

# ABSORÇÃO DE FÓSFORO E CRESCIMENTO DO MILHO COM SISTEMA RADICULAR PARCIALMENTE EXPOSTO A FONTE DE FÓSFORO<sup>1</sup>

ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS<sup>2</sup>, REINALDO PAULA FERREIRA<sup>3</sup>,  
JÚLIO CÉSAR LIMA NEVES<sup>4</sup> e NAIRAM FÉLIX DE BARROS<sup>5</sup>

**RESUMO** - Para avaliar a influência da localização de uma fonte de fósforo em apenas parte do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.), foi conduzido um experimento em casa de vegetação, utilizando a técnica de raízes subdivididas. Plântulas obtidas uma semana depois da germinação e crescimento inicial em vermiculita foram transplantadas para vasos geminados contendo, cada lado, 1,4 kg de LE, de modo que a metade do sistema radicular ficasse em cada vaso. Testaram-se as doses de 50, 100 e 200 mg de P/kg de solo, aplicadas de dois modos diferentes: dose aplicada num único vaso e dose dividida igualmente entre os dois vasos. A fonte de P foi misturada uniformemente com o solo. Vinte e nove dias depois do transplante, as plantas foram colhidas (parte aérea e raiz), pesadas, e o conteúdo de P, analisado. Verificaram-se maior crescimento e maior acúmulo de P na parte aérea para a maior dose de P, quando todo o sistema radicular estava em contato com a fonte deste elemento (tratamento 100-100), comparativamente à dose localizada em apenas um dos dois vasos (tratamento 200-0).

Termos para indexação: *Zea mays*, localização de fósforo, raízes subdivididas, germinação em vermiculita.

## PHOSPHORUS UPTAKE AND GROWTH OF CORN WITH ITS ROOT SYSTEM PARTIALLY EXPOSED TO A PHOSPHORUS SOURCE

**ABSTRACT** - To evaluate if the behaviour of corn (*Zea mays* L.) is affected by the application of a soluble source of phosphorus to only part of its root system, an experiment was carried out under greenhouse conditions, utilizing the split-root technique. One-week old seedlings obtained after germination in vermiculite, were transplanted to geminated pots, each side with 1,4 kg of a Dark-Red Latosol, in such way one-half of the root system was in each pot. Three rates of phosphorus (50, 100 and 200 mg P/kg soil) were applied in one of the two pots or equally divided between them. The P source was well mixed with the soil. Twenty-nine days after transplanting, the plants were harvested (shoots and roots), oven dried, weighted and the plant P content determined. Greater growth and shoot P content were observed when the highest rate of P was equally divided between the two pots of the set compared with its application in only one pot of the set.

Index terms: *Zea mays*, phosphorus placement, split-root, germination in vermiculite.

## INTRODUÇÃO

A grande limitação à produtividade de diversas culturas em solos brasileiros tem sido, freqüentemente, a baixa disponibilidade de fósforo (P) existente nestes solos. Como consequência, o número de trabalhos publicados sobre o efeito de P sobre o crescimento de planta nesses solos é bastante significativo. Todavia, entre esses trabalhos são escassas as publicações sobre o efeito da localização desse elemento no solo, em relação à planta.

Estudos sobre a localização de nutrientes tor-

nam-se mais importantes à medida que a mobilidade do elemento no solo torna-se menor (Bray 1954). Assim, dada a quase-imobilidade do P, sua localização em relação à semente ou à raiz, deve merecer maior atenção, o que não se justifica para elementos como o nitrogênio, de grande mobilidade no solo.

Embora a localização do P no sulco de plantio possa reduzir temporariamente sua adsorção ao solo, o que o levaria com o tempo, à forma não-lábil, ela reduz o volume de raízes em contato com este elemento. Diversos trabalhos têm mostrado que a aplicação de P, de modo a entrar em contato com o maior volume de raízes possível, é condição para maior absorção deste nutriente e crescimento do milho (Kamprath 1967, Jungk & Barber 1974, Anghinoni & Barber 1980, Stryker et al. 1974 a).

Quanto ao efeito da localização do P, em relação às raízes, sobre o comportamento da planta,

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 25 de janeiro de 1985.

<sup>2</sup> Eng. Agr., Ph.D., UFV/Dep. de Solos, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>3</sup> Eng. Agr., M.Sc., EMATER/EMBRAPA, CEP 78900 Porto Velho, RO.

