

# RESPOSTA DA CULTURA DO MILHO A MODOS DE APLICAÇÃO E DOSES DE FÓSFORO, EM ADUBAÇÃO DE MANUTENÇÃO<sup>(1)</sup>

R. M. PRADO<sup>(2)</sup>, F. M. FERNANDES<sup>(3)</sup> & C. G. ROQUE<sup>(2)</sup>

## RESUMO

Os modos de adubação fosfatada mais estudados na cultura do milho são relacionados com a aplicação a lanço e a localizada no sulco de semeadura. No entanto, existe a possibilidade da aplicação intermediária, em sulco duplo, que pode aumentar a fração do solo fertilizada e a eficiência da adubação. Com o objetivo de avaliar os efeitos de modos de aplicação e de doses de fertilizante fosfatado em adubação de manutenção, foi realizado este presente trabalho em Latossolo Vermelho-Escuro, na região do Triângulo Mineiro, em Uberaba (MG), com a cultura do milho, no período de outubro de 1995 a abril de 1996. Os tratamentos foram constituídos pelos modos de aplicação do adubo fosfatado (superfosfato triplo), a lanço, sulco simples e sulco duplo, e pelas doses de 0; 45,0; 67,5; 90,0; 112,5 e 135,0 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. As doses de P foram estimadas, tomando por base 0; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 vezes a dose recomendada para a adubação de manutenção, 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Verificou-se que: o uso de doses crescentes de P aumentou a produção de grãos de milho; os modos de aplicação do adubo fosfatado em sulco simples e sulco duplo foram mais eficientes que a lanço; dentre os modos de aplicação, destacou-se a aplicação em sulco duplo; o teor foliar de P variou de 2,1 a 2,4; 2,1 a 2,7 e de 2,1 a 2,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para a aplicação a lanço, em sulco simples e em sulco duplo. O incremento na produção do milho foi de 0,45 a 3,04 t ha<sup>-1</sup> no sulco simples e de 0,21 a 4,4 t ha<sup>-1</sup> no sulco duplo.

**Termos de indexação:** modos de adubação, superfosfato triplo, sulco simples, sulco duplo, lanço, cerrado.

---

<sup>(1)</sup> Trabalho apresentado na XXIII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 11 a 16 de Outubro de 1998, Caxambu (MG). Recebido para publicação em março de 2000 e aprovado em outubro de 2000.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade do Estado de São Paulo – UNESP. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/nº, CEP 14870-000 Jaboticabal (SP). Bolsista da FAPESP. E-mail: rmprado@fcav.unesp.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Rural, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, UNESP. Caixa Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: maximino@agr.feis.unesp.br

**SUMMARY:** *EFFECTS OF FERTILIZER PLACEMENT AND LEVELS OF PHOSPHORUS ON FOLIAR PHOSPHORUS CONTENT AND CORN YIELD*

*The most commonly studied phosphorus fertilizer placements in maize crop are scattering and furrow – localized. However, double furrow intermediary application is also possible, and may increase the fertilized soil fraction and fertilization efficiency. This research was carried out to evaluate the effects of fertilizer placement and doses of phosphorus fertilizer under maintenance fertilization of a corn crop, in a Dark-Red Latosol, in Triângulo Mineiro, Uberaba (MG, Brazil), from October 1995 to April 1996. The treatments consisted of the following fertilizer placements (triple superphosphate): broadcasting, single furrow and double furrow and the following doses of 0; 45.0; 67.5; 90.0; 112.5 and 135.0 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Doses of P were estimated based on 0; 0.50; 0.75; 1.00; 1.25; 1.50 time the dose recommended for maintenance fertilization, 90 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. It was found out that the use of increasing P doses increased corn grain yield; the phosphorus fertilizer placements in single furrows and double furrows were more efficient than broadcasting; double furrow application was the most outstanding mode of placement; foliar P content varied from 2.1 to 2.4; 2.1 to 2.7 and from 2.1 to 2.9 g kg<sup>-1</sup>, respectively, for broadcasting, single furrows and double furrows. Corn yield increased from 0.45 to 3.04 t ha<sup>-1</sup> for single furrows and from 0.21 to 4.4 t ha<sup>-1</sup> for double furrows.*

*Index terms: fertilization placements, triple superphosphate, single furrow, double furrow, scattering, cerrado.*

## INTRODUÇÃO

Os Latossolos da região do cerrado normalmente apresentam baixo teor de fósforo disponível, conforme sua natureza mineralógica e reação ácida (Lopes, 1983), razão por que, em tais circunstâncias, a adubação fosfatada torna-se necessária para garantir a produtividade máxima econômica das culturas. Nesse sentido, têm-se realizado pesquisas sobre modos de aplicação de fósforo no solo, buscando melhorar sua eficiência na cultura do milho (Anghinoni, 1992).

