



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATADOS
REATIVOS SOB DIFERENTES FORMAS DE
MANEJO DA ADUBAÇÃO**

MARCIANA CRISTINA DA SILVA

**Orientador:
Prof. Wilson Mozena Leandro**

MARCIANA CRISTINA DA SILVA

**EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATADOS REATIVOS SOB
DIFERENTES FORMAS DE MANEJO DA ADUBAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro

Goiânia, GO - Brasil
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
GPT/BC/UFG**

S586e **Silva, Marciana Cristina da.**
Eficiência agronômica de fosfatados reativos sob diferentes formas de manejo da adubação [manuscrito] / Marciana Cristina da Silva. - 2011.
80 p.; figs, tabs.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2011.
Bibliografia.
Inclui lista de figuras e tabelas.
Apêndices.

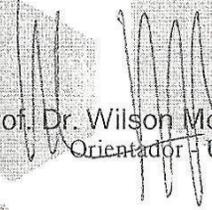
1. Fosfato Reativo. 2. Fósforo. 3. Soja. I. Título.

CDU: 631.851

MARCIANA CRISTINA DA SILVA

TÍTULO: "Eficiência agronômica de fosfatos reativos sob diferentes formas de manejo da adubação".

Dissertação DEFENDIDA em 09 de agosto de 2011, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro
Orientador - UFG/EA



Prof. Dr. Juarez Patrício de Oliveira Júnior
EA/UFG



Prof. Dr. Anibal Sebastião Alves Filho
IF/Goiano

UFG

Goânia - Goiás
Brasil

A Deus
Aos meus pais João Cristino e Maria Aparecida
A minha irmã Kerli Cristiane
A meu sobrinho João Paulo
Ao meu namorado
A toda minha família e
A todos os meus amigos e professores
Dedico

A Deus e aos meus amados
e queridos pais João
Cristino e Maria Aparecida,
pela força, amor e apoio
incondicional, pelo
sofrimento durante a minha
ausência.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em todos os momentos esteve e estará ao meu lado, me amparando e guiando-me;

A meus pais, que com seu amor incondicional me apoiaram;

A toda a minha família pelo carinho e compreensão;

Ao meu orientador professor Dr. Wilson Mozena Leandro, que em momentos mais difíceis de minha vida acadêmica me apoiou e evitou que eu desistisse diante das dificuldades, por sua compreensão, incentivo, paciência e coração enorme para com os que convivem com ele;

Ao Professor Dr. Juarez Patrício de Oliveira Júnior, pela confiança e incentivo;

Ao Professor Dr. Anibal Sebastião Alves Filho, pelo apoio durante a graduação no IF Goiano, até os dias de hoje;

Ao Professor Edival Milhomem, que me apoiou para que eu pudesse fazer algumas seleções de mestrado em Goiás e na Bahia, aulas do mestrado e iniciar pesquisas no IF Goiano e por sempre ter orgulho e acreditar em mim;

A todos os professores, colegas e amigos da Pós-graduação da Escola de Agronomia da UFG que de forma direta ou indireta contribuíram para a finalização do meu curso de mestrado;

Ao Professor Dr. Jácomo Divino Borges, por seu apoio, incentivo e orientação;

Aos Professores do IF Goiano – Campus Urutaí, por seu apoio desde meus primeiros anos de graduação até os dias de hoje;

Ao secretário da Pós-graduação Welinton Barbosa Mota, pela sua presteza e companheirismo;

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram neste meu trabalho.

A todos, o meu reconhecimento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE APÊNDICES	11
RESUMO GERAL	13
GENERAL ABSTRACT	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 FERTILIZANTES FOSFATADOS	18
2.2 DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO	19
2.3 FOSFATOS NATURAIS	20
2.4 ORIGEM	22
2.5 TAMANHO DAS PARTÍCULAS	22
2.6 FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DOS FOSFATOS NATURAIS	23
2.7 MODO DE APLICAÇÃO	25
2.8 ESPÉCIE VEGETAL	26
2.9 EFEITO RESIDUAL	27
3 EFEITO DE FONTE E MODOS DE APLICAÇÃO DE FOSFATOS REATIVOS EM SOLOS DE CERRADO GOIANOS..	28
RESUMO	28
ABSTRACT	28
3.1 INTRODUÇÃO	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.2.1 Tratamentos	30
3.2.2 Instalação	31
3.2.3 Características avaliadas	32
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.3.1 Produtividade	33
3.3.2 Fósforo extraído no solo	36

