

# NÍVEIS, MÉTODOS DE APLICAÇÃO E FONTES DE FOSFATOS NA PRODUÇÃO DE MILHO<sup>1</sup>

CARLOS ALBERTO VASCONCELLOS<sup>2</sup>, HÉLIO L. DOS SANTOS<sup>3</sup>,  
GONÇALO E. DE FRANÇA, ANTÔNIO F. DE C. BAHIA FILHO e GILSON V.E. PITTA<sup>2</sup>

**RESUMO** - Em Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, fase cerrado, foi instalado um ensaio, com duração de cinco anos, objetivando determinar a eficiência relativa da adubação fosfatada de correção, avaliar métodos de aplicação da adubação de manutenção e estabelecer as melhores combinações econômicas. Nos anos de maior déficit hídrico foram necessárias maiores quantidades de fertilizantes fosfatados para o máximo rendimento físico. A eficiência relativa da adubação de correção diminuiu com as sucessivas aplicações no sulco. No primeiro ano foram necessários 39,4 kg de  $P_2O_5$ /ha no sulco para produzir o equivalente a 100 kg de  $P_2O_5$  aplicados a lanço. Após cinco anos, foram necessários 11,1 kg de  $P_2O_5$ /ha como superfosfato triplo. O maior lucro foi obtido com a aplicação de 200 kg de  $P_2O_5$  total/ha como correção e 150 kg de  $P_2O_5$  solúvel em água como superfosfato triplo em manutenção. Independentemente da adubação de correção, a aplicação da adubação de manutenção em faixa de 10 cm de largura por 15 cm de profundidade proporcionou lucros 15% superiores ao da adubação no sulco. O nível crítico econômico, extrator Mehlich I na presença da fonte solúvel, foi de 13,8 ppm de P. O fosfato de Patos de Minas foi uma fonte inadequada para adubação corretiva na cultura do milho.

Termos para indexação: fósforo, adubação fosfatada, eficiência relativa.

## LEVELS, METHODS OF APPLICATION AND SOURCES OF PHOSPHATE ON CORN PRODUCTION

**ABSTRACT** - Corn experiments were conducted for five years on a dark red latosol, originally under "cerrado" vegetation, to study levels, application methods and sources of phosphates. The efficiency of superphosphate and Patos de Minas rock phosphate broadcasted on soil surface and incorporated in the first years was compared for five years. In the year with dry period during cropping season more phosphorus was necessary to obtain maximum yield. The relative efficiency of broadcast phosphorus fertilization decreased with successive band application. The first year 39,4 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> of band application was necessary to produce the equivalent grain yield of 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> as triple superphosphate broadcast. Only 11 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> was necessary in the row to reach the same 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> band application. The economic fertilization was broadcast 200 kg of total  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> and 150 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> in the row annually. Independently of broadcast levels and phosphate source used at 10 cm with 15 cm depth strip increases 15% over the conventional band application. The critical economical P available by Mehlich I extractant, was 13.8 ppm. The Patos de Minas rock phosphate was an inadequate source for broadcasting fertilization.

Index terms: phosphorus, fertilization, relative efficiency.

## INTRODUÇÃO

É possível, através de metodologia de aplicação do fertilizante fosfatado ao solo, melhorar a utilização dos nutrientes pelas plantas de milho.

As aplicações no sulco de plantio concentram o fertilizante numa pequena percentagem do volume do solo explorado pelas raízes. Quando esta aplicação é efetuada a lanço, apesar de aumentar o volume do solo adubado, há aumento do fósforo fixado e, conseqüentemente, redução na sua disponibilidade.

Por outro lado, as plantas possuem uma capacidade máxima para absorver os nutrientes e está inversamente correlacionada com a idade da planta. O máximo desta capacidade de absorção é bem menor do que a concentração do P na solução do

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 9 de outubro de 1985. Trabalho apresentado na XVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, CEPLAC, Ilhéus, 22 a 27/07/84.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Dr. em Solos e Nutrição de Plantas., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., M.Sc. em Fitotecnia. EMBRAPA/CNPMS,

solo, quando o fertilizante é colocado no sulco de plantio. O aumento desta concentração localizada, portanto, pouca influência irá apresentar na absorção do nutriente pelo sistema radicular.

Fox & Tang (1978) expressaram que os melhores resultados, em produtividade, são obtidos quando os fertilizantes fosfatados, em níveis adequados, são incorporados em maior volume do solo, ou seja, aplicados a lanço. Neste caso, o estudo de economicidade seria importante, tendo em vista a aplicação de maiores quantidades do fertilizante. Aplicando-se menores quantidades, as melhores produções são obtidas quando o adubo é colocado abaixo e ao lado da linha de plantio. Garg & Welch (1967) inclusive encontraram maior absorção de fósforo quando o adubo foi aplicado junto à semente, quando comparado com a adubação tradicional no sulco de plantio e a lanço.

No caso dos fertilizantes fosfatados aplicados a lanço, a exploração de um maior volume de solo pelas raízes permite sua melhor utilização, principalmente quando em presença de períodos com deficiência hídrica, como os chamados veranicos (Olsen et al. 1961). Como o fósforo atinge a superfície radicular pelo processo de difusão, qualquer método de aplicação que favoreça a exploração pelas raízes de um maior volume de solo fertilizado, resultará no uso mais eficiente do adubo (Junk & Barber 1974, Barber 1977). A metodologia de aplicação, entretanto, deverá estar condicionada às condições climáticas de cada região.

