

Relatório parcial – Safra 2012/2013

Projeto

Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados totalmente acidulados para a cultura da soja

Equipe

Rodrigo C. Silva^{1;2}

Eros A. B. Francisco³

Claudinei Kappes⁴

Sen H. Chien⁵

Fábio R.C.F. César¹

Takashi Muraoka¹

Instituições

¹ Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.

² Atualmente: University of Adelaide, Glen Osmond, SA, Australia.

³ International Plant Nutrition Institute, Rondonópolis, MT, Brasil.

⁴ Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, Brasil.

⁵ International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, AL, USA (aposentado).

Índice

Resumo	2
1 Introdução	3
2 Material e Métodos	4
2.1 Descrição do meio físico	4
2.2 Fertilizantes	7
2.3 Delineamento experimental.....	10
2.4 Condução do experimento, clima e avaliações	11
3 Resultados.....	13
3.1 Avaliação em função da solubilidade do fertilizante.....	15
3.2 Avaliação em função da época de aplicação do fertilizante	19
4 Considerações finais.....	22
Agradecimentos	23
Referências	23

Resumo

Fertilizantes fosfatados totalmente acidulados são as principais fontes de fósforo (P) utilizadas na agricultura brasileira, sendo o superfosfato simples (SSP) o mais comercializado. A demanda por P é muito elevada principalmente nas regiões sob Cerrado, onde a soja é cultivada em extensas áreas cujo solo apresenta carência natural do nutriente. Como a legislação brasileira permitiu recentemente que fertilizantes menos solúveis fossem comercializados, objetiva-se avaliar a eficiência agrônômica destes produtos em relação ao SSP, para a soja em condições de campo. Um experimento vem sendo conduzido desde 2011 em Itiquira, Mato Grosso, em uma área com Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa e, portanto com alta capacidade de adsorção de P. Neste relatório parcial, são apresentados os principais resultados obtidos na safra 2012/2013. Quatro fertilizantes similares ao SSP vêm sendo comparados, porém com variações na proporção do P solúvel em água em relação ao P solúvel em citrato neutro de amônio + água (índice Fi). Assim, a solubilidade varia de 50% até 85%, sendo a última referente ao SSP-85 (padrão). Os resultados são apresentados de duas maneiras: (i) em função da solubilidade dos fertilizantes e (ii) em função da época de aplicação dos fertilizantes. O principal resultado apresentado neste relatório é a confirmação de que fertilizantes fosfatados totalmente acidulados não precisam necessariamente apresentar elevada solubilidade em água para proporcionar elevado desempenho agrônômico. Este fato se confirmou com a produtividade da soja obtida com o fertilizante padrão (SSP-85) que foi similar e até inferior aos demais fertilizantes em alguns casos. Estes resultados confirmam tendências já observadas em experimentos conduzidos em vasos (casa de vegetação). Poucos experimentos de campo haviam sido realizados sobre o assunto. Portanto, fertilizantes que contenham impurezas insolúveis podem ser alternativos ao uso do SSP-85, uma vez que a eficiência agrônômica do fertilizante não está exclusivamente relacionada à sua solubilidade em água.

1 Introdução

A baixa concentração natural de P 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 as plantas.

O principal processo que leva à baixa eficiência da adubação fosfatada é a transformação do P lábil para P não lábil (“*fixação do P*”), que por sua vez é o resultado dos processos de adsorção específica e da formação de compostos de baixa solubilidade, em especial, P-Fe e P-Al (Larsen, 1967). Este é um típico cenário nas regiões dos trópicos úmidos, principalmente nos solos sob cerrado, pelo elevado poder de adsorção específica devido à predominância de oxihidróxidos de Fe e Al, os quais, com a caulinita, perfazem a maior parte da composição mineralógica da fração argila do solo, sendo a mais ativa e na qual ocorrem as reações (Arai; Sparks, 2007). Importante mencionar também que o elemento possui elevada afinidade com outros metais, formando os fosfatos divalentes e trivalentes de baixíssima solubilidade (Pierzynski et al., 1990).

Coincidentemente, é justamente na região sob cerrado que a agricultura brasileira expressa seu maior potencial com extensas áreas sendo cultivadas principalmente com soja, algodão e milho. Por sua importância no agronegócio em área e distribuição geográfica, a soja ocupa posição de destaque entre as culturas. Entre os principais produtores mundiais de soja, o Brasil é o que possui a maior área cultivada sob condições tropicais e subtropicais, com mais de 20 milhões de hectares sendo cultivados em ampla distribuição geográfica, desde o Rio Grande do Sul até o Roraima, já no hemisfério norte (Oliveira Jr et al., 2010).

Mesmo sendo um dos nutrientes menos exigidos pela cultura da soja, o P é o que mais limita a produção desta e da maioria das outras culturas no Brasil central. Ainda assim, respostas significativas são obtidas mesmo com doses de até 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Sousa; Lobato, 2002), em função do elevado poder fixação de P dos solos de cerrado (Leal; Velloso, 1973).

As principais fontes de P para a soja são os fosfatos totalmente acidulados e dentre estes, destaca-se o superfosfato simples (SSP de *Single Superphosphate*) cujo volume comercializado no Brasil é maior do que a soma dos demais fertilizantes acidulados (ANDA, 2011). Normalmente estes fertilizantes apresentam elevada eficiência agrônômica uma vez que são

altamente solúveis. Porém, mesmo os fosfatos totalmente acidulados produzidos a partir de rochas fosfáticas com elevado grau de impurezas, podem apresentar eficiência agrônômica, em condições de campo, semelhante àqueles fertilizantes que não contêm compostos fosfáticos insolúveis (Prochnow et al., 2001). Trata-se na verdade, da constatação de um comportamento já observado anteriormente, porém em condições de vaso em casa de vegetação (Sikora et al., 1989; Bartos et al., 1991, 1992), onde as raízes são confinadas em um volume de solo reduzido, apresentam assim maior contato com o fertilizante adicionado (ambiente rizosférico).

Seguindo tendências internacionais, o governo Brasileiro permitiu recentemente a inclusão de novos produtos na legislação de fertilizantes. Este fato já havia ocorrido em outros países, com a redução da exigência de solubilidade de fertilizantes fosfatados. Embora a decisão já esteja em vigor, não há nenhum relato na literatura sobre o desempenho agrônômico destes fertilizantes com solubilidade reduzida em consecutivas safras.

Neste contexto, objetivou-se avaliar a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados acidulados, tendo SSP como fonte padrão, comparando-o com outros três fertilizantes, sendo que dois deles atendem aos critérios para a nova categoria criada ($F_i \geq 60\%$), e um fertilizante cuja solubilidade o impede de ser classificado como tal.

2 Material e Métodos

O experimento foi instalado na safra 2011/2012 e vem sendo conduzido até a safra 2013/2014, cuja colheita está programada para março de 2014. O presente relatório apresenta os principais resultados obtidos na safra 2012/2013.

