



## Eficiência de uso do fósforo por soja e milho em Latossolo do Cerrado em função do sistema de manejo do solo e da adubação fosfatada por um longo período

**Rafael de Souza Nunes<sup>(1)</sup>; Djalma Martinhão Gomes de Sousa<sup>(2)</sup>; Wenceslau J. Goedert<sup>(3)</sup>; Thomaz Adolpho Rein<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Pesquisador; Embrapa Cerrados; Planaltina, DF, BR 020 Km 18; rafael.nunes@embrapa.br; <sup>(2)</sup> Pesquisador; Embrapa Cerrados; <sup>(3)</sup> Professor aposentado, Universidade de Brasília.

**RESUMO:** Por ser obtido a partir de um recurso não renovável, o fertilizante fosfatado deve ser usado eficientemente. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do manejo do solo e da adubação fosfatada na eficiência de uso do fósforo por soja e milho ao longo do tempo. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho muito argiloso com disponibilidade inicial de fósforo muito baixa, cultivado por 17 anos com soja e milho recebendo 80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em dois sistemas de preparo do solo (convencional ou plantio direto) e em quatro manejos da adubação fosfatada (superfosfato triplo ou fosfato natural reativo, aplicados no sulco de semeadura ou a lanço). Anualmente foi avaliada a eficiência de uso do fósforo, calculada pela relação entre a quantidade extraída nos grãos e aquela aplicada ao solo a cada ano. Enquanto não havia acumulado no solo uma quantidade de fósforo equivalente à necessária para a correção, maior eficiência de uso do nutriente foi obtida com aplicação do fertilizante a lanço no sistema de preparo convencional. Após o solo estar corrigido, não houve diferenças entre os dois modos de aplicação. Em qualquer fase, a adubação com fosfato natural reativo apresentou menor desempenho em relação ao superfosfato triplo no plantio direto. No preparo convencional o comportamento das duas fontes foi semelhante. A eficiência de uso do fósforo aumentou com a participação do milho no esquema de rotação de culturas. No longo prazo, o plantio direto proporcionou maior eficiência de uso do fósforo em relação ao preparo convencional.

**Termos de indexação:** plantio direto, fosfato natural reativo, adubação à lanço.

### INTRODUÇÃO

Em condições naturais os solos do Cerrado apresentam baixa disponibilidade de fósforo (P) para o favorável desenvolvimento de praticamente todas as plantas cultivadas (Sousa et al., 2010). Assim, a adição de fertilizantes fosfatados ao solo é essencial para elevar esse nível de disponibilidade a valores

aceitáveis (fase de correção) bem como para mantê-lo ao longo das safras agrícolas por meio de adições periódicas que reponham, ao menos, o P que foi retirado por ocasião das colheitas (fase de manutenção).

A eficiência de uso do P aplicado ao solo pode ser adequadamente avaliada ao longo do tempo por meio do método do balanço (Syers et al., 2008). Esse método consiste em relacionar o P removido pelas culturas àquele adicionado ao sistema por meio da adubação, e também tem sido tratado como taxa de desfrute (Cunha et al., 2011) ou eficiência de extração (Franchini et al., 2011).

Avaliando dados nacionais de consumo de fertilizantes e estimativas de exportação de nutrientes pela colheita de 18 culturas agrícolas, a eficiência do uso do P variou de 41 a 63% entre 1988 e 2010, com média de 52% (Cunha et al., 2011). No entanto, a adoção de adequadas técnicas de manejo podem resultar em eficiência de uso do P muito acima dos valores frequentemente relatados (Syers et al., 2008; Sousa et al., 2010; Franchini et al., 2011).