<sup>4</sup> Eng. Agr., M.Sc., UFV/Dep. de Solos, Viçosa, MG.

<sup>5</sup> Eng. Florestal, Ph.D., UFV/Dep. de Solos, Viçosa, MG.

Robertson et al. (1966) observaram que este elemento se acumulava de maneira desuniforme na folha do milho, em consequência de sua disponibilidade ser limitada a apenas parte do sistema radicular. Mais tarde, Stryker et al. (1974 a) observaram efeito semelhante, também em milho cultivado em solução nutritiva. Verificaram diferenças na concentração de P, na parte aérea e no peso de material seco entre os lados opostos à nervura central de uma mesma folha. Esta compartimentalização do P na planta em resposta ao contato deste elemento, em solução nutritiva, com diferentes raízes de milho, foi novamente verificada por Stryker et al. (1974 b), que atribuíram o observado a diferenças na vascularização entre folhas e raízes do milho.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da localização, no solo, de uma fonte de P solúvel em apenas parte do sistema radicular do milho, sobre seu crescimento e absorção, e compartimentalização de P.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Amostra superficial (0 cm - 20 cm) de um Latossolo Vermelho-Escuro de Machado, MG, química e fisicamente analisada (Tabela 1), foi utilizada no experimento, conduzido em casa de vegetação.

Essa amostra foi passada em peneira de 2 mm, e homogeneizada. A correção da acidez foi feita mediante a aplicação de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  numa relação estequiométrica de 4:1, em dose equivalente de 2,5 t/ha de corretivo com PRNT = 100%. O corretivo foi homogeneizado com o solo e a mistura foi incubada por 40 dias, em sacos de plástico, depois de se adicionar água até a capacidade de campo.

Depois desse período, o solo foi secado à sombra, novamente homogeneizado e dividido em porções equivalentes a cada vaso de um conjunto de vasos geminados que constituíram diferentes tratamentos, nos quais se testaram três doses de P, aplicadas de dois modos diferentes. Cada conjunto de vasos geminados foi formado por dois vasos de plástico com capacidade para 1,4 kg de solo, presos um ao outro com fita adesiva.

As doses de P testadas em cada conjunto de vasos geminados foram de 50, 100 e 200 mg de P/kg de solo, na forma de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , em solução, tomando-se por base o peso do solo do vaso. Essas doses foram aplicadas em um único vaso do conjunto ou divididas igualmente entre os dois vasos. Assim, o tratamento 50 - 0 de um conjunto era comparado com o tratamento 25 - 25 de outro. E, igualmente, para as duas doses maiores.

TABELA 1. Resultados de características químicas e físicas de uma amostra do solo utilizado<sup>1</sup>.

Características	Resultados <sup>2</sup>	
pH em H <sub>2</sub> O (1:2,5)	4,4	( 5,3)
Al <sup>3+</sup> (meq/100 g solo) <sup>3</sup>	0,55	( 0,00)
Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> (meq/100 g solo) <sup>3</sup>	0,20	( 2,9)
P (ppm) <sup>4</sup>	1,3	( 2,0)
K (ppm) <sup>4</sup>	30,0	(28,8)
Areia grossa (%)	23	
Areia fina (%)	12	
Silte (%)	15	
Argila (%)	50	
Classificação textural	argila	

<sup>1</sup> Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de solos da UFV.

<sup>2</sup> Os valores entre parênteses representam resultados obtidos após calagem e incubação.

<sup>3</sup> Extrator: KCl 1 N.

<sup>4</sup> Extrator: Mehlich 1.

Todos os vasos receberam igualmente, em solução, 100 mg de K/kg de solo e 5 mg de Zn/kg de solo nas formas de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  e  $\text{ZnSO}_4$ , respectivamente. Todas as fontes dos nutrientes aplicados foram homogeneizadas com todo o solo do vaso.

Sementes de milho (*Zea mays* L.) cv. C-111 foram colocadas para germinar em vermiculita. Uma semana depois, as plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade de tamanho e transferidas para os vasos geminados, de modo que a metade do sistema radicular ficasse em cada vaso. Os vasos foram irrigados diariamente com água destilada, procurando-se manter a umidade próxima à capacidade de campo. Semanalmente, cada vaso recebeu 50 mg de N/kg de solo, na forma de uréia, em solução.