Os modos de adubação mais discutidos na literatura são a aplicação a lanço e a localizada no sulco de semeadura. A adubação a lanço faz com que praticamente 100% do fertilizante fosfatado entre em contato com o solo, possibilitando elevada adsorção de P e reduzindo o aproveitamento desse elemento pela planta. Por outro lado, para diminuir a adsorção, utiliza-se a aplicação localizada do adubo fosfatado e, como consequência, pequena porção do sistema radicular entra em contato com o fósforo proveniente do adubo (Malavolta, 1981). Nesse aspecto, tornam-se necessários estudos de modos de aplicação intermediários, a fim de aumentar a fração de solo fertilizado, sem incorrer em avanços significativos da adsorção, o que refletiria em maior eficiência de uso do adubo fosfatado pelas plantas (Yost et al., 1979).

Apesar de serem escassos os trabalhos na literatura a respeito do modo de aplicação

intermediário da adubação fosfatada de manutenção, em condições de campo, existem relatos com resposta positiva na cultura do milho (Vasconcellos et al., 1986). Entretanto, recomenda-se apenas a forma localizada, no sulco de semeadura, colocando-se o fertilizante a 5 cm ao lado e de 5 a 10 cm de profundidade (Coelho, 1997), não existindo, nas áreas comerciais, o modo de adubação intermediário.

Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta do milho ao modo intermediário de aplicação do adubo fosfatado, em sulco duplo, comparado-o com a aplicação em sulco simples e a lanço, em diferentes doses de adubação de manutenção.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Uberaba (MG), na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, num Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, classificado segundo a EMBRAPA (1988). As análises química e física do solo encontram-se no quadro 1. O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, com as parcelas principais organizadas em blocos, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos modos de aplicação do adubo fosfatado (sulco duplo, sulco simples e a lanço), enquanto as subparcelas, pelas doses de adubação fosfatada: 0; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50 vez a dose recomendada para a adubação de manutenção, 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (CFSEMG, 1989), perfazendo um

**Quadro 1. Atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho-Escuro, na profundidade 0-20 cm**

<b>pH H<sub>2</sub>O (1:2,5)</b>	<b>MO</b>	<b>P<sup>(1)</sup></b>	<b>K<sup>(1)</sup></b>	<b>Al<sup>(2)</sup></b>	<b>Ca<sup>(2)</sup></b>	<b>Mg<sup>(2)</sup></b>	<b>H + Al<sup>(3)</sup></b>	<b>SB</b>	<b>T</b>	<b>V</b>
	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol dm <sup>-3</sup>						%	
6,2	25	5	0,9	0	30	7	21	37,9	58,9	64
	<b>Areia grossa</b>		<b>Areia fina</b>		<b>Silte</b>			<b>Argila<sup>(4)</sup></b>		
	g kg <sup>-1</sup>									
	60		20		260			660		

<sup>(1)</sup> P e K extraídos pelo Mehlich-1. <sup>(2)</sup> Ca, Mg e Al extraído com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; MO determinado pelo método Walkley & Black (Defelipo & Ribeiro, 1981). <sup>(3)</sup> H + Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>; pH 7,0 (Raij & Quaggio, 1983). <sup>(4)</sup> Silte e argila, método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

total de 18 tratamentos e 72 unidades experimentais. Utilizou-se, como fonte de P, o superfosfato triplo granulado (44% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

O preparo de solo constou de uma gradagem pesada (grade de 14 discos x 32"), seguida de escarificação (escarificador com nove hastes vibratórias) até 30 cm de profundidade e, ainda, de duas gradagens de nivelamento. Na área do experimento, a cultura anterior foi a soja de ciclo tardio, durante cinco anos agrícolas consecutivos.