2.1 Descrição do meio físico

O experimento vem sendo conduzido na estação experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (Fundação MT), localizada na Fazenda Santa Maria, próximo à Itiquira, Mato Grosso ($17^{\circ} 09' S$ e $54^{\circ} 42' W$, 490 m de altitude) (Figura 1). Trata-se de uma região sob bioma de Cerrado, cujo clima predominante, segundo classificação de Köppen, é o do tipo Aw.



Figura 1. Vista aérea da estação experimental da Fundação MT, Itiquira, MT

Nas Tabela 1 e 2 são apresentados os resultados da caracterização química e física do solo, que foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico (LVd). As determinações químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Raij et al. (2001) e as determinações físicas de acordo com os procedimentos descritos por Bouyoucos (1962).

O solo apresenta textura muito argilosa (716 g kg^{-1}), com teor de 10 mg dm^{-3} de P disponível (resina) e capacidade máxima de adsorção de P (isoterma de Langmuir) de $1315,78 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$, este último resultado obtido após a realização de uma curva de adsorção de P, seguindo os procedimentos descritos por Graetz e Nair (2000).

O solo da estação experimental Santa Maria esteve sob cultivo de pastagem com *Brachiaria decumbens* (L.), em exploração pecuária nos últimos 18 anos. No outono de 2008, o solo foi subsolado na profundidade de 30 cm e recebeu a aplicação de calcário, na dose de $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, mediante incorporação com grade aradora de 32", na profundidade de 20 cm. Nas safras 2009/2010 e 2010/2011, a área foi cultivada com milho/braquiária, quando então o experimento foi instalado.

Tabela 1. Análise química do solo da Fazenda Santa Maria, Itiquira, MT

pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³						%	mg dm ⁻³					
4,9	10	4	0,4	27	18	1	52	45,6	97,8	47	1	0,16	0,4	50	2,3	0,3

Tabela 2. Análise química do solo da Fazenda Santa Maria, Itiquira, MT

Classe de textura	Areias ¹						Silte ²	Argilas ³		Floculação
	MG	G	M	F	MF	AT		Disp.	H ₂ O	
	g kg ⁻¹									%
Muito argilosa	6	12	97	116	16	246	37	716	128	82

¹ Frações de areia: muito grossa (MG) = 2 a 1; grossa (G) = 1 a 0,5; média (M) = 0,5 a 0,25; fina (F) = 0,25 a 0,10; muito fina (MF) = 0,10 a 0,05; areia total (AT) = 2 a 0,05; (em mm).

² Silte = 0,05 a 0,002; (em mm).

³ Argila total < 0,002; (em mm). Disp. – com dispersante; H₂O – com água

O experimento vem sendo conduzido cultivando-se soja como planta teste (cultivar TMG 132 RR), por ser um dos materiais genéticos mais cultivados na região e por apresentar bom potencial produtivo.

A área total das parcelas experimentais é de 40,5 m², (8,1m x 5m) cultivando-se 8 linhas de soja espaçadas de 0,45m (Figura 2). Nas safras 2012/13 e 2013/14 parcelas experimentais foram subdivididas para comparações pertinentes referentes ao efeito residual das fontes de P.

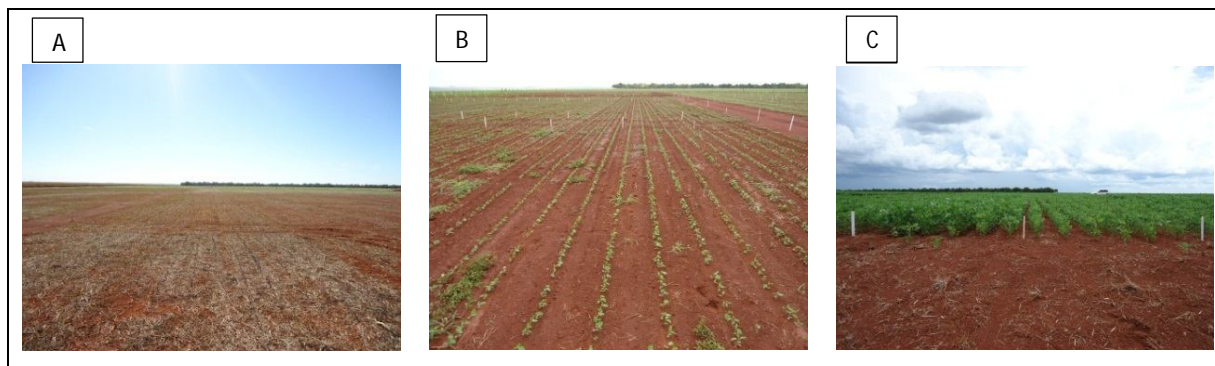


Figura 2. Visão geral da área experimental antes [A] e durante o experimento [B] e [C]

2.2 Fertilizantes

Foram testados quatro fertilizantes fosfatados totalmente acidulados, com variações nos teores de P solúveis em água e em citrato neutro de amônio. Superfosfato simples foi utilizado por ser o fertilizante fosfatado mais utilizado na agricultura brasileira.

Dois fertilizantes comerciais foram testados, sendo: (i) SSP-85 e (ii) SSP-60, obtidos à partir de rochas fosfáticas de Catalão, GO e Lagamar, BA, respectivamente. A caracterização destes fertilizantes é apresentada na Tabela 3. O número à frente da sigla representa o valor percentual da fração do P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio + água (“ P_2O_5 disponível”), que também é solúvel em água. Este valor percentual é comumente descrito na literatura como índice “Fi”.

Tabela 3. Caracterização dos fertilizantes

Fertilizante ¹	Procedência	P_2O_5			R_2O_3 ²	Fi ³
		Total	CNA+H ₂ O	H ₂ O		
SSP-85	Catalão / GO	21	21	18	1,3	85
SSP-60	Lagamar / BA	17	17	10	2,8	60

¹ SSP, Superfosfato simples;

² Inclui $Al_2O_3 + Fe_2O_3$;

³ Fi: Fração do P_2O_5 solúvel em citrato neutro de amônio + água, que também é solúvel em água.

Além dos supramencionados, outros dois fertilizantes fosfatados foram produzidos exclusivamente para serem também testados no presente experimento. Objetivou-se a produção de fertilizantes com índices Fi de 50% e 70%, utilizando-se o SSP-60 como matriz.

Fosfato monocálcico ($Ca(H_2PO_4)_2$ / PM 234,05 - p.a.) foi adicionado para aumentar a fração de P solúvel em água do SSP-60. Por analogia, óxido de ferro¹ 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).

¹ Produto comercial - óxido de ferro sintético (amorfo).

As quantidades exatas de fosfato monocálcico e óxido de ferro adicionados ao SSP-60 para provocar as modificações desejadas foram obtidas à partir de uma completa curva de resposta. A etapa seguinte foi a granulação destes produtos, descritos como SSP-50 e SSP-70. Tal procedimento foi realizado experimentalmente na empresa GranTec – Tecnologia de Materiais Ltda., no município de Piracicaba, SP. O objetivo do teste realizado foi obter informações exatas referentes à quantidade de água e à necessidade ou não de agentes aglutinantes para se obter a granulação destes produtos (Figura 3).

