

Eficiência Agronômica de Fertilizantes Fosfatados Totalmente Acidulados para a Soja no Mato Grosso⁽¹⁾.

Eros Artur Bohac Francisco⁽²⁾; Rodrigo Coqui da Silva⁽³⁾; Claudinei Kappes⁽⁴⁾; Takashi Muraoka⁽⁵⁾ e Sen Hsiung Chien⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Programa de Monitoramento de Adubação (PMA) da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), como parte da tese de doutorado do segundo autor pelo programa de pós graduação em Solos e Nutrição da Plantas - ESALQ/USP.

⁽²⁾ Diretor Adjunto; International Plant Nutrition Institute – IPNI Brasil; Rondonópolis, MT; E-mail: efrancisco@ipni.net.

⁽³⁾ Pesquisador; Universidade de Adelaide; Austrália.

⁽⁴⁾ Pesquisador; Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso – Fundação MT; Rondonópolis, MT.

⁽⁵⁾ Professor; Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP; Piracicaba, SP.

⁽⁶⁾ Pesquisador (aposentado); International Fertilizer Development Center – IFDC; Estados Unidos.

RESUMO: Fertilizantes fosfatados totalmente acidulados são as principais fontes de fósforo (P) utilizadas na agricultura brasileira, sendo superfosfato simples (SSP) o mais comercializado. A demanda por P é muito elevada nas regiões sob Cerrado, onde a soja é cultivada em grandes áreas. Objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados com diferente solubilidade em água para soja. Foi conduzido um experimento em Itiquira, MT, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa e alta capacidade de adsorção de P. Foram testados quatro fertilizantes (todos similares ao SSP), porém com variações na proporção do P solúvel em água em relação ao P solúvel em citrato neutro de amônio + água (fi). O fertilizante de menor solubilidade (fi 50%) proporcionou produtividade de soja superior ao tratamento controle. Porém, esta produtividade foi inferior às obtidas quando fontes mais solúveis foram aplicadas (fi 60%, 70% e 85%). Os fertilizantes com fi > 60% foram tão ou mais eficientes do que a fonte padrão (SSP, fi = 85%). Estes resultados confirmam tendências já observadas em experimentos conduzidos em vasos (casa de vegetação) e em laboratório (incubação), porém poucos experimentos de campo foram realizados avaliando este tema. Portanto, fertilizantes que contenham impurezas insolúveis podem ser alternativas viáveis ao uso do SSP, uma vez que a eficiência agronômica do fertilizante não está exclusivamente relacionada à sua solubilidade em água. Urge mencionar que não se pode generalizar esta premissa para todos os tipos de fertilizantes que contenham impurezas insolúveis.

Termos de indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, adubação fosfatada, rocha fosfática.

INTRODUÇÃO

A baixa concentração natural de P em solos agricultáveis é um dos principais limitantes para

atingir o potencial produtivo das culturas (Hinsinger, 2001). Além disso, quando adicionado ao solo via fertilizantes, o nutriente sofre uma série de processos e reações com os colóides do solo que invariavelmente levam a diminuição de sua disponibilidade às plantas. Este é o típico cenário de regiões tropicais úmidas, especialmente, em solos sob Cerrado. Coincidentemente, é nesta região que a agricultura brasileira expressa seu maior potencial com extensas áreas sendo cultivadas com soja.

As principais fontes de P em uso para a soja são os fosfatos totalmente acidulados e, dentre estes, destaca-se o superfosfato simples (SSP) cujo volume comercializado no Brasil é superior à soma dos demais fertilizantes acidulados. Normalmente, estes fertilizantes apresentam elevada eficiência agronômica sendo altamente solúveis. Porém, mesmo os fosfatos totalmente acidulados produzidos a partir de rochas fosfáticas com elevado grau de impurezas (portanto menos solúveis em água) podem apresentar eficiência agronômica semelhante àqueles fertilizantes que não contêm compostos fosfáticos insolúveis (Prochnow et al., 2001).

Objetivou-se avaliar a eficiência agronômica de três fertilizantes fosfatados totalmente acidulados com diferentes solubilidades em água, tendo SSP como fonte padrão, na cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT), na Fazenda Santa Maria, em Itiquira, MT (17°09'S - 54°42'W, 490m), região sob bioma de Cerrado. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) de textura muito argilosa (716 g kg⁻¹) e baixo teor de P disponível.

A semeadura foi realizada em novembro de 2011, cultivando-se em cada parcela oito linhas de

soja (cultivar TMG 132 RR) espaçadas de 0,45 m, até a colheita que foi realizada em março de 2012.