A adubação básica consistiu da aplicação a lanço, incorporada na camada de 0-20 cm de profundidade, trinta dias antes da semeadura, de 115 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de cloreto de potássio, com o objetivo de saturar 4% da CTC com potássio; 300 kg ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, e 40 kg ha<sup>-1</sup> de óxidos silicatados (B = 2,5%; Cu = 1,0%; Fe = 3,0%; Mn = 3,0%; Mo = 0,1% e Zn = 15,0%).

A semeadura foi realizada com a semeadora-adubadora modelo Jumil Magnum 2800 com plataforma de cinco metros, equipada com quatro unidades semeadoras para a distribuição das sementes e oito unidades adubadoras para a distribuição do fertilizante fosfatado com discos duplos.

A aplicação do fertilizante fosfatado constou dos seguintes tratamentos: (a) sulco simples (modo convencional): refere-se à unidade adubadora ao lado da linha da semente, posicionada a 5 cm ao lado e abaixo da semente. Com esta adubação, a faixa fertilizada no fundo do sulco foi de aproximadamente 4,5 cm de largura, ao passo que o espaçamento da cultura adotado foi de 0,90 m, o que corresponde aproximadamente a 5% da fração horizontal do solo; (b) sulco duplo: consistiu de dois sulcos da unidade adubadora em cada linha da unidade semeadora, posicionada a 5 cm a cada lado e abaixo da semente,

de modo que a faixa fertilizada passou a ser o dobro da anterior; perfazendo aproximadamente 10% da fração do solo; (c) a lanço: aplicação em área total, manualmente e com posterior incorporação a aproximadamente 15 cm de profundidade com grade niveladora (32 discos x 22"), perfazendo 100% da fração do solo fertilizado.

As parcelas foram constituídas de quarenta e oito, e as subparcelas, de oito linhas, espaçadas de 0,90 m, com 20 m de comprimento, perfazendo a área total de 864 e 144 m<sup>2</sup>, respectivamente. Manteve-se a distância de 8 m entre blocos (repetições) para a realização das manobras das máquinas.

Utilizou-se o híbrido triplo BR 3123, produzido pela Embrapa Milho e Sorgo (Sete Lagoas, MG), recomendado para a região em estudo, semeado em 16 de outubro de 1995. A densidade populacional de semeadura foi calculada com base em 55.000 plantas estabelecidas por hectare.

A adubação de cobertura foi realizada mecanicamente, 22 dias após a semeadura (quinta folha exposta), com 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 20-00-10, incorporada a 5 cm de profundidade e posicionada lateralmente a 20 cm das plantas.

Na época do florescimento, 65 dias após a semeadura, amostrou-se o terço médio de 10 folhas por tratamento e por repetição. A folha amostrada correspondeu àquela abaixo e oposta à inflorescência feminina, de acordo com Malavolta (1992). As amostras obtidas foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, pesadas e moídas, determinando-se, a seguir, o fósforo, de acordo com o método descrito por Bataglia et al. (1983).

Para obter a produção de grãos, foram colhidas, em 20 de abril de 1996, as quatro linhas centrais de cada subparcela, perfazendo uma área útil de 72,0 m<sup>2</sup>, e, em seguida, foram colhidas amostras para

corrigir a unidade dos grãos para 0,13 kg kg<sup>-1</sup>. Além disso, determinou-se o fator P, que é o fator de utilização do P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aumento de produção em kg ha<sup>-1</sup>) (Tyney & Weeb, 1946), sendo o aumento da produção obtido a partir da produção de grãos no nível zero de P (testemunha).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey e análise de regressão (Gomes, 1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 2, são apresentados um resumo da análise de variância dos dados de produção de grãos de milho e o teor foliar de P, para modos de aplicação de fósforo, doses de fósforo e para a interação modo de aplicação *versus* doses de fósforo. Em ambas as variáveis estudadas, houve efeito significativo para o modo de aplicação, para as doses de P e para a interação modo de aplicação *versus* doses de fósforo, com exceção dada para a interação na variável teor foliar de P.