Os tratamentos - três doses de P e dois modos de aplicação, em arranjo fatorial 3 x 2 - foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições.

Vinte e nove dias depois do transplante, a parte aérea do milho foi cortada rente ao solo, e as raízes de cada vaso do conjunto foram separadas do solo, lavadas, inicialmente, com água de torneira, e depois, com água destilada. O material vegetal obtido foi secado a 70°C, determinando-se os pesos da parte aérea e das raízes secas. Esses materiais foram quimicamente analisados após digestão nitro-perclórica, obtendo-se a concentração de P segundo Braga & Defelipo (1974) e a quantidade deste elemento neles acumulada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na aplicação do P em apenas um vaso do conjunto, comparativamente à sua subdivisão e aplicação nos dois vasos, tem-se uma tentativa de comparar os efeitos do P localizado no sulco de plantio com sua incorporação em toda a camada arável do solo - fosfatagem corretiva.

A aplicação do P nos dois vasos (aplicação uniforme), em comparação com sua aplicação em apenas um dos vasos do conjunto (aplicação localizada), proporcionou maior crescimento das plantas, como também maior acúmulo deste elemento nas

suas partes aéreas (Tabela 2). Esse tipo de resposta, quando se considera apenas o comportamento do elemento no solo, é mais característico para quando se utilizam maiores doses de P, esperando-se resposta contrária quando se utilizam doses menores deste elemento (Barber 1980).

Dada a grande adsorção de P em solos mais intemperizados, em geral, como o utilizado neste trabalho, e sua passagem, com o tempo, da forma lábil para a não-lábil (Munns & Fox 1976), o aumento do volume de solo em contato com certa dose de P torna-se um aspecto negativo para a planta. Assim, a aplicação localizada de P deve ser vantajo-

TABELA 2. Altura da planta, produção de matéria seca da parte aérea e concentração e acúmulo de P na parte aérea do milho, conforme a localização de doses deste elemento, em relação ao sistema radicular. Média de cinco repetições<sup>1</sup>.

Localização de P <sup>2</sup>		P total no conjunto de vasos (mg de P/kg de vaso)		
		50	100	200
Vaso A	Vaso B	Altura da planta		
Percentagem do total		cm		
100	0	65,8	83,4	119,8
50	50	72,2	84,5	123,4
Média		69,0 C	83,9 B	121,6 A
Vaso A	Vaso B	Peso da parte aérea seca		
Percentagem do total		g/planta		
100	0	0,764 aB	1,248 aB	6,464 bA
50	50	1,066 aB	1,840 aB	10,540 aA
Média		0,915	1,544	8,502
Vaso A	Vaso B	Concentração de P na parte aérea		
Percentagem do total		Percentagem		
100	0	0,073	0,092	0,114
50	50	0,075	0,090	0,141
Média		0,074 C	0,091 B	0,127 A
Vaso A	Vaso B	P acumulado na parte aérea		
Percentagem do total		mg/planta		
100	0	0,561 Ba	1,326 Ba	7,405 Ab
50	50	0,794 Ba	1,655 Ba	14,532 Aa
Média		0,677	1,491	10,969

<sup>1</sup> Para cada parâmetro analisado, as médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula, na linha, e minúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> Os vasos A e B, presos um ao outro com fita adesiva, constituíram um conjunto de vasos geminados.

sa principalmente quando se trata de doses menores do elemento (Welch et al. 1966, Miller et al. 1971, Fox & Kang 1978).

Embora essas colocações sejam geralmente corretas quanto à interação solo-P, não o são, aparentemente, quanto à interação P-planta. Neste trabalho, por exemplo, o milho, em termos absolutos, cresceu mais e acumulou mais P na parte aérea quando este elemento foi aplicado uniformemente, mesmo nas menores doses (Tabela 2).

Resultados semelhantes para o milho têm sido encontrados na literatura (Jungk & Barber 1974, Stryker et al. 1974 a), mostrando que o P deve estar em contato com o maior volume de raízes para que maior absorção de P e maior crescimento da planta sejam obtidos. Esse comportamento típico para o milho é atribuído à organização vascular das raízes e parte aérea desta planta, levando a certa compartimentalização interna do elemento, o que aparentemente não ocorre com a soja (Machado et al. 1983 a, b). Essa compartimentalização leva, aparentemente, a uma distribuição desuniforme de P nas folhas do milho (Robertson et al. 1966, Stryker et al. 1974 a, b), com conseqüentes variações em aspecto e composição entre os lados opostos à nervura central de uma mesma folha.