A primeira etapa para a obtenção do SSP-50 e do SSP-70 foi a moagem fina do SSP-60. Após, foi feita a mistura da matriz (SSP-60) com o aditivo (fosfato monocálcico ou óxido de ferro) em um granulador de bancada do tipo tambor-rotativo. Depois de cerca de dois minutos de agitação (velocidade do eixo 200 rpm e velocidade do agitador = 3000 rpm), água foi lentamente adicionada ao material que era agitado até que uma massa granulada fosse lentamente sendo obtida.

O teste foi repetido para adição de um agente aglutinante (amido de milho foi utilizado), já estabelecida à quantidade de água a ser adicionada. Após o final destes testes, a massa granulada foi descarregada do granulador, seca a 45°C e peneirada para seleção dos grânulos com diâmetro de aproximadamente 2 mm.

Devido à grande quantidade necessária, a granulação dos fertilizantes para a realização das três safras do experimento de campo foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes da Embrapa Solos¹², na unidade de Rio Verde, GO. Os procedimentos seguiram os critérios técnicos estabelecidos pelo teste preliminar realizado na empresa GranTec, porém com o uso de um prato granulador (ou granulador tipo disco). Vale ressaltar que o SSP-60 também precisou ser granulado uma vez que o mesmo foi adquirido na forma de pó (Figura 4).

¹² Estrutura gentilmente cedida pelo Dr. Vinícius de Melo Benites (Embrapa Solos), responsável pelo laboratório.

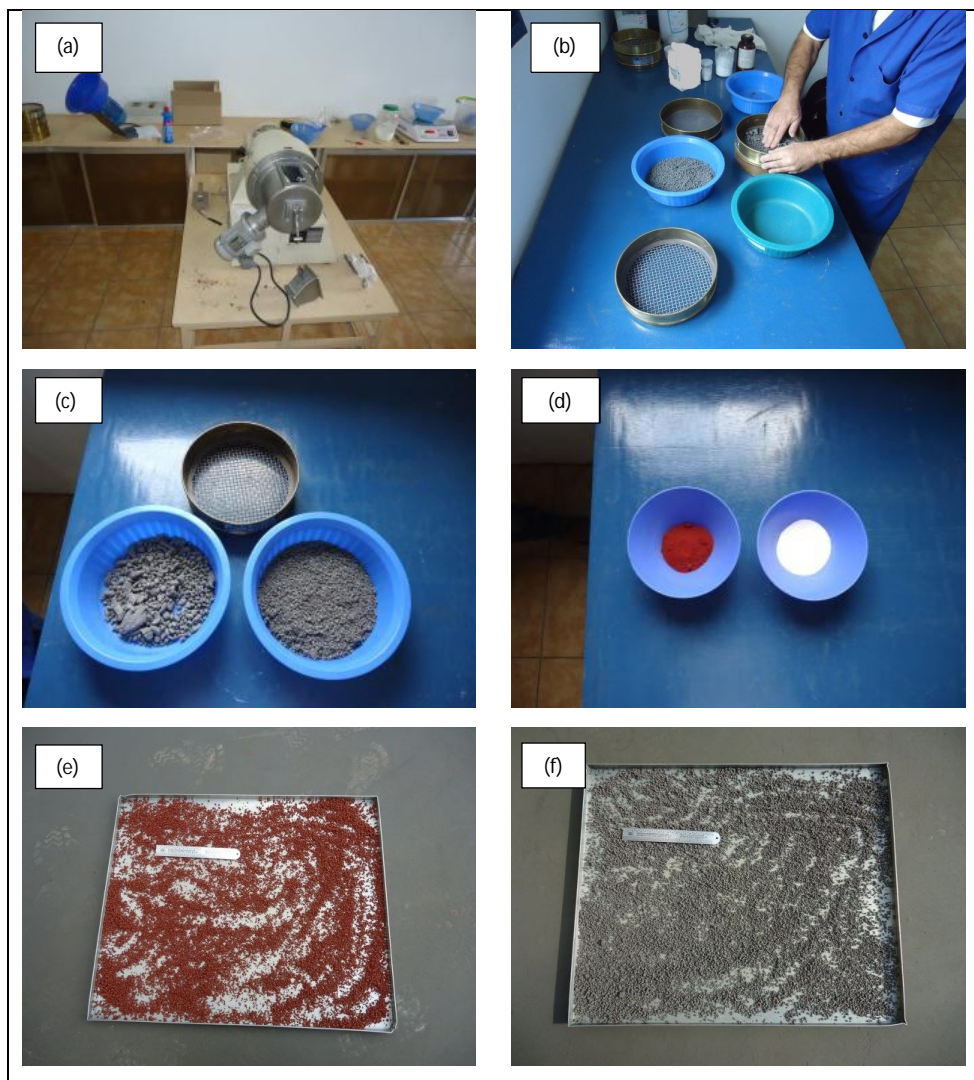


Figura 3. Procedimentos de granulação (GranTec Ltda - Piracicaba, SP). (a) granulador tipo tambor rotativo; (b) e (c) seleção dos grânulos; (d) adição de óxido de Fe e fosfato monocalcário; (e) secagem do SSP-50; (f) secagem do SSP-70.



Figura 4. Procedimentos de granulação na Embrapa Solos - Unidade de Rio Verde, GO. (a) SSP-60 em pó; (b) adição e mistura de fosfato monocalcico; (c) granulador do tipo prato; (d) granulação do SSP-70; (e) granulação do SSP-50; (f) secagem do SSP-70.

2.3 Delineamento experimental

Os tratamentos propostos para as três safras são descritos na Tabela 4. A dose aplicada foi de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (CNA+ H_2O), sendo definida em conjunto com a equipe técnica do Programa de Monitoramento de Adubação – PMA da Fundação MT, levando-se em consideração as características do solo, responsividade da cultura e fatores de ordem prática, como a longa experiência da equipe com experimentos da mesma natureza.

Tabela 4. Descrição dos tratamentos para as três safras de soja

Tratamentos	Subdivisão	Safr ¹		
		2011 / 2012	2012 / 2013	2013 / 2014
		Fertilizantes ²		
1	1	-	-	-
2	2.1	SSP-85	-	-
	2.2	SSP-85	SSP-85	-
	2.3	SSP-85	SSP-85	SSP-85
3	3.1	SSP-70	-	-
	3.2	SSP-70	SSP-70	-
	3.3	SSP-70	SSP-70	SSP-70
4	4.1	SSP-60	-	-
	4.2	SSP-60	SSP-60	-
	4.3	SSP-60	SSP-60	SSP-60
5	5.1	SSP-50	-	-
	5.2	SSP-50	SSP-50	-
	5.3	SSP-50	SSP-50	SSP-50
6	6.1	SSP-50	-	-
	6.2	-	SSP-50	-
	6.3	-	-	SSP-50
7	7.1	SSP-60	-	-
	7.2	-	SSP-60	-
	7.3	-	-	SSP-60
8	8.1	SSP-70	-	-
	8.2	-	SSP-70	-
	8.3	-	-	SSP-70
9	9.1	SSP-85	-	-
	9.2	-	SSP-85	-
	9.3	-	-	SSP-85

¹ Somente os resultados da safra 2012/2013 são apresentados no presente relatório;

² SSP: Superfosfato simples. 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. Este valor percentual é comumente descrito como “índice Fi”.