O objetivo do trabalho foi o de determinar a eficiência relativa da adubação fosfatada de correção e avaliar três métodos de aplicação para a adubação de manutenção (sulco, faixa e lanço) além de estabelecer as melhores combinações econômicas em presença de diferentes condições climáticas.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi instalado em solo de relevo suave ondulado, caracterizado como Latossolo Vermelho-Escuro, textura argilosa, fase cerrado, do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, cujas características químicas iniciais foram: pH 4,9; Ca e Mg = 1,30 meq/100 cc; P = 3 ppm; K = 39 ppm; Al = 1,9 meq/100 cc; matéria orgânica = 3,8% determinadas conforme Vettori (1969).

O solo recebeu, aos quarenta dias antes do plantio, 7 t/ha de calcário dolomítico, com PRNT 65%. Por ocasião do plantio aplicaram-se a lanço, por pulverização, 30 kg de sulfato de zinco/ha incorporando-os, a seguir, com grade leve.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com três repetições e tratamentos em parcelas subdivididas. Nas parcelas, os tratamentos foram o superfosfato triplo e o fosfato de Patos de Minas, distribuídos a lanço no primeiro ano de plantio, nos níveis 0, 100, 200, 400 e 800 kg de  $P_2O_5$  total/ha. Consideraram-se 54% e 26% de  $P_2O_5$  total, respectivamente, para o superfosfato triplo e o fosfato de Patos de Minas. O nível 0 (testemunha) foi comum às duas fontes. Usou-se o  $P_2O_5$  total para facilitar a comparação entre fontes.

Nas subparcelas (5 x 6 m), foi estudada a adubação de manutenção anual no sulco de plantio. Foram aplicados, na forma de superfosfato triplo (45% de  $P_2O_5$  solúvel em água), os níveis 0, 50, 100 e 150 kg de  $P_2O_5$ /ha.

A análise de variância foi efetuada por ano, seguindo-se a análise conjunta considerando-se cada ano como um experimento, computando-se a adubação no sulco e a lanço.

Para avaliar modos de aplicação da adubação de manutenção nos tratamentos 0 e 100 kg de  $P_2O_5$  total/ha aplicados a lanço, adicionaram-se quatro subparcelas. Em duas delas foram estudados níveis de 50 e 100 kg de  $P_2O_5$ /ha colocados a lanço, anualmente. Nas duas restantes, os níveis de 50 e 100 kg de  $P_2O_5$ /ha foram aplicados em faixa de 10 cm de largura x 15 cm de profundidade, tendo-se a linha de plantio como ponto central.

O ensaio teve duração de cinco anos, com início no ano agrícola 1977/78. O plantio, usando o híbrido Cargill 111, foi efetuado, preferencialmente, na primeira quinzena de novembro.

Para a avaliação econômica destes resultados, foi ajustada uma equação cujo modelo geral seguinte foi adotada para avaliar os métodos da adubação de manutenção:

$$Y = b_0 + b_1 A_1 + b_2 A_2 + b_3 A_3 + b_4 A_4 + b_5 M_1 + b_6 M_2 + b_7 N_1 + b_8 F_1 + b_9 F_2 + b_{10} F_1 \cdot N_1 + b_{11} F_2 \cdot N_1 + b_{12} M_1 N_1 + b_{13} M_2 N_1 + \epsilon$$

onde Y é a produção obtida;  $A_1$  é uma variável do tipo zero-um que toma valor 1 para as observações do segundo ano e zero nas outras;  $A_2$  tem valor 1 apenas para as observações do terceiro ano,  $A_3$  é igual a 1 apenas nas observações referentes ao quarto ano, o mesmo ocorrendo com  $A_4$  nas observações do quinto ano. Estas variáveis são todas iguais a zero no primeiro ano. As variáveis  $M_1$  e  $M_2$  são do tipo zero-um, sendo que  $M_1$  é igual a 1 apenas nos tratamentos que utilizaram adubação em faixa, e  $M_2$  toma valor 1 somente naquelas observações referentes à adubação a lanço. Ambas são iguais a zero nas observações com adubação no sulco de plantio.

A variável  $N_1$  refere-se ao nível de  $P_2O_5$  aplicado nas adubações de manutenção. É igual a 0 (zero) quando o

nível é igual a 50 kg de  $P_2O_5$  e a 1 quando a quantidade de  $P_2O_5$  é igual a 100 kg/ha. Quanto a  $F_1$  e  $F_2$ , representam, as fontes utilizadas para adubação de correção.  $F_1$  toma valor 1 quando a produção se refere a tratamentos nas parcelas que receberam 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , na forma de superfosfato triplo. Apenas nos tratamentos com 100 kg de  $P_2O_5$  na forma de fosfato de Patos de Minas é que  $F_2$  é igual a 1. Quando  $F_1$  e  $F_2$  são iguais a zero na mesma observação, ela refere-se à testemunha, sem adubação de correção e é o termo de erro.

Esta equação foi ajustada pelo método "step wise", com nível de significância para entrada ou saída do modelo igual a 25%, (Draper & Smith 1981).