3.3.3	Teor de fósforo foliar na soja	38
3.4	CONCLUSÕES	39
4	EFEITO RESIDUAL DE FERTILIZANTES FOSFATADOS REATIVOS APLICADO NA CULTURA DA SOJA A LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO	41
	RESUMO	41
	ABSTRACT	41
4.1	INTRODUÇÃO	42
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.2.1	Tratamentos	44
4.2.2	Instalação	45
4.2.3	Características avaliadas	46
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.3.1	Produtividade	47
4.3.2	Análise foliar	50
4.3.3	Análise da terra	51
4.4	CONCLUSÕES.....	53
5	EFICIÊNCIA RELATIVA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS SOB DIFERENTES FORMAS DE MANEJO DE ADUBAÇÃO CULTIVADO POR TRÊS ANOS COM SOJA	54
	RESUMO	54
	ABSTRACT	54
5.1	INTRODUÇÃO	55
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	57
5.2.1	Tratamentos	57
5.2.2	Instalação do ensaio	57
5.2.3	Características avaliadas	59
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.3.1	Análise de variância	60
5.3.2	Produtividade de grão de soja	60
5.3.3	Eficiência relativa na produtividade de grãos	62
5.3.4	Eficiência relativa no teor foliar de P na soja	62
5.3.5	Eficiência relativa no teor de p no solo	63

5.4	CONCLUSÕES.....	67
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
7	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICES	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento e no 1º ano de experimento (média de todos os tratamentos).....	31
Tabela 2.	Teores de P extraído com o Mehlich I no solo em função dos diferentes Tratamentos. Goiânia-GO.....	36
Tabela 3.	Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento e nos dois anos de experimento (média de todos os tratamentos).....	45
Tabela 4.	Doses e modos aplicação dos Fertilizantes empregados nos três anos de ensaio.....	58
Tabela 5.	Análise de variância para as variáveis produtividade de grãos de soja, P foliar na soja e P no solo extraídos pelos extratores resina e Mehlich 1 em função da combinação dos fatores de variação fontes, modos de aplicação de fertilizantes fosfatados e anos de cultivo.....	61
Tabela 6.	Produção de soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	63
Tabela 7.	Teor foliar de soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	64
Tabela 8.	P no solo extraído pela resina cultivado com para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fosfatados.....	65
Tabela 9.	P no solo extraído pelo Mehlich 1 cultivado com soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	66

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Produtividade de grão de soja em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Goiânia-GO..... 34
- Figura 2.** Produção de grão de soja em função dos diferentes fontes de fertilizantes fosfatados: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Goiânia-GO..... 34
- Figura 3.** Índice de Eficiência Agronômica (IEA%) para a cultura da soja em função dos diferentes Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco). Goiânia-GO..... 34
- Figura 4.** Índice de Eficiência Agronômica (IEA%) para a cultura da soja em função dos diferentes fontes de fertilizantes fosfatados (F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia) Goiânia-GO..... 35
- Figura 5.** Teor foliar de P na soja em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. probabilidade..... 39

- Figura 6.** Produtividade de grão de soja em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, Produtividade de grão de soja em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato Natural Reativo de Arad e F3- Fosfato Natural Reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 48
- Figura 7.** Índice de Eficiência Agronômica de P em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior..... 49
- Figura 8.** Índice de Eficiência Agronômica de P em função das diferentes fontes de aplicação e de fertilizantes fosfatados As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 49
- Figura 9.** Teor foliar de P na soja em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 -180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%..... 50

Figura 10. Conteúdo extraído de P (Mehlich I) em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 51

Figura 11. Conteúdo extraído de P (resina) em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade..... 52

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A.1.	Doses de Fertilizantes empregados nos fertilizantes no experimento...	75
Apêndice A.2.	Produtividades médias de grão de soja com teste F e coeficiente de variação para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	76
Apêndice A.3.	Teores médios, teste F e coeficiente de variação das variáveis das análises de folha de soja e milho para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.	77
Apêndice B.1.	Doses de Fertilizantes empregados nos fertilizantes no experimento...	78
Apêndice B.2.	Produção de grão de soja, com teste F e coeficiente de variação e IEA para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	79
Apêndice B.3.	Teores médios, teste F e coeficiente de variação das variáveis das análises de folha de soja e milho para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.....	80