2.4 Condução do experimento, clima e avaliações

Antes da semeadura, foi realizado o tratamento de sementes com inoculante, cobalto, molibdênio, inseticida e fungicida, conforme dose recomendada para a cultura. Os demais nutrientes foram aplicados nas doses de 120 kg ha⁻¹ de K₂O, 2 kg ha⁻¹ de Zn, 5 kg ha⁻¹ de Mn, e 0,5 kg ha⁻¹ de B e Cu. Além disso, quando necessário, os procedimentos de controle de plantas

daninhas, pragas e doenças foram realizados utilizando também produtos apropriados e oficialmente recomendados.

A semeadura ocorreu no dia 29 de outubro de 2012 e a colheita no dia 07 de março de 2013. O regime pluviométrico durante a condução do experimento foi adequado para o desenvolvimento das plantas, com boa distribuição de chuvas, cujo valor acumulado foi de 1101mm. A temperatura média registrada foi de 26,6°C (Figura 5).

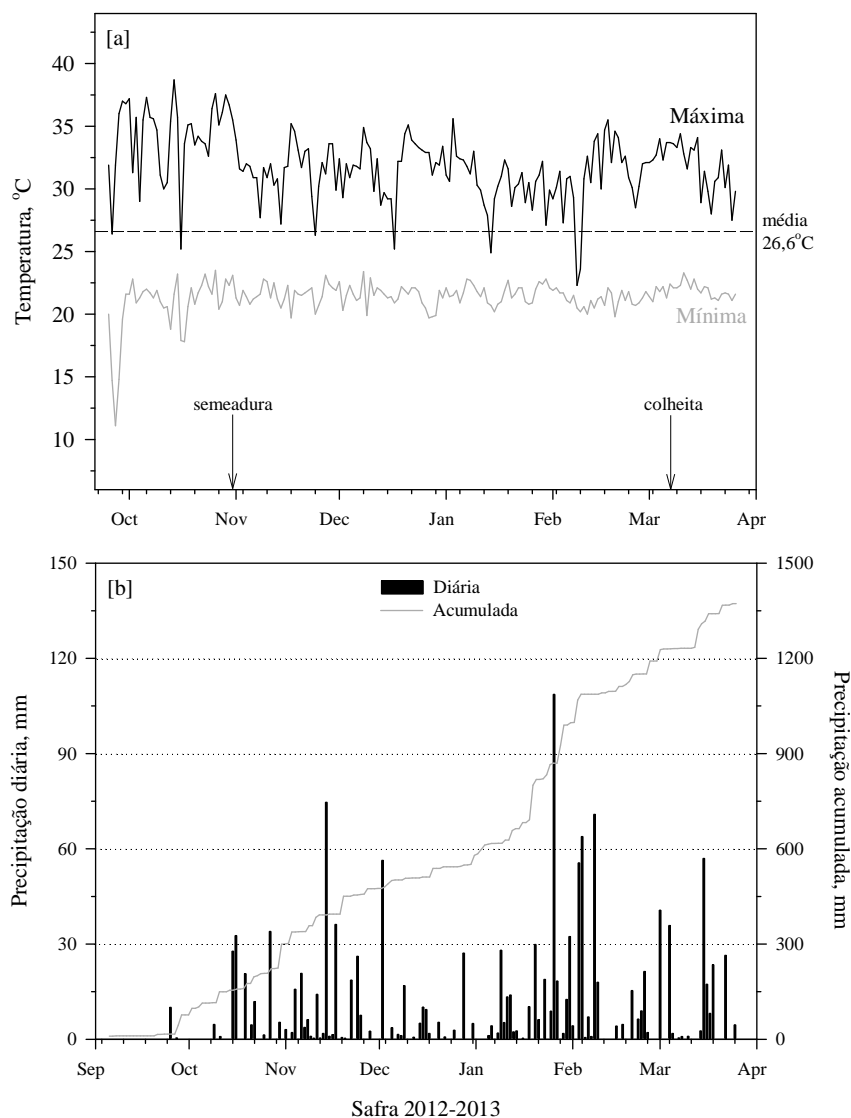


Figura 5. Dados de temperatura (máxima e mínima, °C) [a] e precipitação (diária e acumulada, mm) [b] durante o ciclo da soja na safra 2012-2013 na estação experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso - Fundação MT, localizada na Fazenda Santa Maria, Itiquira, Mato Grosso (17° 09' S e 54° 42' W, 490 m de altitude).

Foram avaliados os seguintes parâmetros: (i) análise foliar: 20 trifólios (pecíolo + folíolo) por parcela foram coletados no período da floração plena (estádio R2) para a análise (será apresentado junto com o relatório final); (ii) estande final: o número de plantas foi contado em três metros em dois pontos da parcela; (iii) altura final das plantas: a altura final foi medida em plantas no estágio R9 (ponto de colheita), em 10 plantas representativas por parcela; (iv) massa de mil grãos: a massa de cinco amostras de 100 grãos por parcela foi determinada. Posteriormente, as médias obtidas foram extrapoladas para peso de mil grãos e corrigidas para 13% de umidade; (v) produtividade: foram coletadas amostras de produtividade em dois pontos representativos por parcela com duas linhas adjacentes de 2,0 m de comprimento. A produtividade também foi padronizada para 13% de umidade.

As amostras de tecido vegetal foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60°C por quatro dias, pesadas e moídas para posterior digestão nítrico perclórica, para determinação do P total por meio do método colorimétrico do metavanadato (Malavolta et al., 1997).

3 Resultados

A seguir são apresentados os principais resultados da safra 2012/2013. Os resultados da análise do P disponível no solo, antes e após as safras, serão apresentados e discutidos no relatório final (já em modelo de um artigo científico) para melhor contextualização envolvendo os dados das três safras.

Os resultados foram analisados de duas formas: (i) comparando-se apenas o papel da solubilidade do fertilizante (índice Fi); e (ii) comparando-se isoladamente cada fertilizante em função da época de aplicação, ou seja, aplicado somente em 2011 (efeito residual em 2012/2013), aplicado em 2011 e reaplicado em 2012 (2011+2012) e aplicado somente para a safra avaliada (2012).

Na sequência são apresentadas algumas fotos de algumas parcelas experimentais (Figura 6).