O efeito do modo de aplicação do P indicou que a produção de grãos de milho no sulco duplo foi superior à do sulco simples, e este maior que a aplicação a lanço (Figura 1). A interação observada indica que os modos de aplicação não tiveram o mesmo comportamento de acordo com as doses de P utilizadas na produção de grãos de milho. A interação iniciou-se na dose de 67,5 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e os modos de aplicação localizados foram superiores ao modo a lanço, na produção de grãos, e, somente a partir dessa

dose, houve diferença entre as aplicações localizadas, destacando-se o sulco duplo (Figura 2).

Portanto, os resultados obtidos evidenciaram superioridade da aplicação do adubo fosfatado de manutenção em sulco duplo, indicando que, utilizando esse modo de aplicação da adubação fosfatada, em solos com baixo teor de P-disponível e nos solos de cerrado em geral, a adsorção do fósforo é minimizada e, ao mesmo tempo, o contato do adubo fosfatado com o sistema radicular das plantas é maximizado. Ressalta-se que o volume de solo explorado pelas raízes de uma planta é, em média, 1% do volume do solo (Bray, 1954). Resultados semelhantes com aplicação do fósforo pelo modo intermediário foram obtidos por Barber (1977), Vasconcellos et al. (1986) e Anghinoni (1992).

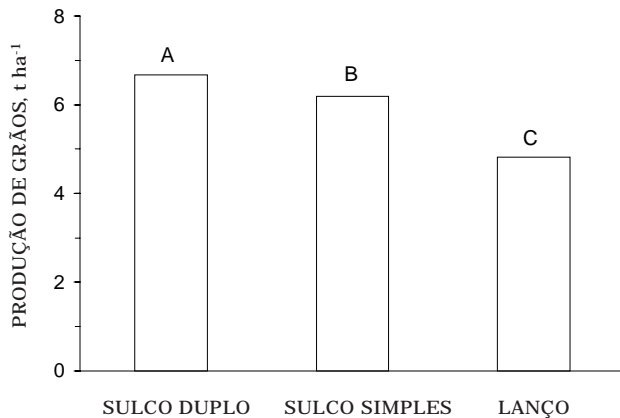
Cabe salientar que o efeito favorável do sulco duplo na cultura do milho deveu-se, além da interação favorável P-solo, discutida anteriormente, à interação P-planta. Segundo Barber (1995), com a aplicação localizada do adubo fosfatado no milho, ocorre maior desenvolvimento radicular na área adubada, e o grau de proliferação depende da quantidade de fósforo aplicada e do seu nível inicial no solo. Anghinoni & Barber (1980) demonstraram haver estresse nutricional quando parte do sistema radicular do milho estava adequadamente suprida de fósforo.

Nessa mesma linha, Novais et al. (1985) observaram que o P se acumula de maneira desuniforme na folha do milho, em consequência de sua disponibilidade limitada a apenas uma parte do sistema radicular, como ocorre na aplicação localizada. Todavia, quando fornecido em ambos os

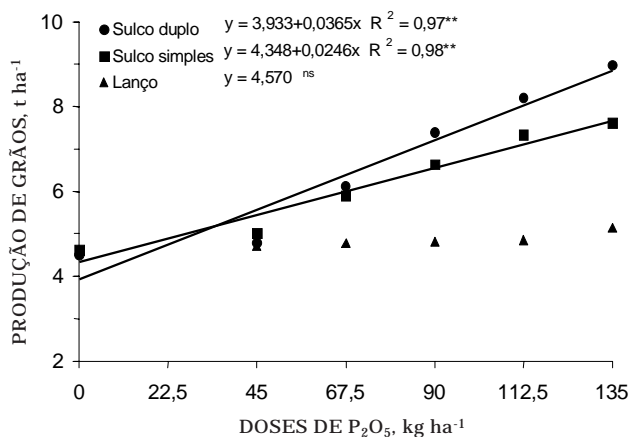
**Quadro 2. Resumo da análise de variância dos dados de produção de grãos de milho e teor foliar de P, para os fatores estudados**

Causa de variação	GL	F	
		Produção de grão	Teor foliar de P
Blocos	3	0,62 <sup>ns</sup>	12,37**
Modo de aplicação (M)	2	90,07**	7,64*
Resíduo (a)	6	-	-
(Dose de fósforo - D)	(5)	(78,56**)	18,76**
(M x D)	(10)	(16,49**)	1,20 <sup>ns</sup>
D dentro de M1	5	0,74 <sup>ns</sup>	-
D dentro de M2	5	34,12**	-
D dentro de M3	5	76,68**	-
Resíduo (b)	45	-	-
C.V. (a) (%)		8,4	8,6
C.V. (b) (%)		7,1	8,2

<sup>ns</sup>, \* e \*\*: Não significativo (P > 0,05), significativos a P < 0,05 e P < 0,01, respectivamente.