Para indicar as significâncias estatísticas adotou-se o seguinte critério: n.s. = não significativo; \* = significativo a 10%; \*\* = significativo a 5%; \*\*\* = significativo a 1%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Adubação de correção e adubação de manutenção

Na Tabela 1 encontra-se a análise de variância dos dados de produção de grãos envolvendo quatro anos de ensaio. Estatisticamente, não foi possível englobar os dados obtidos no primeiro ano. Através desta análise verificou-se que as produções de milho foram influenciadas significativamente pelo ano agrícola. Como não houve interação significativa entre o ano e a adubação de correção, pode-se inferir um efeito uniforme do ano sobre os tratamentos efetuados como adubação de correção. A produção, portanto, foi ajustada à equação:

$$\hat{y} = 2.917 + 1506,4 x - 404 x^2 \quad R^2 = 89,9\% \quad *** \quad (1)$$

sendo:

$\hat{y}$  = a produção de grãos em kg/ha dos anos, 1978/79, 1979/80, 1980/81 e 1981/82 e

$x$  = o ano, de 1 a 4.

Desta forma, tanto os níveis mais baixos quanto os mais altos da adubação de correção apresentaram produções igualmente influenciadas pela distribuição das chuvas em diferentes períodos de desenvolvimento da cultura, como demonstrado na Tabela 2. A melhor distribuição das chuvas foi obtida em 1979/80, correspondente ao máximo da equação 1. As menores produções foram obtidas em 1977/78 e 1981/82, com déficits hídricos no período de floração (50 - 70 dias após a germinação) e enchimento de grãos (> 80 dias após a germinação). Denmead & Shaw (1960), por

exemplo, constataram redução de 50% na produção de milho quando o período de déficit hídrico ocorreu em pleno florescimento.

A interação significativa entre os dois métodos de adubação (correção e manutenção) está associada principalmente à resposta linear para adubação no sulco de plantio, na ausência da adubação de correção, e ao efeito não significativo quando se aplicam 800 kg/ha como correção na forma de superfosfato triplo (Tabela 3). Esta interação, contudo, pode ser melhor visualizada através da equação:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 PL + b_2 PL^2 + b_3 PS + b_4 PS^2 + b_5 PLPS \quad (2)$$

sendo:

$\hat{y}$  = a produção relativa; PL e PS, os respectivos níveis de fósforo aplicados a lanço no primeiro ano de ensaio e anualmente no sulco de plantio.

Para obtenção destas equações (Tabelas 4 e 5), a maior produção obtida em cada ano foi igualada a 100 e, a partir deste valor, calcularam-se as demais produções relativas. O sinal positivo para os termos PL e PS indicam que estas formas de adubação (correção e manutenção) aumentam a produção de milho. Os valores negativos para  $PL^2$  e  $PS^2$  indicam que a produção de milho, por unidade de  $P_2O_5$  aplicado, decresce com o aumento da adubação. A interação negativa PL x PS demonstra que a resposta por unidade de  $P_2O_5$  aplicado por um método, decresce com o aumento do nível aplicado por outro método.

As equações apresentadas nas Tabelas 3 e 4 demonstram que o fosfato de Patos de Minas não é uma fonte adequada para a adubação de correção, mesmo com o tempo de cinco anos para sua solubilização no solo. Na Tabela 3, por exemplo, enquanto os valores da interseção das equações ajustadas demonstram o efeito da adubação de correção com o superfosfato triplo, para o fosfato de Patos de Minas os valores da interseção não diferem da testemunha. Na Tabela 4, as equações ajustadas não apresentam valores significativos para o componente fósforo a lanço.

Esta baixa eficiência do fosfato de Patos de Minas também pode ser observada nos trabalhos desenvolvidos por Tanaka (1978) e Tanaka et al. (1981) para a cultura do milho, por Ferreira & Kaminski (1979) para a cultura da soja, e por Goedert & Lobato (1980) em diferentes culturas.

TABELA 1. Análise de variância para os dados de produção de grãos (kg/ha), demonstrativa dos efeitos das adubações fosfatadas de correção e de manutenção e do ano agrícola.

| Fonte de variação               | GL  | SQ          | F        |
|---------------------------------|-----|-------------|----------|
| Repetição/Anos                  | 8   | 16.651.425  | 2,8      |
| Ano                             | 3   | 236.992.086 | 104,8*** |
| Ad. correção                    | 8   | 50.468.253  | 8,4***   |
| Ano x Ad. correção              | 24  | 13.164.132  | 0,7 n.s. |
| Erro (a)                        | 64  | 48.229.575  |          |
| Ad. manutenção                  | 3   | 206.922.408 | 170,0*** |
| Ad. manut. x Ad. correção       | 24  | 40.348.245  | 4,1***   |
| Ano x Ad. manut.                | 9   | 7.842.708   | 2,2**    |
| Ano x Ad. correção x Ad. manut. | 72  | 19.540.970  | 0,7 n.s. |
| Erro (b)                        | 216 | 87.625.459  | -        |

CV (a) = 23,7%; CV (b) = 17,4%.