A partir da década de 1980, a produção agrícola brasileira, que era realizada em sistema de preparo convencional (SPC), passou a gradativamente adotar o sistema plantio direto (SPD), resultando em aumento da qualidade química, física e biológica do solo. Por sua vez, apesar da aplicação de fontes solúveis no sulco de semeadura ser o manejo preferencial da adubação fosfatada na região do Cerrado, o uso de fosfatos naturais reativos e a adubação a lanço em superfície com fontes diversas representam interessantes alternativas em determinadas situações. No entanto, pouca informação se tem sobre o efeito do manejo do solo e da adubação fosfatada na eficiência de uso do P.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do sistema de preparo do solo e manejo da adubação fosfatada na eficiência de uso do P por soja e milho ao longo de 17 anos de cultivos.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa área experimental localizada na Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF,



com altitude de 1.014 m, clima Cwa (Köppen), precipitação média anual de 1.570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. O relevo caracteriza-se como suave ondulado, a vegetação original é o Cerrado sentido restrito e o solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico muito argiloso (Embrapa, 2013).

Antes do primeiro cultivo, foi realizada análise química de solo, seguida da aplicação a lanço com incorporação de calcário dolomítico, para elevar a 50% a saturação por bases, gesso, potássio e micronutrientes, segundo recomendações para a região para se obter elevada produtividade de grãos (Sousa & Lobato, 2004), mas sem adubação corretiva com P. Por ocasião da instalação do experimento, em setembro de 1994, o teor de P extraível por Mehlich-1 na camada de 0-20 cm era de 1,0 mg dm<sup>-3</sup>, considerado muito baixo segundo recomendações para a região (Sousa & Lobato, 2004).

A sequência de cultivos durante 17 anos de condução do experimento foi a seguinte: 1° ao 9° cultivo - soja; 10° ao 11° cultivo - milho; 12° ao 17° cultivo - rotação soja/milho. Após o 9° cultivo o milheto passou a ser cultivado como planta de cobertura na entre-safra.

Durante os cultivos foram efetuadas adubações anuais de manutenção com potássio, nitrogênio (apenas no milho), enxofre e micronutrientes segundo Sousa & Lobato (2004). A adubação anual com P foi realizada de acordo com cada tratamento. Foi reaplicado calcário após o 6° e o 15° cultivos, de acordo com análise de solo das amostras tomadas na camada de 0-20 cm de profundidade, visando elevar a 50% a saturação por bases.

Os tratamentos consistiram do manejo da adubação fosfatada (fontes e modos de aplicação) sob sistema de preparo convencional (SPC), constituído de uma aração até 20 cm de profundidade com arado de discos e uma grade niveladora, ou sob sistema plantio direto (SPD). A adubação fosfatada foi realizada anualmente na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de superfosfato triplo (SFT) ou fosfato natural de Gafsa (FNR). A aplicação do fertilizante fosfatado foi feita no sulco de semeadura (S) ou a lanço na superfície (L), sendo que no SPC a aplicação do adubo a lanço foi realizada antes do preparo do solo e no SPD imediatamente após o plantio.

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com parcelas divididas. Nas parcelas foram alocados os sistemas de manejo do solo (SPC e SPD) e nas sub-parcelas as fontes de P (FNR e SFT) e os modos de aplicação (S e L), distribuídos aleatoriamente dentro de cada uma delas, com três repetições.

A colheita de soja e milho foi feita manualmente e os resíduos vegetais picados e devolvidos a cada parcela. Os dados de produtividade de grãos foram corrigidos para a umidade de 13%, e os teores de P nos grãos foram analisados anualmente de acordo com Embrapa (2005), permitindo calcular a quantidade de P extraído pelos grãos (PE). A eficiência de uso do P foi determinada anualmente para cada um dos 17 cultivos pelo método do balanço (Syers et al., 2008), através da razão percentual entre P extraído pelos grãos (kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) e o P adicionado pelo fertilizante [EUP = (PE/80) x 100]. Este índice de eficiência foi calculado também para vários períodos do estudo com base nas quantidades acumuladas de P aplicado e extraído: correção gradual do P do solo com monocultivo de soja (1° ao 4° cultivo), após a área estar corrigida com P, em monocultivo de soja (5° ao 9° cultivo), em monocultivo de milho (10° e 11° cultivos) e em rotação soja-milho, com três cultivos de cada cultura (12° ao 17° cultivo), bem como o acumulado ao longo dos 17 anos.

