conduzidos por Parentoni (2008) foi observada uma interação significativa entre genótipo e ambiente, quando analisada a produção de grãos em outros híbridos F1's.

Os genótipos não apresentaram diferença significativa para as características C e V em baixo P (Tabela 3). Considerando D, apenas o genótipo L22 foi significativamente diferente dos demais em baixo P. Já V2 foi a característica que melhor permitiu a diferenciação entre os genótipos em baixo P. Em alto P, foi observada uma maior variação entre os genótipos, considerando todas as quatro características radiculares. Parentoni (2008) sugere que diferentes mecanismos de aquisição de P podem atuar em ambientes de baixo e alto P.

O comprimento e o diâmetro das linhagens L3 e L56.800.67 foram significativamente diferentes em baixo e alto P (Tabela 3), sendo que estas linhagens apresentaram maior comprimento e menor diâmetro em baixo P. O volume total e volume de raízes finas da linhagem L228-3 foram significativamente diferentes em baixo e alto P, sendo que os valores foram maiores para baixo P.

Valores obtidos na média harmônica para C, V e V2 foram maiores para os híbridos do que para as linhagens (dados não mostrados). O diâmetro médio apresentou uma correlação negativa em relação às demais características, portanto, os valores de D para híbridos são menores do que para linhagens, corroborando o resultado que mostrou que híbridos apresentam mais raízes finas do que linhagens. Os híbridos (dados não mostrados) apresentaram valores médios de comprimento, volume total e volume de raízes finas maiores em baixo P do que em alto P. Como o diâmetro apresenta uma correlação negativa em relação às demais características, este foi menor em baixo P do que em alto P.

Este estudo servirá de base para melhor compreensão da genética das características radiculares e eficiência da aquisição de P, além de ajudar na seleção de materiais mais eficientes no uso de P.

### **Conclusões**

Foi possível verificar diversidade fenotípica entre os genótipos analisados, considerando as características comprimento, volume total e de raízes finas e diâmetro médio de raízes.

O comprimento e volume total e de raízes finas foram maiores em baixo P do que em alto P. Já o diâmetro médio foi menor em baixo P do que em alto P.

O comprimento e o volume total e de raízes finas foram maiores para híbridos do que para linhagens e o diâmetro médio foi menor para híbridos do que para linhagens.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Embrapa e à GCP pelo apoio financeiro. Agradecem também à Gislene Rodrigues Braga Cristeli e Michelle Cristina Bastos Leal pela ajuda na montagem dos experimentos em câmara de crescimento.

### **Literatura Citada**

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 1-8, p. 921-950, 2001.

BATTEN, G. D. A review of phosphorus efficiency in wheat. **Plant and Soil**, The Hague, v. 146, p. 163-168, 1992.

HISINGER, P.; JAILARD, B.; LE CADRE-BARTGÉLÉMY, E.; PLASSARD, C.; DREVON, J. J. The roots of phosphorus acquisition efficiency in crops. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006, Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 75-76.

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, n. 1/2, p.335-349, 2009.

PARENTONI, S. N. **Estimativas de efeitos gênicos de diversos caracteres relacionados à eficiência e resposta ao fósforo em milho tropical**. 2008. 208 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de fósforo. In: NETO, R. F.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: UFV, 2011. p. 101-126.

SANCHEZ, P. A.; SALINAS, J. G. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 279-406, 1981.

SCHENK, M. K.; BARBER, S. A. Potassium and phosphorus uptake by corn genotypes grown in the field as influenced by root characteristics. **Plant and Soil**, The Hague, v. 54, p. 65-76, 1980.

**Tabela 1.** Significância do teste F da Anova na avaliação de 46 genótipos em solução nutritiva em duas doses de P.

FV	GL	C		D		V		V2	
		Fc	Pr >Fc	Fc	Pr >Fc	Fc	Pr >Fc	Fc	Pr >Fc
G	45	12,04	0,00	2,73	0,00	14,01	0,00	13,12	0,00
P	1	100,43	0,00	74,52	0,00	12,01	0,00	3,28	0,07
G * P	45	1,53	0,027	0,92	0,63	1,5	0,03	1,14	0,27
erro	184								
CV %		21,95		9,00		16,62		19,68	
Média		279,94		0,85		1,53		0,72	

**Tabela 2.** Média geral, coeficiente de variação (CV), média baixo fósforo (P<sup>-</sup>) e média em alto fósforo (P<sup>+</sup>) das características das raízes de 9 parentais e 36 híbridos F1's.