Neste trabalho, esse efeito da localização de P sobre a folha foi observado de maneira evidente (Fig. 1) quando as plantas foram submetidas ao tratamento 200-0 (200 mg de P/kg de solo em um vaso e zero no outro). As plantas deste tratamento tiveram, principalmente em suas folhas mais velhas, clorose longitudinal em apenas um dos dois lados opostos à nervura central. Essa clorose pareceu ser, à primeira vista, deficiência de nitrogênio, apesar da localização atípica do sintoma na folha. Como o sintoma não desapareceu com as aplicações semanais de 50 mg de N/kg de solo, sugeriu-se que o problema era causado por um desequilíbrio N-P naquele lado. Nada semelhante ocorreu no tratamento com dose equivalente de P aplicada uniformemente - 100-100.

A aplicação localizada de qualquer das doses de P testadas não causou crescimento diferencial entre as raízes, nos dois vasos, e nem mesmo variações significativas entre as concentrações de P dos dois lados do sistema radicular (Tabela 3). Essas observações sugerem que o crescimento radi-

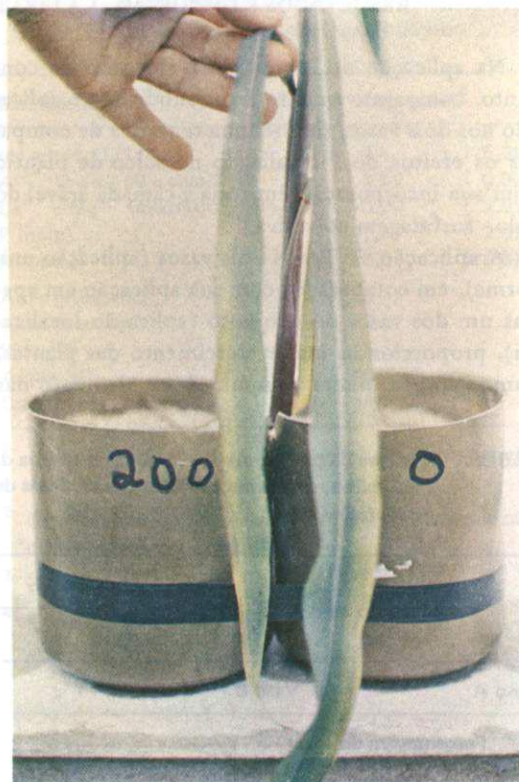


FIG. 1. Clorose foliar longitudinal em apenas um dos dois lados opostos à nervura central em plantas que receberam o fósforo localizado - 200 mg de P/kg de solo em apenas um dos dois vasos.

cular do milho não é tão dependente do conteúdo de P externo à raiz e, aparentemente, depende apenas do conteúdo interno, e que a compartimentalização sugerida talvez seja mais na parte aérea do que nas raízes.

Em soja, a localização do P apenas na metade de seu sistema radicular não estimulou o crescimento das raízes no outro vaso, embora as concentrações internas do elemento fossem semelhantes nos dois lados (Machado et al. 1983 b).

Os resultados apresentados neste trabalho, se comparados aos obtidos com a soja, permitem algumas conclusões interessantes, na verdade já utilizadas na prática, embora mais por observação de efeitos do que por compreensão de causas. O cultivo do milho no cerrado tem sido incrementado depois de alguns anos de cultivo da soja, geralmen-

TABELA 3. Produção da matéria seca de raiz e sua concentração de P, conforme a localização de doses deste elemento, em relação ao sistema radicular. Média de cinco repetições<sup>1</sup>.