Para a análise de variância foi utilizado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + \text{erro}(ij) + F_k + M_l + FM_{kl} + SF_{jk} + SM_{jl} + SFM_{jkl} + \text{erro}(ijkl),$$

onde:  $\mu$  = média geral dos dados; B = bloco (i = 1,2,3); S = Sistema de preparo (j = 1,2); F = Fonte de fósforo (k = 1,2); M = Modo de aplicação (l = 1,2); erro = erro experimental.

Análise de variância foi realizada com o PROC GLM do SAS e quando esta apresentou significância o teste de Student (t) ( $p < 0,05$ ) foi utilizado para distinção das médias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a fase de correção gradual do solo (1° ao 4° cultivo), no SPC, a aplicação do FNR a lanço proporcionou maior eficiência de uso do P em relação à aplicação no sulco de semeadura, fato que não ocorreu para o SFT (Figura 1). Contudo, deve ser mencionado que apenas nos dois primeiros cultivos no SPD a eficiência de uso do P foi inferior para o SFT aplicado a lanço na superfície em relação ao sulco de semeadura (dados não apresentados). Nesse mesmo sistema não houve diferença entre as duas fontes de P para o mesmo modo de aplicação. Já no SPD o uso do SFT resultou em maior eficiência em relação ao FNR, não havendo diferenças entre os dois modos de aplicação para a mesma fonte de P. Na fase de correção, a eficiência de uso do P no SPC foi superior em relação ao SPD apenas quando a fonte foi o FNR.

Após a área estar corrigida com P, não se observou diferenças entre os modos de aplicação



das duas fontes avaliadas em nenhum dos demais períodos considerados, tanto para SPC como SPD (Figura 1). Por outro lado, a fonte de P continuou influenciando a eficiência de uso do P no SPD em todos os demais períodos, com o SFT sempre superior ao FNR, enquanto no SPC não houve diferenças entre as duas fontes. Além disso, durante o monocultivo com soja (5° ao 9° cultivo) logo após a fase de correção, o SPD apresentou eficiência de uso do P superior ao SPC nos dois modos de aplicação do SFT enquanto a baixa solubilização do FNR no SPD fez com que a eficiência de uso do P fosse menor em relação ao SPC quando aplicado a lanço. No período com monocultivo de milho (10° e 11° cultivos) e na rotação soja-milho a partir do 12° cultivo, o SPD foi superior para as duas fontes de P nos dois modos de aplicação, exceto para o FNR aplicado no sulco durante o monocultivo de milho.

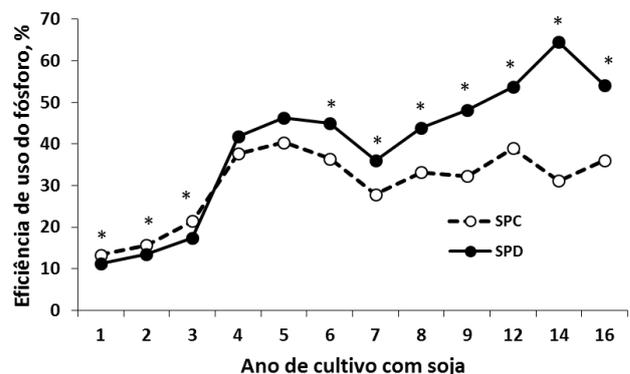
A maior eficiência com aplicação a lanço no SPC durante a fase de correção se justifica pelo maior volume de solo fertilizado obtido nesta forma de adubação, proporcionando melhor aproveitamento pelas raízes das plantas, principalmente para o FNR. Por outro lado, a ausência de diferenças entre os dois modos de aplicação no SPD demonstra uma extrema habilidade da cultura em absorver o P localizado numa pequena região do solo. Após a fase de correção, já havia sido acumulado no solo cerca de 260 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (a dose recomendada de correção era 250 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), justificando a ausência de efeito do modo de aplicação nos anos seguintes.