**Figura 1. Efeito dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado em sulco duplo, sulco simples e a lanço na produção de grãos da cultura do milho (dados médios de seis doses de fósforo e quatro repetições). Colunas com a mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).**



**Figura 2. Efeito dos modos de aplicação do fertilizante fosfatado em sulco simples e sulco duplo na produção de grãos da cultura do milho.**

lados da planta, a distribuição de P interna é uniformemente favorecida. Essa compartimentalização de P na planta, em resposta ao contato do elemento com apenas parte do sistema radicular, indica haver limitação na redistribuição interna de P na planta (Alves et al., 1999) e pode ser explicada pelo tipo de vascularização entre folhas e raízes do milho (Stryker et al., 1974).

As doses de fósforo em adubação de manutenção, em geral, influenciaram significativamente a produção de grãos de milho (Quadro 2), o que está de acordo com diversos trabalhos relatados na literatura (Neptune et al., 1982; Souza et al., 1998).

A quantidade de fósforo recomendada para a aplicação no sulco de semeadura, considerando o teor do nutriente no solo,  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , mostrou-se insuficiente para proporcionar as maiores produções de grãos no experimento, que foram de  $7,25 \text{ t ha}^{-1}$ , para a dose de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , e de  $6,80 \text{ t ha}^{-1}$ , para a dose de  $112,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . A dose de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  proporcionou produção de  $6,29 \text{ t ha}^{-1}$  de grãos de milho, a qual está de acordo com a recomendação da CFSEMG (1989), tanto para a dose de P, quando o teor de P no solo for muito baixo, como para a produtividade esperada. Em outros países, em lavouras de alta produtividade, as doses máximas recomendadas para a aplicação no sulco de semeadura variam de  $120$  a  $250 \text{ kg ha}^{-1}$ , segundo Gamboa (1980), citado por Cantarella (1993).

Analisando os modos de aplicação e as doses de fósforo, isoladamente (Quadro 2), nota-se que, na aplicação a lanço, não houve efeito significativo de doses. Conforme era esperado, esse efeito, provavelmente, deveu-se à alta adsorção de P nesse solo, uma vez que a aplicação a lanço levou a um maior contato do P com a fase sólida do solo, favorecido pelo elevado teor de argila (Quadro 1). Entretanto, na aplicação em sulco simples e sulco duplo, houve efeito significativo das doses de P, uma vez que o fenômeno da adsorção foi reduzido graças ao menor contato do P com o solo.

Com base nas equações da figura 2, estima-se que, em média, para cada  $\text{kg}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  aplicado, tem-se incremento de  $36,5$  e  $24,6 \text{ kg}$  de milho em relação à testemunha, para os modos de aplicação em sulcos duplo e simples, respectivamente. Desse modo, pode-se inferir que as estimativas de incrementos da produção com a adubação fosfatada podem ser aumentadas em  $48\%$ , quando se opta pela aplicação em sulco duplo, em relação ao modo convencional em sulco simples.

O efeito não-significativo das doses de fósforo estudadas neste experimento, com aplicação a lanço (Figura 2), deveu-se, provavelmente, além da maior adsorção já mencionada, às quantidades utilizadas, ou seja, à maior dose de  $\text{P}_2\text{O}_5$  utilizada, que foi de  $135 \text{ kg ha}^{-1}$ . A recomendação da CFSEMG (1989), em adubação corretiva (aplicação a lanço), é de  $4 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para cada  $10 \text{ g kg}^{-1}$  de argila presente no solo, quando o P disponível apresentar menos que  $5 \text{ mg dm}^{-3}$ . Portanto, no caso deste experimento e seguindo a recomendação, a dose de P seria de  $264 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que é praticamente o dobro dos  $135 \text{ kg ha}^{-1}$  utilizados.