RESUMO GERAL

SILVA, M. C. **Eficiência agronômica de fertilizantes reativos sob diferentes formas de manejo da adubação.** 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.¹

Com o objetivo de avaliar a eficiência relativa de fertilizantes fosfatados reativos sob diferentes manejos da adubação, em três cultivos sucessivos da soja, conduziu-se um experimento na Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos da Universidade Federal de Goiás, em um Latossolo Vermelho Distroférrico com teores baixos de fósforo. Empregou-se um delineamento em blocos ao acaso, em arranjo fatorial $3 \times 4 + 1$ (fontes x modos + testemunha) subdividido no tempo (três cultivos sucessivos). As fontes de fósforo foram o superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Arad e fosfato natural reativo de Youssoufia. Os manejos de adubação foram M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação (1º. ano); M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações de 90 kg. Estimou-se a produtividade da cultura, os teores de P nas folhas de soja e os teores de P no solo extraído pelo extrator Mehlich 1 e resina e a eficiência relativa para cada uma destas variáveis. As principais conclusões obtidas foram que a eficiência relativa dos fosfatos reativos obtidos dependeu da variável empregada. A aplicação do Fosfato natural reativo de Youssoufia parcelada em três anos no sulco de plantio proporcionou maior incremento na produtividade e nos teores de P no solo ao longo dos três anos de cultivo.

Palavras-chave: fosfato reativo, superfosfato triplo, *Glycine max*, fósforo.

¹ Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

GENERAL ABSTRACT

SILVA, M. C. **Agronomic efficiency of fertilizer under different reactive forms of fertilizer management.** 2011. 80 f. Dissertation (Master in Agronomy: Soil and water) School of Agronomy and Food Engineering, Federal University of Goiás, Goiânia, 2011.²

The relative efficiency of phosphate fertilizers was studied in an Hapludox with low phosphorus levels cropped with soybean in the Goiânia region, Goiás State, Brazil (16°36'S 49°17'W, 730m). It was used a randomized block design in factorial arrangement 3 x 4 + 1 (source x methods of application + control), with four replications, with three sources of phosphate (triple superphosphate, reactive Arad rock phosphate, reactive Youssoufia rock phosphate), four application methods, and a control common to all treatments. The main conclusions based on three years average data were that there was an increase in soybean yield with the application of triple superphosphate. The relative efficiency of phosphatic fertilizers followed the order: reactive Youssoufia rock phosphate > reactive Arad rock phosphate > triple superphosphate. It was observed that broadcast 270 kg.ha⁻¹ P₂O₅ split in three annual applications of 90 kg.ha⁻¹ P₂O₅ (M2) increased the productivity on the reactive phosphate over the three years of cultivation.

Key words: reactive phosphate, triple superphosphate, *Glycine max*, phosphorus.

² Adviser: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA-UFG.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A absorção de nutrientes pela soja é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, como chuva e temperatura, as diferenças genéticas entre as variedades, o teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais. Contudo, é possível estimar as quantidades médias de nutrientes que estão presentes nos restos culturais e nos grãos da soja para cada tonelada de produção de grãos. O elemento mais requerido pela soja é o nitrogênio. Portanto, para uma produção de 3.000 kg.ha⁻¹, há a necessidade de 246 kg de nitrogênio, que são obtidos, em pequena parte, do solo (25% a 35%) e, na maior parte, pela fixação simbiótica do nitrogênio (65% a 85%). Por estes dados pode-se avaliar a importância de se fazer uma inoculação bem feita, com inoculante de boa qualidade, para ter eficiência na fixação simbiótica do nitrogênio do ar a custo zero, através das bactérias nos nódulos das raízes da soja (Embrapa, 2006). Por isso, deve-se evitar a adubação com nitrogênio mineral, pois além de causar a inibição da nodulação e reduzir a eficiência da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico não aumenta a produtividade da soja. Quando a adubação for feita com adubo formulado, cuja fórmula possua nitrogênio e esta seja de menor custo que a mesma fórmula sem nitrogênio, pode-se utilizá-la na semeadura desde que não ultrapasse 20 kg de N.ha⁻¹. Para que a fixação simbiótica seja eficiente, há a necessidade de se corrigir a acidez do solo e fornecer os nutrientes que estejam em quantidades limitantes. Na seqüência, os mais exigidos são o potássio, o enxofre e o fósforo. Em relação aos micronutrientes, é importante observar as pequenas quantidades necessárias para suprir a cultura da soja, porém, não se deve deixar faltar nenhum deles, pois todos são essenciais, e com a falta de apenas um deles não haverá bom desenvolvimento e rendimento de grãos (lei do mínimo) (Cantarella & Quaggio, 2000).