Com relação à comparação entre as duas fontes, o revolvimento anual do solo permite que haja maior solubilização e uso satisfatório do P do FNR no SPC, enquanto que no SPD o não revolvimento do solo limita a reação do FNR e disponibilização para as plantas.

Com relação à comparação entre os dois sistemas de manejo do solo observa-se que com o passar dos anos o SPD passa a apresentar eficiência de uso do P muito superior ao SPC. No caso do SFT esse efeito já é observado a partir do 5° ano e no caso do FNR apenas a partir do 12° ano. Ao longo dos 17 anos de cultivos o SPD apresentou 10% e 32% maior eficiência de uso do P em relação ao SPC para o FNR e SFT respectivamente. No SPD, a ausência de mobilização do solo minimiza a exposição do P a novos sítios de adsorção e diluição do P no perfil do solo, além de proporcionar acúmulo de matéria orgânica na camada superficial do solo resultando numa maior capacidade de suprimento de P às plantas e consequente maior eficiência da adubação fosfatada (Sousa et al., 2010).

Apesar do correto manejo do solo e da adubação fosfatada ser uma importante ferramenta no

aumento da eficiência de uso do P, estes devem estar associados a outras técnicas, como a rotação de culturas. Isso é observado na melhor condição do experimento (SFT a lanço no SPD), em que durante o monocultivo de soja a eficiência de uso do P era de 46%, mas com a rotação soja-milho passou a ser de 94% (Figura 1). A elevada eficiência de uso do P na rotação soja-milho ocorreu não apenas pela elevada capacidade do milho em extrair P do solo (observar a elevada eficiência da fase de monocultivo de milho na Figura 1), mas também porque com o passar do tempo a soja teve sua eficiência aumentada no SPD (Figura 2). No SPC, houve um crescente aumento da eficiência de uso de P pela soja durante a fase de correção gradual com P (1° ao 4° cultivo). No entanto, após esse período, a eficiência permaneceu sem alteração, situando-se em torno de 35% a 40%. No SPD, o fenômeno foi semelhante ao SPC até o 7° cultivo, quando a eficiência voltou a aumentar atingindo ao final do período analisado valores em torno de 50% a 60% (Figura 2).



**Figura 2** – Evolução da eficiência de uso do fósforo durante 12 cultivos de soja em um Latossolo Vermelho muito argiloso cultivado por 17 anos em sistema de preparo convencional (SPC) ou plantio direto (SPD) com superfosfato triplo. Valores para cada sistema de manejo de solo correspondem às médias dos dois modos de aplicação (lanço e sulco) com três repetições (n = 6). \*, Significativo a 5% pelo teste t.

## CONCLUSÕES

Em área de disponibilidade muito baixa de fósforo, a eficiência de uso desse nutriente pela soja é afetada pelo modo de aplicação apenas durante a fase de correção gradual no sistema de preparo convencional, com maior eficiência de uso do fósforo com aplicação a lanço, particularmente para o fosfato natural reativo. Após o solo estar corrigido

com fósforo, não há influência do modo de aplicação.

No sistema plantio direto, a eficiência de uso do fósforo pela soja e milho é maior com o superfosfato triplo em relação ao fosfato natural reativo. No sistema de preparo convencional o comportamento das duas fontes é semelhante.

No longo prazo, o plantio direto proporciona maior eficiência de uso do fósforo em relação ao preparo convencional.

A eficiência de uso do fósforo aumenta com a participação do milho no esquema de rotação de culturas.