Foram testados quatro fertilizantes fosfatados totalmente acidulados com diferentes solubilidades em água, na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅: (i) SSP-85, superfosfato simples (fonte padrão); (ii) FAS-70, fosfato acidulado sulfúrico; (iii) FAS-60, fosfato acidulado sulfúrico; e (iv) FSR-50, fosfato de solubilidade reduzida. Os números à frente das siglas representam o valor percentual da fração do P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água que também é solúvel em água (fi). Para produzir o FAS-70, fosfato monocálcico (Ca(H₂PO₄)₂ / PM 234,05 - p.a.) foi adicionado ao FAS-60 finamente moído para aumentar a fração de P solúvel em água. Por analogia, óxido de ferro (produto comercial sintético/amorfo) foi utilizado para reduzir a fração de P solúvel em água, por meio da formação de produtos de baixa solubilidade do tipo P-Fe, sendo esta uma das principais impurezas catiônicas da fração insolúvel de P em fertilizantes fosfatados acidulados produzidos a partir de rochas fosfáticas brasileiras (Prochnow et al., 2003). As quantidades exatas de fosfato monocálcico e óxido de ferro adicionados ao FAS-60 para provocar as modificações desejadas foram obtidas a partir de uma completa curva de resposta. Após a moagem fina do FAS-60 e a adição dos produtos supramencionados, foi realizada a granulação dos fertilizantes para obtenção de grânulos com diâmetro de aproximadamente 2 mm. Este procedimento foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes da Embrapa Solos (Rio Verde, GO) com o uso de um prato granulador (ou granulador tipo disco).

O experimento foi realizado sob delineamento em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, sendo composto por 5 tratamentos: (i) SSP-85, (ii) FAS-70, (iii) FAS-60, (iv) FSR-50 e (v) tratamento controle (sem P). A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o pacote estatístico SAS® - "Statistical Analysis System" (SAS INSTITUTE, 1996). Quando o teste F apresentou significância (Anova), foi realizado o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para comparar as médias. A eficiência agrônômica relativa (EAR) das fontes foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$EAR (\%) = \frac{Y_{Fertilizante\ i} - Y_{Controle}}{Y_{Fertilizante\ Padrão} - Y_{Controle}} \times 100$$

em que:

$Y_{Fertilizante\ i}$: resposta obtida com a aplicação de um fertilizante i testado;

$Y_{Fertilizante\ Padrão}$: resposta obtida com a aplicação do fertilizante padrão (SSP-85)

$Y_{Controle}$: resposta obtida sem a aplicação de P (tratamento controle).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração de P nas folhas da soja apresentou valores abaixo do preconizado por Mascarenhas e Tanaka (1996), cujo limite mínimo é de 2,5 g kg⁻¹ de P, o que estes autores consideram adequado para a cultura. Uma hipótese para explicar o bom desenvolvimento das plantas mesmo com concentração de P considerada baixa, diz respeito à forma de coleta, sendo o folíolo amostrado juntamente com o pecíolo (efeito de diluição). A concentração de P foi maior nos tratamentos com FAS-60, FAS-70 e SSP-85 do que no controle, enquanto que FSR-50 não diferiu nem do controle nem das demais fontes de P (Figura 1).

A produtividade da soja seguiu a seguinte ordem: FAS-60 = SSP-85 = FAS-70 > FSR-50 > controle (Figura 2). Observa-se nítida resposta à aplicação de P, com 1.677 kg ha⁻¹ e 3.219 kg ha⁻¹ de grãos de soja para os tratamentos controle e FAS-60, respectivamente. A grandeza da resposta à adubação fosfatada está relacionada, principalmente, à baixa disponibilidade do nutriente no solo e à sua elevada capacidade de adsorção, fatos que fazem com que o solo utilizado neste estudo apresente elevado potencial de resposta.

À partir de fi 60%, não foi observado nenhum benefício decorrente do aumento da solubilidade da fonte de P. Porém, a fonte com menor solubilidade (FSR-50) apresentou desempenho agrônômico intermediário, diferindo estatisticamente tanto dos demais fertilizantes quanto do tratamento controle.

A EAR do FAS-60 foi a maior dentre as fontes (114%), mesmo esta apresentando menor solubilidade do que a fonte utilizada como padrão, SSP-85 (Figura 3). Este resultado indica o potencial uso de fertilizantes totalmente acidulados com menor teor de P₂O₅ solúvel em água.