Tratamento 1 – controle



Tratamento 5.1 – SSP-50 (2011)



Tratamento 5.2 – SSP-50 (2011+2012)



Tratamento 4.1 – SSP-60 (2011)



Tratamento 4.2 – SSP-60 (2011+2012)



Tratamento 3.1 – SSP-70 (2011)



Tratamento 3.2 – SSP-70 (2011+2012)



Tratamento 2.1 – SSP-85 (2011)



Tratamento 2.2 – SSP-85 (2011+2012)

Figura 6. Fotos das parcelas experimentais

3.1 Avaliação em função da solubilidade do fertilizante

Nas Figura 7, Figura 8, Figura 9 e Figura 10 são apresentados os resultados avaliando-se os fertilizantes isolando-se cada época de aplicação. Ou seja, cada gráfico apresenta conjuntos com cinco barras verticais, representado os tratamentos, para cada um dos momentos nos quais os fertilizantes foram aplicados.

A solubilidade do fertilizante não afetou a população das plantas por hectare (estande) quando o fertilizante foi aplicado em 2011 e 2011+2012 (Figura 7). Da mesma forma, nenhum fertilizante apresentou resultados superiores aos obtidos com o tratamento controle. Apenas quando o fertilizante foi aplicado em 2012 que houve diferença no estande, sendo que o fertilizante Fi 85% (fonte padrão) foi aquele que proporcionou maiores valores, embora não diferindo significativamente de Fi 50% e Fi 60%. Esta diferença observada provavelmente se deve a alguma variação natural da área ou qualquer variação em outro fator externo, e não necessariamente relacionada à solubilidade do fertilizante, pois foi um fato que não se repetiu nas demais avaliações em 2011 e 2011+2012.

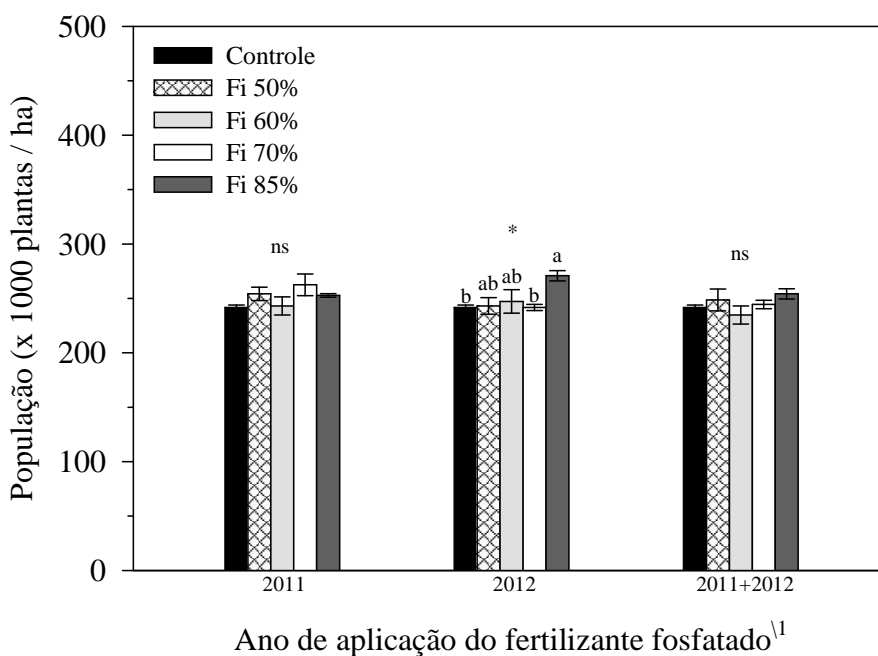


Figura 7. População de plantas de soja na safra 2012/2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. *, ns significativo e não significativo ($p = 0.05$), respectivamente; colunas seguidas pela mesma letra, para o mesmo ano de aplicação do fertilizante, não diferem estatisticamente.

Invariavelmente, as plantas do tratamento controle foram menores do que àquelas submetidas aos tratamentos com os fertilizantes, independentemente de sua solubilidade e da época em que foram aplicados (Figura 8). A única exceção foi observada quando os fertilizantes foram aplicados em 2012, onde apenas os tratamentos Fi 85% e Fi 70% apresentaram alturas das plantas significativamente diferentes entre si.

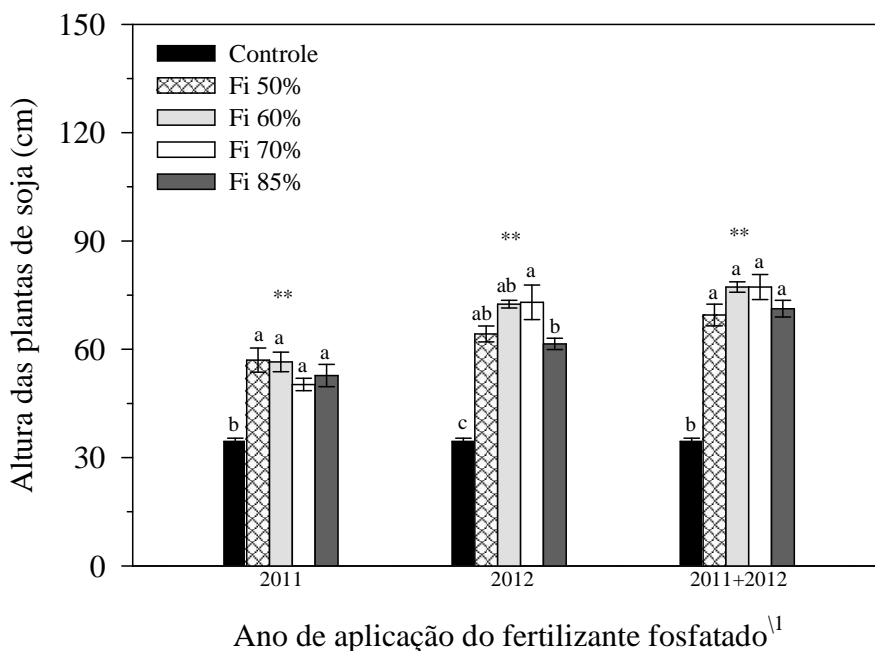


Figura 8. Altura das plantas de soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. ** significativo ($p = 0.01$); colunas seguidas pela mesma letra, para o mesmo ano de aplicação do fertilizante, não diferem estatisticamente.

Nenhuma diferença foi observada na avaliação da massa de 1000 grãos de soja em resposta aos tratamentos (incluindo a comparação com o controle), demonstrando que este é um parâmetro muito pouco influenciado por fatores do solo, entre eles o suprimento de P (Figura 9). Este fato já havia sido observado na safra 2011/2012.