## REFERÊNCIAS

CUNHA, F.J.; CASARIN, V. & PROCHNOW, L.I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. Informações agrônômicas, Piracicaba, n.135, p.1-7, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

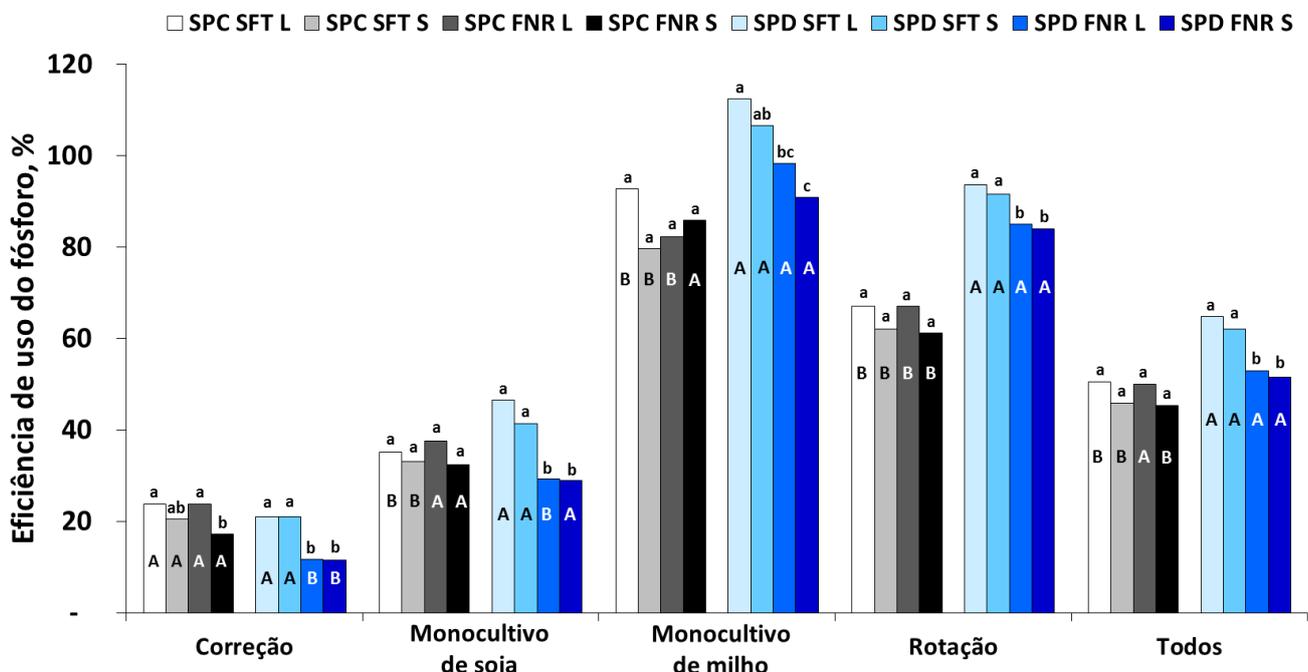
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353p.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H. & TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 327)

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2.ed. Planaltina: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. & NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.) Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: volume 2, nutrientes. Piracicaba: INPI - Brasil, 2010. p.67-132.

SYERS, J.K.; JOHNSTON, A.E. & CURTIN, D. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, n.18. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 108p.



**Figura 1** – Eficiência de uso do fósforo por soja e milho em diferentes períodos de cultivo em um Latossolo Vermelho muito argiloso cultivado por 17 anos em sistema de preparo convencional (SPC) ou plantio direto (SPD), recebendo 80 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triplo (SFT) ou fosfato natural reativo (FNR) aplicados a lanço (L) ou no sulco de semeadura (S). Correção: 1° ao 4° cultivo; Monocultivo de soja: 5° ao 9° cultivo; Monocultivo de milho: 10° e 11° cultivos; Rotação: 12° ao 17° cultivo; Todos: 1° ao 17° cultivo. Letras minúsculas comparam os quatro tratamentos (combinações) de fontes e modos de aplicação em cada sistema de preparo do solo, e letras maiúsculas comparam os dois sistemas de preparo para cada uma das quatro combinações de fonte e modo de aplicação (p<0,05).