Trata-se da confirmação, em condição de campo, da conclusão obtida por outros autores. Prochnow et al. (2003) observaram que um fertilizante com fi 46% foi tão eficiente agronomicamente quanto fosfato monocálcico (fi 100%). Johnston & Richards (2003) avaliaram a eficiência agrônômica de diversas frações insolúveis de fertilizantes comerciais em 13 solos (4 da Alemanha, 1 da Espanha, 5 do Reino Unido, 3 da França) com variações nas propriedades que afetam a dinâmica do P. Estes autores indicaram que não existiam diferenças significativas no desempenho agrônômico de fertilizantes que apresentavam fi > 85%. Lavres Jr et al. (2011) também não observaram diferenças significativas

no desempenho agrônômico de fontes cujo fi variava de 65% até 91%. No entanto, a grande maioria dos trabalhos desta natureza foi desenvolvida em vasos em casa de vegetação, onde a raiz confinada pôde explorar todo o volume de solo.

Dentre os poucos experimentos realizados em campo, Mullins & Evans (1990) e Mullins & Sikora (1990) também constataram não haver diferenças na eficiência agrônômica de fontes de P com fi de 81% a 95%. Prochnow et al. (2001) avaliaram 10 fertilizantes comerciais com solubilidade variada e utilizaram superfosfato triplo como fonte padrão. Neste estudo, a produção da soja não foi afetada pela fração insolúvel de P contida nos fertilizantes.

Confirma-se que fertilizantes fosfatados que contêm impurezas insolúveis podem ser utilizados e que seu desempenho agrônômico não é, necessariamente, influenciado pela presença destes compostos. No presente experimento, um fertilizante com fi 60% foi mais eficiente do que a fonte padrão, porém quando a solubilidade da fonte foi reduzida (FSR-50), a eficiência agrônômica também diminuiu. É importante ressaltar que os dados obtidos para um determinado fertilizante totalmente acidulado não podem ser extrapolados indiscriminadamente para outros, produzidos a partir de rochas fosfáticas diferentes. Isto porque a eficiência agrônômica da fração de P insolúvel em água depende de inúmeros fatores, principalmente da natureza química e cristalografia destas impurezas insolúveis. Alguns destes compostos apresentam baixíssima EAR quando comparados com a fração solúvel em água. Assim, deve-se analisar caso a caso e não formatar um valor genérico para delimitar que fi% de solubilidade é plausível para a comercialização destes fertilizantes.

CONCLUSÕES

A solubilidade em água não afeta o desempenho agrônômico dos fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, desde que fi \geq 60%.

Há forte evidência da ausência de necessidade de um fertilizante acidulado apresentar solubilidade em água muito elevada (Ex. fi > 90%) para apresentar desempenho agrônômico satisfatório.

A produção de fertilizantes fosfatados com menor solubilidade em água é uma alternativa plausível para as reservas fosfáticas que contêm certo grau de impurezas insolúveis, uma vez que podem apresentar desempenho agrônômico satisfatório.

AGRADECIMENTOS

À equipe do PMA da Fundação MT pela condução do experimento; à FAPESP pela concessão de bolsa de estudo e reserva técnica ao segundo autor (Processo 2009/13729-3); ao Dr. Vinícius de Melo Benites (Embrapa Solos/Rede FertiBrasil) pela infra estrutura cedida para a granulação dos fertilizantes produzidos; e ao IPNI Brasil pelo apoio à realização do projeto.

REFERÊNCIAS

- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237:173-195, 2001.
- JOHNSTON, A.E. & RICHARDS, I.R. Effectiveness of the water-insoluble component of triple superphosphate for yield and phosphorus uptake by plants. *Journal of Agricultural Science*, 140:267-274, 2003.
- LAVRES Jr., J.; REIS, A.R.; NOGUEIRA, T.A.R.; CABRAL, C.P. & MALAVOLTA, E. Phosphorus uptake by upland rice from superphosphate fertilizers produced with sulfuric acid treatments of Brazilian phosphate rocks. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:1390-1403, 2011.
- MASCARENHAS, H.A.A. & TANAKA, R.T. Soja. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. (Ed.) *Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 202-203 (Boletim Técnico, 100).
- MULLINS, G.L. & EVANS, C.E. Field evaluation of commercial triple superphosphate fertilizers. *Fertilizer Research*, 25:101-106, 1990.
- MULLINS, G.L. & SIKORA, F.J. Field-evaluation of commercial monoammonium phosphate fertilizers. *Fertilizer Research*, 22:1-6, 1990.
- PROCHNOW, L.I.; CUNHA, J.F. & VENTIMIGLIA, A. Field Evaluation of Water or Citrate Soluble Phosphorus in Modified Phosphate Rocks for Soybean. *Scientia Agricola*, 58:165-170, 2001.
- PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; TAYLOR, R.W.; CARMONA, G.; HENAO, J. & DILLARD, E.F. Characterization and Agronomic Evaluation of Single Superphosphates Varying in Iron Phosphate Impurities. *Agronomy Journal*, 95:293-302, 2003.
- SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistics. 4th ed. Cary, 1996.