TABELA 2. Precipitação (mm) em alguns períodos de desenvolvimento do milho.

| Dias após o plantio              | Ano agrícola |         |         |         |         |
|----------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | 1977/78      | 1978/79 | 1979/80 | 1980/81 | 1981/82 |
| 50 - 60                          | 27,8         | 59,0    | 94,3    | 21,6    | 242,9   |
| 60 - 70                          | 0            | 64,0    | 107,4   | 19,0    | 49,6    |
| 70 - 80                          | 224,5        | 128,5   | 188,7   | 102,4   | 184,9   |
| 80 - 90                          | 145,6        | 353,8   | 173,7   | 45,0    | 3,5     |
| 90 -100                          | 44,8         | 343,6   | 51,0    | 51,7    | 5,1     |
| 100 -120                         | 2,1          | 166,2   | 75,1    | 24,1    | 0       |
| 120 -130                         | 1,9          | 23,9    | 66,1    | 1,5     | 117,9   |
| Produção de grãos média em kg/ha | 1.107        | 3.914   | 4.630   | 3.484   | 2.584   |

TABELA 3. Equações ajustadas para produção de grãos ( $\hat{y}$ ) em função do nível de adubação no sulco de plantio ( $x$ ). Dados de cinco anos. Solo LED. CNPMS. Sete Lagoas, MG.

| Adubação de correção |  | Equação                                    | R <sup>2</sup><br>% |
|----------------------|--|--|---------------------|
| Fonte                | Nível de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha |  |                     |
| Testemunha           | 0  | Y = 2141,1 + 15,29x                        | 96***               |
|                      | 100  | Y = 2591,4 + 24,08x - 0,1085x <sup>2</sup> | 100***              |
| Supertriplo          | 200  | Y = 2499,3 + 27,61x - 0,079x <sup>2</sup>  | 95***               |
|                      | 400  | Y = 3540,0 + 16,92x - 0,062x <sup>2</sup>  | 97***               |
|                      | 800  | Y = 3979,7 + 2,26x                         | n.s.                |
| Patos de Minas       | 100  | Y = 2461,2 + 25,49x - 0,089x <sup>2</sup>  | 85**                |
|                      | 200  | Y = 1887,2 + 37,80x - 0,164x <sup>2</sup>  | 95***               |
|                      | 400  | Y = 1797,4 + 38,33x - 0,141x <sup>2</sup>  | 97***               |
|                      | 800  | Y = 2337,4 + 26,37x - 0,090x <sup>2</sup>  | 90***               |

TABELA 4. Equações ajustadas para produção ( $\hat{y}$ ) em função do nível de adubação a lanço (PL) e do nível de adubação no sulco de plantio (PS). Fonte: Fosfato de Patos de Minas, solo LED. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| Coeficientes      | Ano agrícola |            |           |           |           |
|-------------------|--------------|------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | 1977/78      | 1978/79    | 1979/80   | 1980/81   | 1981/82   |
| Interseção        | 71,96        | 48,41      | 50,39     | 33,31     | 45,44     |
| PL                | -            | -          | -         | -         | -         |
| PL <sup>2</sup>   | -            | -          | -         | -         | -         |
| PS                | 0,327*       | 0,716***   | 0,604***  | 0,670***  | 0,548***  |
| PS <sup>2</sup>   | -0,0028**    | -0,0028*** | -0,0022** | -0,0021** | -0,0018** |
| PL x PS           | -            | -          | -         | -         | -         |
| R <sup>2</sup> %  | 32,0**       | 85,6***    | 88,8***   | 80,2***   | 80,6***   |
| PL máximo (kg/ha) | -            | -          | -         | -         | -         |
| PS máximo (kg/ha) | 58           | 128        | 137       | 159       | 152       |
| CV%               | 19,1         | 10,3       | 8,1       | 16,8      | 12,4      |

TABELA 5. Equações ajustadas para produção ( $\hat{y}$ ) em função do nível de adubação a lanço (PL) e do nível de adubação no sulco de plantio (PS). Fonte: Superfosfato-Triplo - Solo LED. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| Coeficientes      | Ano agrícola |              |              |              |            |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
|                   | 1977/78      | 1978/79      | 1979/80      | 1980/81      | 1981/82    |
| Interseção        | 78,48        | 37,16        | 50,46        | 26,59        | 45,08      |
| PL                | -            | 0,117***     | 0,097***     | 0,122***     | 0,037**    |
| PL <sup>2</sup>   | -            | -0,000086*** | -0,000063*** | -0,000098*** | -          |
| PS                | -0,152**     | 0,273***     | 0,383***     | 0,648***     | 0,330      |
| PS <sup>2</sup>   | -            | -            | -0,000094*** | -0,00226**   | -          |
| PL x PS           | -            | -0,000034*** | -0,000273*** | -0,000267*   | -0,000275* |
| R <sup>2</sup> %  | 26,3**       | 86,4***      | 93,3***      | 79,3***      | 73,0***    |
| CV%               | 22,4         | 8,8          | 5,0          | 14,9         | 13,8       |
| PL máximo (kg/ha) | 0            | 802          | 481          | 464          | 1179       |
| PS máximo (kg/ha) | -            | -            | 134          | 116          | 131        |

TABELA 6. Eficiência relativa para adubação fosfatada corretiva, na cultura do milho, em solo LED. Fonte: Superfosfato Triplo. Dados em %. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha sulco | Ano agrícola |         |         |         |                     |
|---|--------------|---------|---------|---------|---------------------|
|   | 1978/79      | 1979/80 | 1980/81 | 1981/82 | Média <sup>+1</sup> |
| 50  | 39,4         | 25,1    | 17,4    | 11,1    | 28,6                |
| 100   | 33,8         | 24,8    | -       | 11,1    | 27,8                |
| 150   | -(+2)        | 23,5    | -       | 11,1    | 25,6                |

+<sup>1</sup> Calculado através da equação ajustada.+<sup>2</sup> Resultados não calculáveis matematicamente.