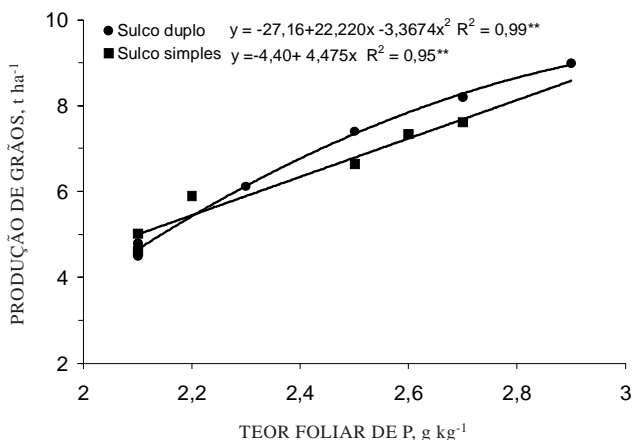
Estes resultados indicam, ainda, que a aplicação do adubo fosfatado em sulco duplo mostrou efeito menor em dose baixa ( $45 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e maior na dose recomendada ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) e, principalmente, acima dela, podendo-se inferir que esse tipo de aplicação de P é mais vantajoso para lavouras de alta tecnologia, enquanto para lavouras

de baixa tecnologia, que utilizam doses de P baixas ou inferiores às recomendadas para a região, a adubação localizada, do modo convencional, em sulco simples é mais vantajosa.

Pelos teores foliares de fósforo, observou-se que o modo de aplicação a lanço provocou as menores alterações, como era esperado, variando de 2,1 a 2,4 g kg<sup>-1</sup> diferindo-se significativamente do sulco duplo, com P foliar variando de 2,1 a 2,9, que, por sua vez, não diferiu do sulco simples, que foi de 2,1 a 2,7 g kg<sup>-1</sup> (Quadro 3). O aumento do teor foliar de P, considerando a adubação fosfatada localizada, pode explicar o aumento da produção de grãos, tendo em vista a relação positiva entre o teor foliar de P e a produção de grãos (Figura 3).

No entanto, verificou-se que o teor foliar de P foi menor que 2,5 g kg<sup>-1</sup> na aplicação a lanço e nas aplicações localizadas em doses menores que 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Quadro 3), resultando em menores produções de grãos, enquanto as aplicações localizadas em doses superiores a 90 kg ha<sup>-1</sup> apresentaram teores foliares acima desse nível e, conseqüentemente, as maiores produções de grãos (Figura 3).

É possível que as menores produções de grãos estejam associadas aos teores foliares de P menores que 2,5 g kg<sup>-1</sup>, uma vez que esses teores são considerados baixos na interpretação de Malavolta et al. (1997), que consideram adequada a faixa de 2,5 a 3,5 g kg<sup>-1</sup>. Entretanto, para Cantarella et al. (1996), a faixa de teores de P considerada adequada é de 2,0 a 4,0 g kg<sup>-1</sup>.



**Figura 3. Relação do teor foliar de P e a produção de grãos de milho, considerando os modos de aplicação em sulco duplo e sulco simples.**

Acredita-se que a diferença entre as faixas adequadas de P nas folhas observadas por esses autores seja devida ao uso de diferentes cultivares, uma vez que Machado et al. (1999) observaram grande variabilidade entre genótipos e cultivares de milho para a eficiência do uso de fósforo.

Os teores foliares de N, K, Ca, Mg e S (dados não apresentados) não foram influenciados significativamente pelos modos e pelas doses da adubação fosfatada. Na literatura, são escassos os trabalhos que estudaram os efeitos dos modos de adubação

**Quadro 3. Teor foliar de P, incremento de produção de milho e fator de utilização do fósforo, considerando os tratamentos**

Dose de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Modo de aplicação								
	Lanço			Sulco simples			Sulco duplo		
	Teor de P <sup>(1)</sup>	Aumento da produção <sup>(2)</sup>	Fator P <sup>(3)</sup>	Teor de P	Aumento da produção	Fator P	Teor de P	Aumento da produção	Fator P
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	
45,0	2,1	0,13	0,346	2,1	0,45	0,100	2,1	0,21	0,210
67,5	2,1	0,20	0,337	2,2	1,32	0,051	2,3	1,54	0,044
90,0	2,3	0,24	0,375	2,5	2,06	0,044	2,5	2,82	0,032
112,5	2,3	0,28	0,402	2,6	2,76	0,041	2,7	3,63	0,031
135,0	2,4	0,57	0,237	2,7	3,04	0,044	2,9	4,40	0,031
Média <sup>(4)</sup>	2,2B			2,4AB			2,4A		