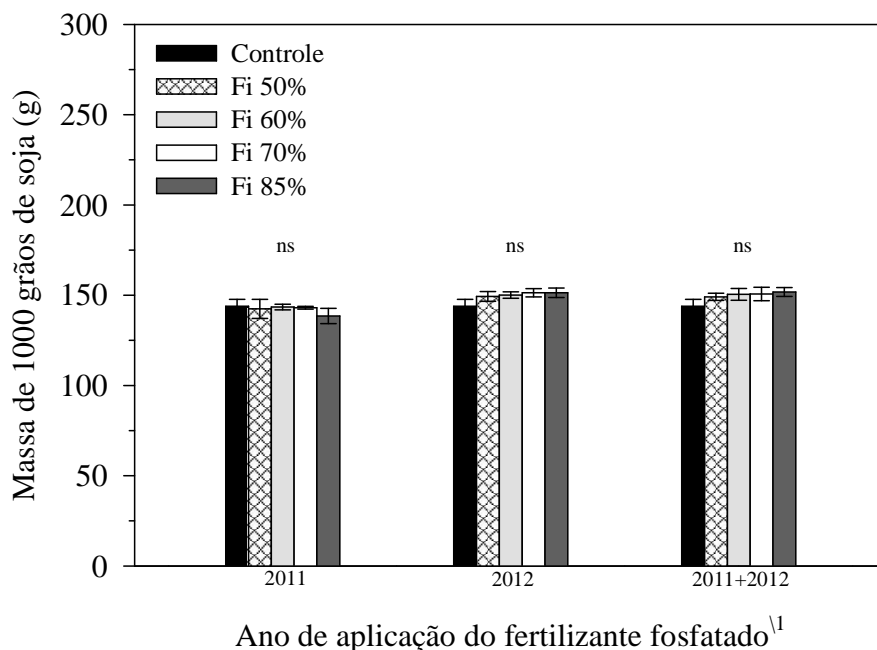


Figura 9. Massa de 1000 grãos de soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. ^{ns} não significativo ($p = 0.05$).

Em condições de baixo suprimento de nutrientes no solo, a planta se utiliza de mecanismos internos para a produção de uma quantidade menor de grãos, em detrimento à produção de uma grande quantidade de grãos com baixo peso individual e/ou malformados. Assim, a planta produz normalmente um número reduzido de grãos quando ocorrem deficiências nutricionais, porém mantendo praticamente o mesmo peso daqueles grãos produzidos com pleno suprimento do nutriente em questão, neste caso o P. Esta explicação é suportada pelos dados referentes à produtividade da soja (Figura 10), uma vez que a obtenção de produtividade superior só pode ser decorrente do maior número de grãos (e vagens) produzidos, uma vez que estes apresentaram sempre o mesmo peso.

A primeira informação nitidamente observada na Figura 10 é a clara resposta da soja à aplicação de P. O tratamento controle proporcionou uma produtividade da soja que foi, no mínimo, a metade daquela que foi obtida em qualquer outro tratamento, independentemente da solubilidade do fertilizante fosfatado.

Quando se avaliou o efeito residual do fertilizante aplicado em 2011, não foi observada nenhuma diferença entre os quatro fertilizantes testados, sendo que todos proporcionaram

patamar produtivo próximo aos 2000 kg ha⁻¹. Quando os fertilizantes foram aplicados apenas em 2012 a produtividade da soja ficou entre 2000 e 3000 kg ha⁻¹, sendo a única diferença entre os fertilizantes observada para SSP-60 > SSP-50. Finalmente, quando os fertilizantes foram aplicados em 2011 e reaplicados em 2012, a produtividade ficou próxima aos 3000 kg ha⁻¹ para o tratamento SSP-50 e ultrapassou os 4000 kg ha⁻¹ para o tratamento SSP-60, por exemplo.

De forma geral, maior solubilidade do fertilizante não foi traduzida em maior produtividade. O fertilizante padrão (SSP-85) apresentou desempenho agrônômico similar aos demais fertilizantes quando foram aplicados somente em 2011 e somente em 2012. Quando os fertilizantes foram aplicados nas duas safras (2011+2012), o fertilizante padrão resultou em produtividade inferior ao SSP-60, porém não diferiu tanto do SSP-70 quanto do SSP-50.

Estes resultados repetem a tendência geral observada na primeira safra avaliada (2011/2012), onde a produtividade seguiu a ordem SSP-60 = SSP-70 = SSP-85 > SSP-50 > controle. Reforça-se assim a hipótese de que não há necessidade de que fertilizantes fosfatados totalmente acidulados apresentem $Fi \geq 85\%$. Havia carência de informações desta natureza por meio de trabalhos em condições de campo.

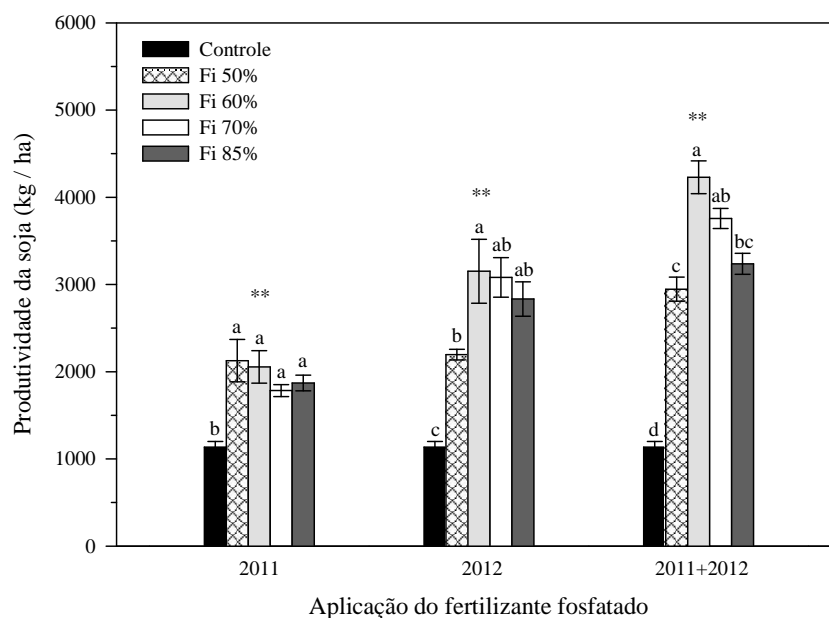


Figura 10. Produtividade da soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados com diferentes solubilidades. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [$Fi = PH_2O / (PCNA + PH_2O) \times 100$]. ** significativo ($p = 0.01$); colunas seguidas pela mesma letra, para o mesmo ano de aplicação do fertilizante, não diferem estatisticamente.

3.2 Avaliação em função da época de aplicação do fertilizante

A seguir os resultados serão apresentados sob a ótica temporal; em função do momento em que os fertilizantes foram aplicados. Ou seja, em cada uma das figuras a seguir há cinco conjuntos de três barras verticais indicando o momento da aplicação dos fertilizantes.

A população de plantas não foi afetada pela época de aplicação dos fertilizantes fosfatados, exceto para Fi 85%, onde o estande foi maior quando este fertilizante foi aplicado apenas em 2012 (Figura 11). Porém, esta diferença não representou importante impacto no desempenho agrônômico do fertilizante, e provavelmente se deve a qualquer outro fator alheio ao delineamento do experimento.