De modo geral, excluindo o ano agrícola 1977/78, foram necessários níveis mais altos de adubação de correção para o máximo rendimento físico (PL máximo) nos anos de maior déficit hídrico, em comparação com os anos de melhor distribuição (Tabelas 2 e 5). Conforme Olsen et al. (1961), há uma correlação inversa entre a absorção de fósforo pelas plantas de milho e a tensão de água no solo. Nos anos de menor precipitação pluviométrica, portanto, é de se esperar maior exigência do fertilizante fosfatado.

Por outro lado, em nenhuma das fontes observou-se o efeito das sucessivas adubações de manutenção em diminuir os níveis da adubação necessários para a produção máxima, dentro de cada ano (Tabelas 4 e 5).

O decréscimo de produção com o decorrer do ensaio poderia ser justificado pelo empobrecimento do fertilizante do solo. Entretanto, de acordo com a análise de solo ao fim do experimento (pH 5,0; Ca + Mg 3,6 meq/100 cc; Al, 0,4 meq/100 cc, K, 70 ppm), pode-se inferir que a redução na produtividade foi ocasionada pelas condições climáticas.

Através das equações apresentadas na Tabela 5, calculou-se a eficiência relativa para a adubação fosfatada corretiva (Tabela 6). Os cálculos foram efetuados tomando-se como referência a produção obtida na presença de determinado nível de adubação de manutenção, na ausência da adubação de correção. Posteriormente, procurou-se o nível da adubação de correção para fornecer a mesma produção, na ausência da adubação de manutenção. Desta forma, calculou-se a quantidade de  $P_2O_5$  a ser aplicada no sulco de plantio para fornecer a mesma produção na presença de 100 kg de  $P_2O_5$  total aplicados como correção. Assim, por exemplo, com a aplicação de 50 kg de  $P_2O_5$ /ha no sulco de plantio (manutenção) há uma produção relativa de 50,8. Para obter-se a mesma produção, seriam necessários 127 kg de  $P_2O_5$ /ha, aplicados a lanço (correção). A adubação corretiva, portanto, apresenta uma eficiência relativa de 39,4%.

Na Tabela 6, verifica-se que a eficiência relativa diminuiu com o decorrer dos anos. No primeiro ano do ensaio, foram necessários 39,4 kg de  $P_2O_5$ /ha, no sulco de plantio, para fornecer a mesma produção com a aplicação de 100 kg de

$P_2O_5$  total/ha a lanço. No último ano do ensaio (1981/82) foram necessários apenas 11,1 kg de  $P_2O_5$ /ha, no sulco de plantio. Houve, portanto, com as sucessivas aplicações no sulco, um decréscimo de eficiência relativa da adubação fosfatada corretiva aplicada no primeiro ano do ensaio. Esta eficiência foi modificada, principalmente com o decorrer do ensaio, e não houve alterações significativas com os níveis da adubação de manutenção.

Para apenas um ano de ensaio e em três diferentes locais, Welch et al. (1966) encontraram uma variação de 49% a 123% na eficiência relativa da adubação de correção na cultura do milho. Estes valores permitem visualizar a imobilização do fósforo aplicado a lanço quando a eficiência relativa é inferior a 100%.

Apesar deste decréscimo da eficiência da adubação de correção, houve, economicamente, a indicação desta adubação para obtenção de lucros máximos.

Os cálculos econômicos foram efetuados considerando-se preço do milho a Cr\$ 20,60, Cr\$ 26,00, Cr\$ 31,50/kg de milho (menor preço, preço médio e o maior preço dos últimos 4 anos do ensaio) e o preço médio do  $P_2O_5$  a Cr\$ 190,80/kg. Através destes valores, calculou-se o Valor Presente (VP) do lucro obtido com os cinco cultivos de milho sucessivos, através da fórmula a seguir.

$$VP = -QPF + \frac{L_1}{(1+i)^6} + \frac{L_2}{(1+i)^{18}} + \frac{L_3}{(1+i)^{30}} + \frac{L_4}{(1+i)^{42}} + \frac{L_5}{(1+i)^{54}} \quad (3)$$

sendo:

- Q = quantidade de  $P_2O_5$  aplicado no primeiro ano
- Pf = preço do fertilizante
- $L_1, L_2, L_3, L_4$  e  $L_5$  = lucros anuais
- i = taxa de juros a 0,5% a.m.

Considerando-se o maior VP como 100, elaboraram-se os dados constantes na Tabela 7, para 150 kg de  $P_2O_5$ /ha, nível de  $P_2O_5$  para a adubação de manutenção que forneceu o maior VP do lucro. Mesmo variando o preço do milho e as taxas de juros de 0,5% a 2,0% a.m., o tratamento que melhor lucro ofereceu foi a aplicação de 200 kg de  $P_2O_5$ /ha a lanço, na forma de superfosfato triplo.