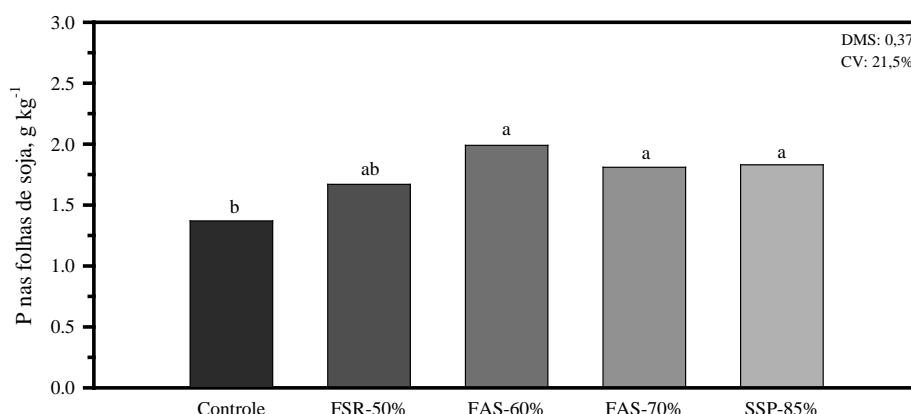


Figura 1 - Concentração de P nas folhas de soja em função da aplicação de fertilizantes fosfatados. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. SSP, Superfosfato simples; FAS, Fosfato acidulado sulfúrico; FSR, Fosfato de solubilidade reduzida. Os números à frente das siglas representam o valor percentual da fração do P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água, que também é solúvel em água (Fi).

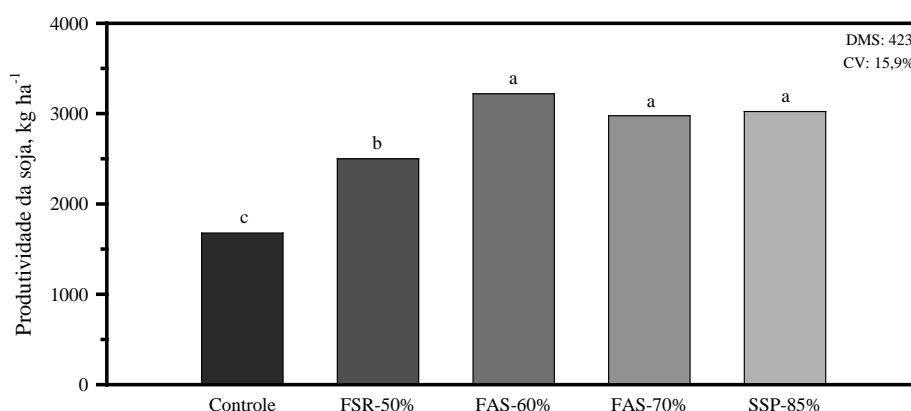


Figura 2 - Produtividade de grãos de soja em função da aplicação de fertilizantes fosfatados. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. SSP, Superfosfato simples; FAS, Fosfato acidulado sulfúrico; FSR, Fosfato de solubilidade reduzida. Os números à frente das siglas representam o valor percentual da fração do P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água, que também é solúvel em água (Fi).

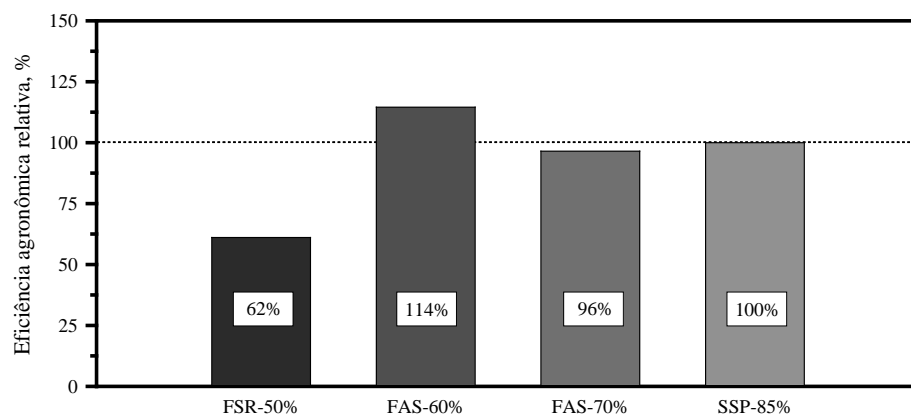


Figura 3 - Eficiência agrônômica relativa de fertilizantes fosfatados. SSP, Superfosfato simples; FAS, Fosfato acidulado sulfúrico; FSR, Fosfato de solubilidade reduzida. Os números à frente das siglas representam o valor percentual da fração do P₂O₅ solúvel em citrato neutro de amônio + água, que também é solúvel em água (Fi).