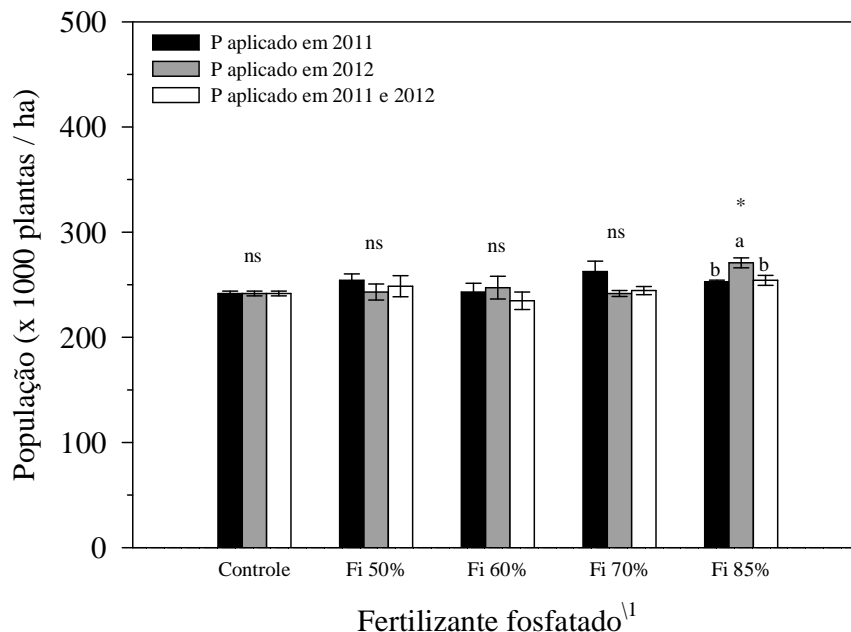


Figura 11. População de plantas de soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados em diferentes períodos. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. *, ns significativo e não significativo ($p = 0.05$), respectivamente; colunas de um mesmo fertilizante fosfatado seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente.

A aplicação dos fertilizantes em 2011+2012 resultou invariavelmente nas maiores plantas (Figura 12). A avaliação do efeito residual (2011) demonstrou que as plantas submetidas a este

tratamento foram sempre menores do que aquelas submetidas ao tratamento onde o fertilizante foi reaplicado (2011+2012), independente da solubilidade. Já as plantas submetidas à aplicação do fertilizante apenas no ano da avaliação (2012) apresentaram comportamento variável: ora semelhantes às plantas do tratamento 2011 (Fi 85%), ora semelhantes às plantas do tratamento 2011+2012 (Fi 60% e Fi 70%) ou não diferindo de ambos os tratamentos (Fi 50%).

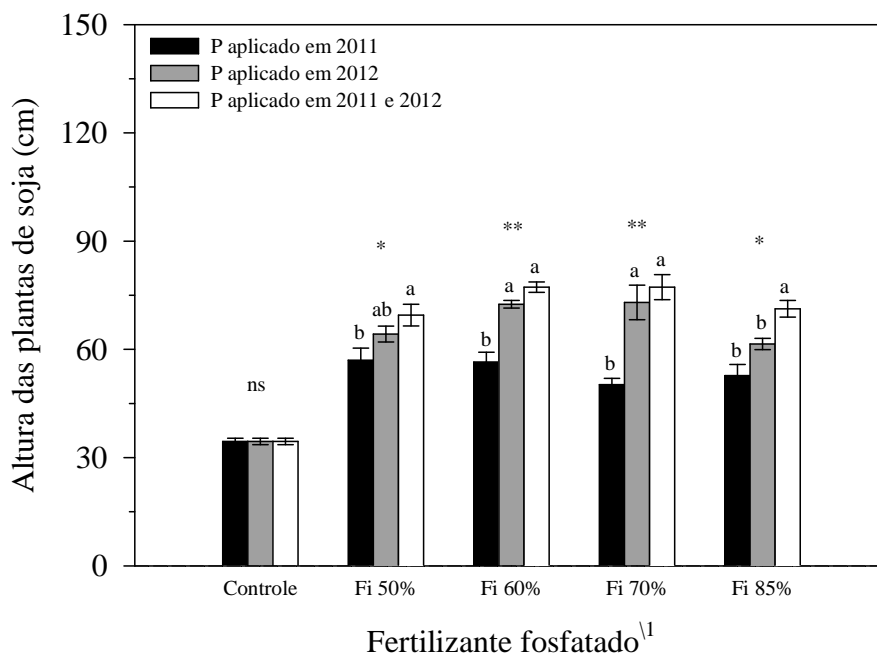


Figura 12. Altura das plantas de soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados em diferentes períodos. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [$Fi = \frac{PH_2O}{(PCNA + PH_2O)} \times 100$]. *, **, ns significativo ($p = 0.05$ e 0.01) e não significativo, respectivamente; colunas de um mesmo fertilizante fosfatado seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente.

A massa de 1000 grãos não foi afetada pelo ano de aplicação do fertilizante, exceto para Fi 85%, onde o tratamento que avaliava o efeito residual do fertilizante aplicado no ano anterior resultou em grãos significativamente menores do que os obtidos com os demais tratamentos (Figura 13). Novamente, esta pequena diferença provavelmente só foi notada devido ao baixo coeficiente de variação desta avaliação e se deve a qualquer outro fator alheio ao delineamento do experimento, pois não se repetiu em nenhuma outra situação.

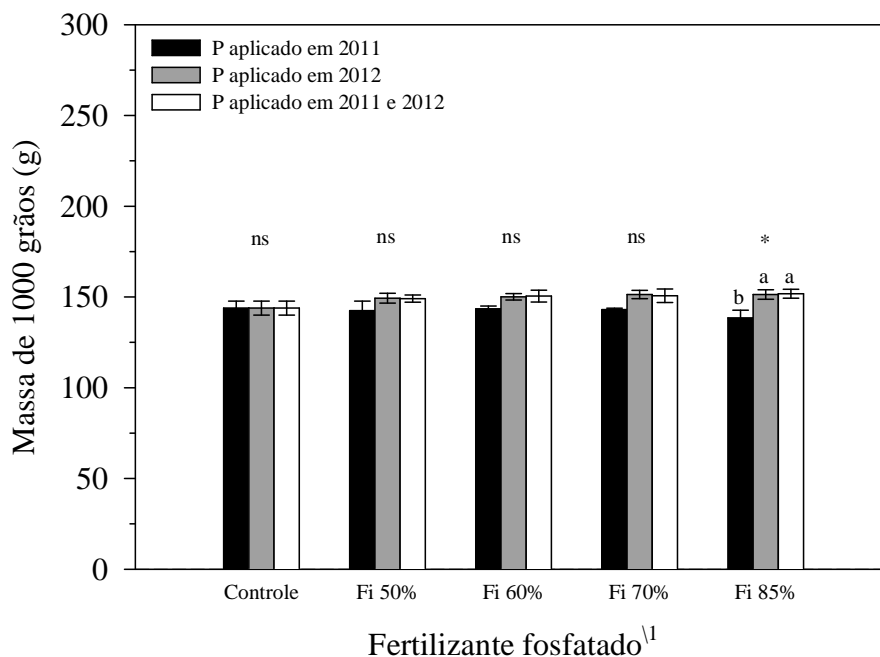


Figura 13. Massa de 1000 grãos de soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados em diferentes períodos. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. *, ns significativo e não significativo ($p = 0.05$), respectivamente; colunas de um mesmo fertilizante fosfatado seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente.