A baixa disponibilidade de fósforo (P) é, geralmente, uma das maiores limitações ao crescimento das plantas. Para a cultura da soja, o fósforo encontra-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento. O P é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento.

A escolha da fonte de P está relacionada tanto à eficiência em suprir as necessidades das plantas, quanto ao custo do fertilizante. Os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados, embora possuam custo mais elevado, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agronômica, especialmente para culturas anuais, porém a preços mais atrativos.

Vários autores verificaram que em levantamento de caracterização dos solos de cerrado, que em 92% das amostras coletadas o teor disponível de P (Mehlich-1) foi inferior a 2 mg.dm^{-3} . Sousa et al. (2002) relataram a existência de resposta à aplicação de P até a dose de 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o que evidencia, também, a baixa disponibilidade desse nutriente. Portanto é imprescindível a prática da adubação fosfatada para se obter produções satisfatórias nos diferentes sistemas de produção agrícola.

Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), farelados. Os fosfatos naturais reativos são de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade o que lhes confere um menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolizados, sendo por isso conhecido como fosfatos moles e de grande reatividade (Peruzzo & Wietholter, 1999).

A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Araújo et al., 2004). O fosfato natural reativo, por causa de sua reatividade, apresenta uma eficiência similar ao superfosfato triplo, quando aplicado a lanço em área total e incorporado (Goedert & Lobato, 1984; Coutinho et al., 1991; Lopes, 1999).

O método de aplicação interfere na eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente em solos com baixo teor de P e que possuem alta capacidade de fixação do nutriente (Novais & Smyth, 1999). Apesar dos numerosos estudos existentes sobre o manejo da adubação fosfatada, ainda permanecem dúvidas, principalmente quanto à aplicação direta dos fosfatos naturais, importados e nacionais, sendo esse aspecto motivo de controvérsias entre pesquisadores (Costa et al., 2008). Fosfatos naturais aplicados a

lanço e incorporados em solos com pH em água até 5,5 têm sua eficiência aumentada com o passar do tempo e com o revolvimento do solo nas operações de aração e gradagem. A aplicação desses fosfatos no sulco de plantio promove redução da eficiência da adubação (Lopes, 1999).

Novais (1999) relata que a maior solubilização de fosfatos naturais em condições de solos argilosos e com pH ácido não favorece a planta, uma vez que o dreno preferencial do P nesse sistema é o próprio solo, sendo essa situação agravada com o maior contato do fosfato com as partículas de solo propiciado pelo revolvimento. Assim a aplicação localizada de fosfatos naturais no sulco de plantio levaria a uma condição em que as raízes da planta seriam o principal dreno envolvido na solubilização e aquisição do P, contribuindo para aumentar a eficiência da adubação com esses fertilizantes.

Segundo Motomiya et al. (2004), o fosfato natural reativo quando aplicado a lanço na cultura da soja resulta em maior produtividade e um custo x benefício maior, isto é, maior produtividade a um custo abaixo quando comparados ao superfosfato triplo. Portanto, esforços devem ser desenvolvidos para delinear a recomendação de adubação para a cultura da soja, com o uso dos FNR, visando aumento ou mesmo uma produção equivalente aos atuais índices de produtividade da cultura para o Centro Oeste. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agrônômica de fertilizantes reativos sob diferentes formas e manejo de adubação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FERTILIZANTES FOSFATADOS

O fósforo (P) é o nutriente mais limitante da produtividade em solos tropicais (Novais & Smyth, 1999). Os solos brasileiros são carentes de P, em consequência do material de origem e da forte interação do P com o solo (Raij, 2004), em que menos de 0,1% encontra em solução. A aplicação de P em doses elevadas em solos intemperizados é justificada pela intensa fixação desse elemento nos colóides do solo, ocasionando baixo conteúdo de P disponível, principalmente em solos onde há predomínio de minerais sesquióxidos (Büll et al., 1998; Novais & Smyth, 1999). A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (Chien & Menon, 1995).