TABELA 7. Valor presente dos lucros obtidos em diferentes níveis de  $P_2O_5$  em correção de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha, anualmente, como manutenção em três diferentes preços de milho, Média de cinco anos. Dados em %. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| Adubação de correção<br>kg de $P_2O_5$ /ha | Preço do milho Cr\$/kg |       |       |
|--|------------------------|-------|-------|
|  | 20,60                  | 26,00 | 31,50 |
| 0  | 86                     | 86    | 85    |
| 100  | 24                     | 49    | 57    |
| 200  | 100 <sup>(1)</sup>     | 100   | 100   |
| 400  | 40                     | 66    | 75    |
| 800  | .                      | 2     | 29    |

(1) Respectivamente Cr\$ 101.994,00; Cr\$ 199.784,00; Cr\$ 301.522,00/ha.

A aplicação de maiores níveis de  $P_2O_5$ , como correção, favoreceu a obtenção de menores lucros, pois, o valor do aumento da produção não acompanhou o custo do insumo.

Na ausência da adubação de correção, os lucros aumentaram com as doses de  $P_2O_5$  anuais. Na presença de 150 kg de  $P_2O_5$ /ha o VP do lucro é apenas 14% inferior ao lucro máximo, independentemente do preço do milho. É um tratamento bastante promissor, pois requer menos investimento inicial.

Deve-se notar que, em anos com boa distribuição pluviométrica, as doses econômicas foram menores do que quando se envolveram anos agrícolas com deficiência hídrica nos períodos de floração e enchimento de grãos. A análise dos três primeiros anos de ensaio, envolvendo dois anos com boa distribuição de chuvas (Tabela 2), demonstrou haver maiores lucros com apenas 100 kg de  $P_2O_5$ /ha a lançar e doses anuais de 50 kg de  $P_2O_5$ /ha (Relatório . . . 1981).

Quanto ao fósforo no solo, a relação entre o total aplicado (kg de  $P_2O_5$ /ha) em cinco anos do ensaio, na forma de superfosfato triplo e o "disponível" determinado pelo método Mehlich I está representada pela equação (4). A declividade obtida expressa o poder-tampão do solo em estudo, sendo similar aquela representada por Bahia Filho et al. (1982) para o mesmo solo diferenciado, apenas pelo uso agrícola.

$$\hat{y} = 5,00 + 0,0093x \quad r = 0,797^{***} \quad (4)$$

Substituindo-se o valor de x pela dose de  $P_2O_5$  que maximizaria o lucro líquido (200 kg de  $P_2O_5$

total + 750 kg de  $P_2O_5$  solúvel em água), obteve-se o nível econômico de 13,8 ppm. Conforme Kamprath (1967), solos com teores de fósforo disponível (extrator Mehlich I) acima de 8 ppm não apresentavam respostas, pela cultura do milho, à adubação fosfatada. Este nível crítico, entretanto, é dependente do teor de argila (Freire et al. 1979), ou, mais recentemente, pelo teor de Goethita (Bahia Filho 1982). No trabalho de Freire et al. (1979), pode-se verificar que um solo com 60% de argila apresentou um nível de 12,9 ppm (extrator Mehlich I) para a cultura de soja.

Para o fosfato de Patos de Minas, a relação entre o fósforo aplicado e o disponível (Extrator Mehlich I) ficou representada pela equação (5):

$$\hat{y} = 6,23 + 0,0155x \quad r = 0,835^{***} \quad (5)$$

Houve, portanto, maior extração e melhor correlação do que quando na presença da fonte solúvel. Deve ser considerado que o fosfato de Patos de Minas foi aplicado apenas no primeiro ano do ensaio, seguindo-se aplicações anuais do superfosfato triplo. Por outro lado, conforme demonstrado na Tabela 4, não houve ajustamento entre a produção e os níveis de fosfato natural. Evidenciando-se, portanto, que, em áreas onde o fosfato natural foi aplicado para correção, o nível crítico econômico é mais alto e não representa diminuição na recomendação para adubação de manutenção. Esta maior extração de fósforo deve-se à dissolução da forma P-Ca do fosfato natural pelo extrator duplo-ácido, indicando, mais uma vez, a solubilização parcial do fosfato de Patos de Minas, (Sfredo et al. 1979, Bahia Filho et al. 1982).

### Adubação de manutenção

Para avaliação econômica dos melhores métodos de aplicação do adubo de manutenção, sulco, faixa e lanço, ajustou-se a equação (6), para os cinco anos do ensaio, pelo uso da variável "dummy" em regressão múltipla.

$$\hat{y} = 1516 + 1944A_1 + 2722A_2 + 1870A_3 + 519M_1 + 433M_2 + 427F_1N_1 + 378M_2N_1 + 278F_1 + 354F_2$$

$$R^2 = 70,4\% \quad C.V. = 22,3\% \quad (6)$$

Todos os coeficientes da equação (6) são significativos a 10% e o coeficiente de determinação é significativa a 1%.

A equação (6), de modo análogo à análise estatística (Tabela 1), demonstrou o efeito significativo do ano agrícola, obtendo-se produções máximas no terceiro ano do ensaio, com um aumento médio de 2.722 kg/ha, quando comparado ao primeiro ano. A não-interação entre o ano agrícola e os demais tratamentos permite visualizar a variação paralela das produções obtidas nos diferentes tratamentos fosfatados em função do ano, como demonstrado na Fig. 1.