<sup>(1)</sup> na testemunha, sem P, teor foliar = 2,1 g kg<sup>-1</sup>. <sup>(2)</sup> Obtido em relação a média de produção de grãos (4,58 t ha<sup>-1</sup>) na dose zero de P (ausência de aplicação de P) considerando os três modos de aplicação. <sup>(3)</sup> Fator P: fator de utilização do P (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/aumento de produção em kg ha<sup>-1</sup>). <sup>(4)</sup> Letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

fosfatada nos teores dos nutrientes, além do P. Entretanto, Alves et al. (1999), estudando o fornecimento de P em parte do sistema radicular do milho, em vasos, observaram que não houve diferença significativa na absorção dos outros nutrientes (N, Ca e Mg) em um dos experimentos; no outro, houve redução na acumulação desses nutrientes pela parte aérea do milho.

De qualquer forma, os resultados deste trabalho evidenciam que os fatores mais importantes para explicar a produção de grãos do milho, o modo de aplicação do fósforo no solo e, conseqüentemente, o teor foliar foram mais importantes que as alterações na absorção de outros nutrientes.

Cabe salientar, ainda, que a variação no teor foliar de P, especialmente pela aplicação localizada da adubação fosfatada da testemunha para maior dose de P, atingiu o máximo de  $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ , para um aumento considerável da produção de grãos de milho ( $4,4 \text{ t ha}^{-1}$ ). As menores variações do P das folhas de acordo com as doses podem ter recebido contribuição do efeito concentração e diluição, provocado pelo menor e maior crescimento das plantas, uma vez que, embora não se disponha de resultados quantitativos, notou-se que o desenvolvimento inicial do milho foi mais lento nas parcelas com aplicação das doses zero (testemunha) e  $45 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , em comparação com as parcelas com as doses maiores de adubo.

Na literatura, resultados semelhantes foram obtidos por Neptune et al. (1982), que encontraram incremento no P foliar do milho de apenas  $0,83 \text{ g kg}^{-1}$ , resultando em um aumento da produção de grãos de milho de mais de  $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ . O teor foliar de P passou de  $2,05 \text{ g kg}^{-1}$  (ausência de adubação fosfatada e produção de  $3,98 \text{ t ha}^{-1}$ ) para  $2,88 \text{ g kg}^{-1}$ . Souza et al. (1998) também observaram, em um ensaio em condições de campo, que apenas uma variação de P foliar ainda menor de  $0,5 \text{ g kg}^{-1}$  resultou em incremento significativo na produção de milho ( $4,8 \text{ t ha}^{-1}$ ).

No quadro 3, verifica-se, ainda, que esse aumento no teor foliar de P nas aplicações localizadas acarretou um incremento na produção, que variou de  $0,45$  a  $3,04 \text{ t ha}^{-1}$ , na aplicação em sulco simples, e de  $0,21$  a  $4,40 \text{ t ha}^{-1}$ , na aplicação em sulco duplo.

Outro aspecto observado foi o fator de utilização de P (Quadro 3), que, segundo Tyney & Webb (1946), pode ser definido como a quantidade, em unidade de nutriente, exigida para produzir aumento de uma unidade de produção. Os dados evidenciaram que o aumento da dose de P diminuiu o fator de utilização nos dois modos de aplicação de fósforo, ou seja, aumentou a eficiência do adubo fosfatado aplicado. Entretanto, esta eficiência foi melhor quando o adubo fosfatado foi aplicado em sulco duplo, confirmando os dados das figuras 1 e 2. Neptune et al. (1982), em um experimento com diferentes doses de adubo fosfatado, encontraram o fator de utilização de P igual a  $0,051$ , valor esse próximo ao encontrado neste trabalho.