<b>Genótipos</b>	<b>P-</b>	<b>P+</b>
Comprimento (cm)	317,02 A	242,87 B
Diâmetro médio (mm)	0,81 A	0,89 B
Volume (cm <sup>3</sup> )	1,58 A	1,47 B
Volume 1,0<d• 2,0 (cm <sup>3</sup> )	0,73 A	0,70 A

Médias seguidas pela mesma codificação nas linhas de P<sup>-</sup> e P<sup>+</sup> não diferem entre si pelo teste de t (LSD) a 0,05 % de probabilidade.

**Tabela 3.** Médias harmônicas em baixo fósforo (P<sup>-</sup>) e alto fósforo (P<sup>+</sup>) das características das raízes de 9 parentais isolados.

<b>Parentais</b>	<b>C</b>		<b>D</b>		<b>V</b>		<b>V2</b>	
	<b>Baixo P</b>	<b>Alto P</b>	<b>Baixo P</b>	<b>Alto P</b>	<b>Baixo P</b>	<b>Alto P</b>	<b>Baixo P</b>	<b>Alto P</b>
L3	160,64 A <sub>1</sub>	96,77 B <sub>1</sub>	0,88 A <sub>1</sub>	1,04 B <sub>2</sub>	0,97 A <sub>1</sub>	0,84 A <sub>123</sub>	0,50 A <sub>2</sub>	0,48 A <sub>3</sub>
L228-3	157,68 A <sub>1</sub>	113,42 A <sub>123</sub>	0,90 A <sub>1</sub>	0,88 A <sub>1</sub>	1,02 A <sub>1</sub>	0,69 B <sub>12</sub>	0,49 A <sub>2</sub>	0,28 B <sub>12</sub>
L36	159,54 A <sub>1</sub>	163,79 A <sub>3</sub>	0,89 A <sub>1</sub>	0,91 A <sub>1</sub>	0,97 A <sub>1</sub>	1,05 A <sub>3</sub>	0,49 A <sub>12</sub>	0,46 A <sub>3</sub>
L56.800.79	153,05 A <sub>1</sub>	141,18 A <sub>123</sub>	0,93 A <sub>1</sub>	0,97 A <sub>12</sub>	1,03 A <sub>1</sub>	1,05 A <sub>3</sub>	0,49 A <sub>2</sub>	0,46 A <sub>3</sub>
L51.50.2020	157,06 A <sub>1</sub>	133,75 A <sub>123</sub>	0,87 A <sub>1</sub>	0,91 A <sub>1</sub>	0,92 A <sub>1</sub>	0,90 A <sub>123</sub>	0,35 A <sub>12</sub>	0,37 A <sub>123</sub>
L56.800.84	140,78 A <sub>1</sub>	155,72 A <sub>23</sub>	0,93 A <sub>1</sub>	0,90 A <sub>1</sub>	0,89 A <sub>1</sub>	0,97 A <sub>23</sub>	0,35 A <sub>12</sub>	0,36 A <sub>123</sub>
L22	121,52 A <sub>1</sub>	112,63 A <sub>12</sub>	1,05 A <sub>2</sub>	1,02 A <sub>2</sub>	1,00 A <sub>1</sub>	0,91 A <sub>123</sub>	0,50 A <sub>2</sub>	0,44 A <sub>23</sub>
L53	141,16 A <sub>1</sub>	102,39 A <sub>1</sub>	0,87 A <sub>1</sub>	0,90 A <sub>1</sub>	0,81 A <sub>1</sub>	0,65 A <sub>1</sub>	0,32 A <sub>1</sub>	0,23 A <sub>1</sub>
L56.800.67	160,53 A <sub>1</sub>	101,51 B <sub>1</sub>	0,91 A <sub>1</sub>	1,02 B <sub>12</sub>	1,04 A <sub>1</sub>	0,83 A <sub>123</sub>	0,51 A <sub>2</sub>	0,43 A <sub>23</sub>

Médias seguidas pela mesma letra na linha (genótipos comparados isoladamente) não diferem entre si pelo teste de t (LSD) a 0,05 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma simbologia numérica na coluna (genótipos comparados entre si) não diferem entre si pelo teste de t (LSD) a 0,05 % de probabilidade.