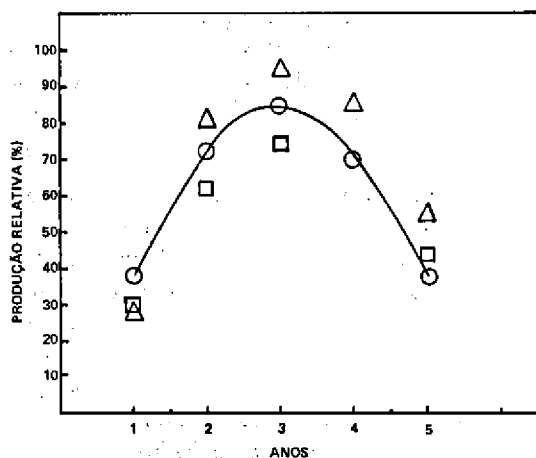


FIG. 1. Variação da produção em função do ano agrícola, (100% = 5764 kg/ha)

- Variação média de todos tratamentos
- △—△ 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha a lanço (Super triplo) e 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha como manutenção
- 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha com manutenção

Houve efeito diferencial do modo de aplicação (M), com aumento médio estimado em 519 kg/ha/ano, e de 433 kg/ha/ano para as adubações de manutenção efetuadas em faixa e a lanço, respectivamente, quando comparadas às efetuadas no sulco de plantio.

Dentre as interações fonte x nível, destacou-se o tratamento com 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total/ha na forma de superfosfato triplo e doses anuais de manutenção com 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, também na forma de superfosfato triplo. Não houve diferença significativa para níveis entre os tratamentos-testemunha e 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total/ha na forma de fosfato de Patos de Minas, o que indica, mais uma vez, a baixa eficiência desta fonte.

Através das produções estimadas pela equação (6), quantificou-se o Valor Presente do Lucro, Tabela 8, e o Valor Presente dos Custos (Tabela 9), usando-se o preço do milho a Cr\$ 26,00/kg e o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a Cr\$ 190,80/kg.

Na presença de 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha como manutenção, os maiores lucros foram obtidos com adubação em faixa. Com o aumento deste nível, os maiores lucros foram para adubação de manutenção a lanço, onde o sistema radicular das plantas deve explorar um maior volume de solo fertilizado.

A decisão em adotar determinada tecnologia, contudo, não deve ficar alicerçada apenas nos lucros obtidos. O capital inicial deve ser levado em consideração.

Na ausência da adubação de correção com 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha como manutenção no sulco de plantio, há um custo de 34% do custo máximo (Cr\$ 103.860,00) e um lucro máximo (Cr\$ 382.984,00) sem se considerarem os custos fixos. Houve, portanto, um retorno de Cr\$ 7,90 por cada unidade de capital empregado. No tratamento com lucro máximo, o retorno foi de Cr\$ 3,69 por unidade de capital empregado. Desta forma, apesar de haver menor lucro, a adubação no sulco de plantio deve ser a tecnologia recomendada, principalmente quando a condição de capital inicial for limitante.

Um ponto importante é a adubação em faixa comparada com a adubação no sulco. Independentemente da adubação de correção, este método propiciou lucro superior em 15% aos tratamentos com adubação no sulco. Neste caso, o único inves-



TABELA 8. Valor presente (VP) dos lucros para diferentes adubações fosfatadas de correção e manutenção em solo Led. Resultados médios de cinco anos. Dados em %. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| Adubação de correção<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha | Adubação de manutenção                     |        |        |   |        |                        |
|---|--|--------|--------|---|--------|------------------------|
|   | Modo de aplicação                          |        |        |   |        |                        |
|   | 50 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha |        |        | 100 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha |        |                        |
|   | Sulco                                      | Faixa  | Lanço  | Sulco                                       | Faixa  | Lanço                  |
| 0   | 73(50) <sup>(2)</sup>                      | 89(60) | 82(56) | 64(43)                                      | 79(53) | 84(57)                 |
| 100 (supertriplo)   | 77(50)                                     | 92(61) | 86(56) | 80(52)                                      | 95(63) | 100(66) <sup>(1)</sup> |
| 100 (Patos de Minas)  | 82(55)                                     | 97(66) | 91(61) | 73(48)                                      | 88(59) | 93(62)                 |

(1) VP Lucro máximo, Cr\$ 382.984,00. Preço do Milho, Cr\$ 26,00/kg. Juros a 0,5% a.m.

(2) O número entre parênteses refere-se ao VP do lucro com taxa de juros a 2% a.m. O decréscimo do lucro é linear com o aumento dos juros.

TABELA 9. Valor Presente (VP) dos custos para diferentes adubações fosfatadas de correção e manutenção em solo Led. Resultados médios de cinco anos. Dados em %. CNPMS, Sete Lagoas, MG.

| Adubação de correção<br>Kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha | Adubação de manutenção                     |       |       |   |       |                    |
|---|--|-------|-------|---|-------|--------------------|
|   | Modo de aplicação                          |       |       |   |       |                    |
|   | 50 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha |       |       | 100 kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha |       |                    |
|   | Sulco                                      | Faixa | Lanço | Sulco                                       | Faixa | Lanço              |
| 0   | 34   | 34    | 48    | 67  | 67    | 81                 |
| 100 (supertriplo)   | 52   | 52    | 66    | 86  | 86    | 100 <sup>(1)</sup> |
| 150 (Patos de Minas)  | 41   | 41    | 56    | 75  | 75    | 89                 |

(1) VP do custo máximo, Cr\$ 103.860,00; Superfosfato triplo; Cr\$ 190.800,00/t; Fosfato de Patos de Minas, Cr\$ 78.410,00/t.

timento é a adaptação de uma pequena enxada rotativa, na plantadeira-adubadeira logo após a saída do adubo. Com esta adaptação, e em plantio comercial, conseguiram-se 3.322 kg/ha de grãos de milho com a adubação em faixa e 2.856 kg/ha, com a adubação no sulco de plantio.