Com relação à produtividade da soja, para todas as situações a aplicação do fertilizante em 2011 e novamente em 2012 resultou nos maiores valores na safra 2012/2013. Invariavelmente também, a aplicação do fertilizante apenas na safra anterior (2011) resultou nas menores produtividades, porém ainda sempre superiores ao tratamento controle (Figura 14).

Os tratamentos com a aplicação do fertilizante apenas no ano da avaliação (2012) apresentaram comportamento intermediário em relação aos extremos mencionados acima (efeito residual e reaplicação). Nos fertilizantes com maiores solubilidades (Fi 85% e Fi 70%) a aplicação apenas em 2012 não resultou em diferenças em relação à aplicação em ambos os anos (2011+2012). Já com relação aos fertilizantes menos solúveis (Fi 60% e Fi 50%) a aplicação dos fertilizantes apenas em 2012 resultou em produtividades inferiores às obtidas quando o fertilizante foi aplicado tanto em 2011 quanto em 2012. No caso do Fi 50% inclusive, a produtividade foi tão baixa quanto à obtida na avaliação do efeito residual (2011).

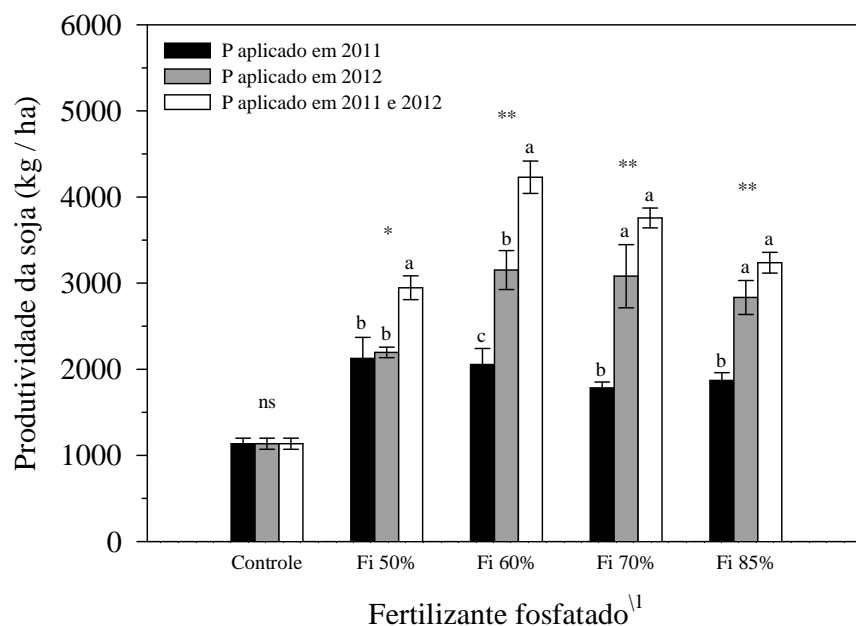


Figura 14. Produtividade da soja na safra 2012 / 2013, em função da aplicação de fertilizantes fosfatados em diferentes períodos. ¹ Fi indica a fração de P solúvel em água em relação ao P disponível (CNA+H₂O) no fertilizante fosfatado [Fi = PH₂O / (PCNA + PH₂O) x 100]. *, **, ns significativo ($p = 0.05$ e 0.01) e não significativo, respectivamente; colunas de um mesmo fertilizante fosfatado seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente.

4 Considerações finais

Os resultados obtidos na avaliação da segunda safra do presente experimento, reforçam a hipótese de que não é fundamental a utilização de fertilizantes com elevada solubilidade em água para que satisfatórios desempenhos agrônômicos sejam obtidos.

Este fato vem se confirmando com o comportamento agrônômico similar (e em muitos casos superior) dos fertilizantes menos solúveis em relação ao fertilizante padrão (SSP-85), mesmo em um solo com elevada capacidade de adsorção de P.

Acredita-se que ao final do terceiro ciclo da soja, com as subdivisões das parcelas para avaliação do efeito residual, informações científicas importantes e de caráter técnico e prático sejam geradas e na sequencia divulgadas.

Ao se confirmar a nítida tendência observada nas duas primeiras safras, estas informações darão suporte na tomada de decisão por parte de engenheiros agrônomos, de produtores e da indústria com relação à escolha de produtos que contenham impurezas insolúveis em água. Trata-se portanto de um tema recorrente visto a escassez das reservas fosfáticas mundiais, a baixa qualidade e pureza das reservas brasileiras e os altos custos.

Agradecimentos

- À Fundação MT e ao IPNI Brasil pela realização do experimento, auxílio financeiro, avaliações de campo, coleta e envio das amostras ao laboratório;
- À Universidade de São Paulo (ESALQ e CENA) pela infraestrutura para realização das análises laboratoriais;
- Ao CNPq, CAPES e FAPESP pelo auxílio financeiro e bolsa de estudos;
- À Embrapa pela disponibilidade da infraestrutura para granulação dos fertilizantes testados.

Referências

ANDA – Associação Nacional para difusão de adubos. **Anuário Estatístico ANDA**. São Paulo, 2011. 39p.

ARAI, Y.; SPARKS, D.L. Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: A multiscale approach. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 94, n. 1, p. 135-179, 2007.

BARTOS, J.M.; MULLINS, G.L.; SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P. Availability of phosphorus in the water-insoluble fraction of monoammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 2, p. 539-543. 1991

BARTOS, J.M.; MULLINS, G.L.; WILLIAMS, J.C.; SIKORA, F.J.; COPELAND, J.P. Water-insoluble impurity effects on phosphorus availability in monammonium phosphate fertilizers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 972-976, 1992.

BOUYOUCOS, G.J. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 464-465, 1962.

- GRAETZ, D.A.; NAIR, V.D. Phosphorus sorption isotherm determination. In: PIERZYNSKI, G.M. (Ed.) **Methods of Phosphorus Analysis for soils, sediments, residuals and waters**. USDA-CSREES Regional Committee, 2000. p. 35-38. (Southern cooperative series bull.,396)
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, n.19, n. 1, p.151-210, 1967.
- LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em Latossolos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 81-88, 1973.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas - Princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.
- OLIVEIRA Jr. A.; CASTRO, C.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F.A. Soja. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.) **Boas práticas para o uso eficiente de fertilizantes**, Piracicaba. IPNI, v.3, 2010. p. 5-35.
- PIERZYNSKI, G.M.; LOGAN, T.J.; TRAINA, S.J. Phosphorus chemistry and mineralogy in excessively fertilized soils - solubility equilibria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p.1589-1595, 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**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 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**, Madison, v. 95, n. 2, p. 293-302, 2003.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.189-199.
- SIKORA, F.J.; DILLARD, E.J.; COPELAND, E.J. Chemical characterization and bioavailability of phosphorus in water insoluble fractions of three monoammonium phosphate fertilizers. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**. New York, v. 72, n.5, p. 852-856, 1989.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. 416 p.