Localização e dose de P <sup>2</sup>		Matéria seca de raiz			Concentração de P na raiz		
Vaso A	Vaso B	Vaso A	Vaso B	Média	Vaso A	Vaso B	Média
mg de P/kg de solo		mg			Porcentagem		
50	0	0,498	0,498	0,498b	0,050	0,046	0,048b
25	25	0,592	0,526	0,559b	0,052	0,052	0,052b
100	0	0,880	0,720	0,800b	0,055	0,050	0,053b
50	50	0,860	0,700	0,780b	0,055	0,058	0,057b
200	0	1,820	1,616	1,718a	0,094	0,081	0,087a
100	100	1,980	1,920	1,950a	0,103	0,096	0,099a

<sup>1</sup> Para cada parâmetro analisado, as médias seguidas de pelo uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

<sup>2</sup> Os vasos A e B, presos um ao outro com fita adesiva, constituíram um conjunto de vasos geminados.

te bem sucedidos. Essa abertura do cerrado de maneira eficiente pela soja tem sido, aparentemente, conseqüência da boa resposta desta cultura à aplicação de P apenas no sulco de plantio, em solos naturalmente muito pobres neste elemento, como sugerem Machado et al. (1983 b) e observações práticas de campo. E a adição anual de altas doses de P para o cultivo da soja faz com que, depois de alguns anos, toda a camada arável do solo apresente um conteúdo de P disponível bem maior que o original. O milho, por não responder de maneira satisfatória ao P localizado em solos muito pobres neste elemento, tem, depois do residual de P "uniformemente" distribuído, condições para boa produtividade. Nessas condições, a adubação localizada no sulco de plantio, geralmente, ainda se faz necessária, pois há, nesse caso, além do P localizado, uma quantidade pelo menos razoável do elemento em toda a camada arável do solo.

Por outro lado, para que maiores produtividades de milho cultivado em um solo de cerrado de primeiro ano, pobre em P, sejam obtidas, aparentemente terá que ser feita uma fosfatagem corretiva, além da adubação localizada no sulco de plantio.

Essas colocações podem levar à indagação: qual deverá ser o teor mínimo de P disponível de um solo que, com a sua aplicação apenas no sulco de plantio, não permita limitações da produtividade por deficiência deste elemento?

#### REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. *Agron. J.*, 72:685-8, 1980.
- BARBER, S.A. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F.E. & SAMPLE, E.C., eds. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, Wis., Soil Sci. Soc. Am., 1980. p.591-615.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solos e plantas. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- BRAY, R.H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.*, 78:9-22, 1954.
- FOX, R.L. & KANG, B.T. Influence of phosphorus fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. *Soil Sci.*, 125:34-40, 1978.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Phosphate uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots exposed to phosphate. *Agron. J.*, 66:554-7, 1974.
- KAMPRATH, E.J. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. *Agron. J.*, 59:25-7, 1967.
- MACHADO, R.P.; NOVAIS, R.F.; BORGES, A.C. & SEDIYAMA, C.S. Efeito da localização de diferentes doses de fósforo no vaso sobre o comportamento da soja. *R. Ceres*, 30:308-18, 1983a.
- MACHADO, R.P.; NOVAIS, R.F.; SEDIYAMA, C.S. & BORGES, A.C. Efeito da localização de doses de fósforo, em relação ao sistema radicular, sobre o comportamento da soja, com a utilização da técnica de raízes subdivididas. *R. Ceres*, 30:295-307, 1983b.
- MILLER, M.H.; BATES, T.E.; SIGH, D. & BAWEJA, A.S. Response of corn to small amounts of fertilizer placed with the seed. I. Greenhouse studies. *Agron. J.*, 63:365-8, 1971.

- MUNNS, D.N. & FOX, R.L. The slow reaction which continues after phosphate adsorption; kinetics and equilibrium in some tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 40:46-51, 1976.
- ROBERTSON, J.A.; KANG, B.T.; RAMIREZ-PAZ, F.; WERKHOVER, C.H.E. & OHLROGGE, A.J. Principles of nutrient uptake from fertilizer bands. VII.  $P^{32}$  uptake by brace roots of maize and its distribution within the leaves. *Agron. J.*, 58:293-6, 1966.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform phosphorus distribution in the root zone of corn; growth and phosphorus uptake. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 38:334-40, 1974a.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. *Physiol. Plant.*, 30: 231-9, 1974b.
- WELCH, L.F.; MULVANEY, D.L.; BOONE, L.V.; MCKIBBEN, G.E. & PENDLETON, J.W. Relative efficiency of broadcast versus banded phosphorus for corn. *Agron. J.*, 58: 283-7, 1966.