### CONCLUSÕES

1. Houve influência do ano agrícola no estabelecimento dos níveis de adubação para o máximo de rendimento físico. Nos anos de maior déficit hídrico foram necessárias maiores quantidades de adubação fosfatada.

2. Em termos econômicos, média de cinco anos, recomenda-se a aplicação 200 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, total/ha como correção, na forma de superfosfato triplo, e 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, solúvel em água, como manutenção, para obtenção de lucro máximo.

3. A aplicação apenas de adubação de manutenção de 150 kg/ha favoreceu lucros 14% inferiores ao lucro máximo.

4. O fosfato de Patos de Minas não acarretou aumento da produção e foi uma fonte inadequada para adubação de correção na cultura de milho.

5. A eficiência relativa da adubação de correção diminuiu com as sucessivas aplicações no sulco. No primeiro ano do ensaio foram necessários 39,4 kg

de  $P_2O_5$ /ha no sulco de plantio para produzir o equivalente a 100 kg de  $P_2O_5$  aplicados a lanço. Após cinco anos de ensaio, foram necessários apenas 11,1 kg de  $P_2O_5$ /ha.

6. O nível crítico econômico, no caso de usar fonte solúvel, foi de 13,3 ppm (extrator Mehlich I).

7. Independentemente da adubação de correção, a aplicação da adubação de manutenção, faixa de 10 cm de largura por 15 cm de profundidade, permitiu lucros de 15% superiores à adubação no sulco de plantio.

#### AGRADECIMENTOS

Ao Dr. João Carlos Garcia, economista, pela orientação na análise dos dados, e ao Dr. Augusto Ramalho de Moraes, pela orientação nas análises estatísticas.

#### REFERÊNCIAS

- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, UFV, 1982. 197p. Tese Doutorado.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L. dos; MENDES, J.F.; PITTA, G.V.E. & OLIVEIRA, A.C. Formas de fósforo inorgânico e fósforo "disponível" em um Latossolo Vermelho-Escuro fertilizado com diferentes fosfatos. R. bras. Ci. Solo, 6:99-104, 1982.
- BARBER, S.A. Application of phosphate fertilizers; methods, rates and time of application in relation to the phosphorus status of soils. Phosphorus Agric., 70:109-15, 1977.
- DENMEAD, O.T. & SHAW, R.H. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. Agron. J., 52:272-4, 1960.
- DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. 2. ed. New York, J. Wiley, 1981. 709p.
- FERREIRA, T.N. & KAMINSKI, J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. R. bras. Ci. Solo, 3:158-62, 1979.
- FOX, R.L. & TANG, B.T. Influence of phosphorus fertilizer placement and fertilization rate on maize nutrition. Soil Sci., 125(1):34-40, 1978.
- FREIRE, F.M.; NOVAIS, R.F.; BRAGA, J.M.; FRANÇA, G.E.; SANTOS, H.L. & SANTOS, P.R.R.S. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extratores químicos e no "fator capacidade". R. bras. Ci. Solo, 3:104-11, 1979.
- GARG, K.P. & WELCH, L.F. Growth and phosphorus uptake by corn as influenced by phosphorus placement. Agron. J., 59:152-4, 1967.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solos de cerrado. Pesq. agropec. bras., Brasília, 15(3):311-8, 1980.
- JUNK, A. & BARBER, S.A. Phosphate uptake rate of corn roots as related to the proportion of the roots reposed to phosphate. Agron. J., 66(4):554-7, 1974.
- KAMPRATH, E.J. Residual effect of large applications of phosphorus on high phosphorus fixing soils. Agron. J., 59(1):25-7, 1967.
- OLSEN, S.R.; WATANABE, F.S. & DANIELSON, R.E. Phosphorus absorption by corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 25:289-94, 1961.
- RELATÓRIO TÉCNICO ANUAL DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE MILHO E SORGO, 1979-1980. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1981. 207p.
- SFREDO, G.J.; BORKET, C.M.; CORDEIRO, D.S.; PALHANO, J.B. & DITTRICH, R.C. Comparação de cinco extratores de fósforo de solo, considerando-se o tempo de incorporação de três adubos fosfatados. R. bras. Ci. Solo, 3:111-5, 1979.
- TANAKA, R.T. Disponibilidade de fósforo do fosfato de Patos para a cultura do milho (*Zea mays*, L.), em Latossolo Roxo Distrófico sob condições de casa de vegetação. Lavras, ESAL, 1978. 66p. Tese Mestrado.
- TANAKA, R.T.; BAHIA, V.G.; COELHO, A.M. & FREIRE, J.C. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho (*Zea mays* L.) e da adubação com fosfato de Patos de Minas em condições de casa de vegetação. R. bras. Ci. Solo, 5:38-42, 1981.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Escritório de Pesquisa e Experimentação, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WELCH, L.F.; MULAVANEY, 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.