Em síntese, o presente estudo revelou uma alternativa para a adubação fosfatada de manutenção em sulco duplo, que pode ser vantajosa, mesmo em áreas que estejam sendo exploradas há mais de cinco anos, mas que ainda apresentam limitado teor de P no solo. Por outro lado, os resultados deste trabalho reforçaram a tese de que uma das prováveis causas da produtividade limitada do milho no cerrado esteja associada ao estresse nutricional, decorrente da fertilização fosfatada em apenas um lado da planta, ou seja, em sulco simples.

## CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses crescentes de fósforo aumentou a produção de grãos de milho.
2. O teor foliar de P, considerando o modo de aplicação, foi superior ao teor a lanço, porém semelhante ao do sulco simples.
3. Os modos de aplicação do adubo fosfatado em sulco simples e sulco duplo foram mais eficientes que a aplicação a lanço, porém o incremento na produção do milho foi superior no sulco duplo em relação ao sulco simples.

## AGRADECIMENTOS

À Agropecuária Nossa Senhora Aparecida de Uberaba (MG), por ceder o espaço físico, e ao Prof. Dr. William Natale, pelas sugestões no manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A. & FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e de fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo nas raízes. R. Bras. Ci. Solo, 23:299-305, 1999.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. R. Bras. Ci. Solo, 16:349-53, 1992.
- ANGHINONI, I. & BARBER, S.A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. Agron. J., 22:685-688, 1980.
- BARBER, S.A. Mecanismos de absorção de fósforo sob condições de estresse ambiental. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL, 1., Belo Horizonte. 1992, Anais. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. p.233-237.

- BARBER, S.A. Placement of phosphate and potassium for increased efficiency. *Solutions*, 21:24-25, 1977.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. & GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78)
- BRAY, R.H. A nutrient mobility concept of soil-plant relationships. *Soil Sci.*, 78:9-22, 1954.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BULL, L. T. & CANTARELLA, H., eds. *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba, 1993. p.147-196.
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B.van & CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1996. p.45-71.
- COELHO, J.L.D. Critérios de seleção de máquinas e implementos agrícolas para a cultura do milho. In: FANCELLI, A.L. & DOURADO-NETO, D., eds. *Tecnologia da produção de milho*. Piracicaba, Publique, 1997. p.1-9.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (4ª aproximação)* Lavras, 1989. 159p.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de modos de análise de solos*. Rio de Janeiro, 1979. 620p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1988. 122p.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 13.ed. São Paulo, Nobel, 1990. 467p.
- LOPES, A.S. *Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo*. Piracicaba, POTAFÓS, 1983. 162p.
- MACHADO, C.T.T.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L. & MACHADO, A.T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. *Bragantia*, 58:109-124, 1999.
- MALAVOLTA, E. *ABC da análise de solo e folhas: amostragem, interpretação e sugestões de adubação*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1992. 124p.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3ed. São Paulo, Agronômica Ceres, 1981. 594p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- NEPTUNE, A.M.L.; NAKAGAWA, J.; SCOTTON, L.C. & SOUZA, E.A. Efeitos de doses não equidistantes de N, P, K, nas concentrações destes macronutrientes na folha e na produção do milho (*Zea mays* L.). *An. ESALQ*, 39:917-941, 1982.
- NOVAIS, R.F.; FERREIRA, R.P.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Absorção de fósforo e crescimento do milho com sistema radicular parcialmente exposto à fonte de fósforo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 20:749-754, 1985.
- RAIJ, B. van. & QUAGGIO, J.A. *Métodos de análise de solo*. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81)
- SOUZA, E.C.A.; COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W. & BARABOSA, J.C. Respostas do milho à adubação com fósforo e zinco. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1031-1036, 1998.
- STRYKER, R.B.; GILLIAM, J.W. & JACKSON, W.A. Nonuniform transport of phosphorus from single roots to the leaves of *Zea mays*. *Physiol. Plant.*, 30:231-239, 1974.
- TYNEY, E.H. & WEEB, J.W. The relation of corn yields to nutrient balance as revealed by leaf analysis. *J. Am. Soc. Agron.*, 38:173-185, 1946.
- VASCONCELLOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. & PITTA, G.V.E. Doses, modos de aplicação e fontes de fosfatos na produção de milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 21:245-254, 1986.
- YOST, R.S.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E. & NADERMAN, G. Phosphorus response of corn on Oxisol as influenced by rates and placement. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43:338-343, 1979.