Os fertilizantes fosfatados podem apresentar alta ou baixa solubilidade em água. Os que apresentam alta solubilidade em água, como os superfosfatos e os fosfatos de amônio, são obtidos por processos industriais pelo ataque da rocha fosfática com ácidos. Os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade em água e são obtidos de jazidas de minérios fosfáticos após a passagem do material por processos de notação de lavagem para a eliminação parcial de impurezas (Araújo, 2004).

Para os fertilizantes fosfatados solúveis em água, a legislação brasileira estabelece uma garantia mínima para o teor de P, expresso em porcentagem de P_2O_5 , extraído por citrato neutro de amônio mais água e extraído somente por água. Para misturas de fertilizantes e complexados, que contenham outros nutrientes, deve ser expressa apenas a porcentagem de P_2O_5 extraída por citrato neutro de amônio mais água. Para os fosfatos que apresentam baixa solubilidade em água, como os fosfatos naturais, quando comercializados isoladamente, o teor de P_2O_5 expresso em porcentagem de P_2O_5 , deve ser aquele solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100 e o teor de P total (Oba, 2000).

Até 1992, a legislação estabelecia que fosfatos naturais deveriam ser comercializados moídos (no mínimo 85% das partículas deveriam ser menores do que

0,074 mm). Porém, a partir daquele ano, novas portarias definiram que fosfatos naturais de origem sedimentar poderiam ser comercializados na forma farelada (100% das partículas menores do que 4 mm e no mínimo 80% delas menores do que 2,8 mm), desde que classificados como fosfatos reativos. Para tal, devem conter pelo menos 28% de P_2O_5 total e 9% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% na relação 1:100. Os fosfatos naturais de origem sedimentar comercializados atualmente no Brasil são provenientes do norte da África e do Oriente Médio (Horowitz, 1998).

2.2 DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

O rendimento de um cultivar é função do seu potencial genético e das condições ambientais durante o cultivo, onde se inclui o suprimento de nutrientes minerais como o fósforo. De um modo geral, mesmo que os teores totais de fósforo no solo sejam altos em relação aos necessários para as plantas, apenas uma pequena fração deste têm baixa energia de ligação que possibilite sua dessorção e disponibilidade às plantas. A fração de fósforo ligada aos colóides com baixa energia é conhecida como fator quantidade (Q) e está em equilíbrio com o fósforo na solução do solo, fator intensidade (I), de onde as plantas absorvem-no. A taxa de reposição do I pelo Q é conhecido como fator capacidade (C) ou poder tampão (Novais & Smith, 1999). Quando o solo não tem capacidade de suprir as quantidades de nutrientes exigidas pelas plantas para o seu máximo rendimento, a prática da adubação deve ser empregada.

A forma mais rápida e econômica para avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo e a quantidade de fertilizantes a ser empregada se dá por meio da análise de solo e a consulta de tabelas de recomendação de adubação. Entretanto, a eficácia do uso da análise de solo depende de quanto o valor obtido pelo método está correlacionado com a absorção do nutriente pela planta, em solos que representam uma determinada região de utilização do sistema de recomendação de adubação. Além disto, um método adequado para avaliação da disponibilidade de um nutriente no solo deve apresentar uma grande amplitude no valor da análise entre o solo com teor baixo e o solo com teor alto, a fim de evitar que o erro de leitura e/ou a contaminação da amostra prejudique demasiadamente a interpretação dos resultados (Mielniczuk, 1995).

A avaliação do fósforo disponível no solo às plantas tem sido feita com o uso de soluções extratoras com características e princípios de extração diversos (acidez,

diluição, tamponamento, presença de compostos complexantes) (Novais & Smith, 1999). As extrações do fósforo disponível fornecem valores que variam entre intensidade e quantidade e, às vezes, até mesmo, parte do fósforo não disponível (NQ), dependendo das propriedades do extrator e das condições de extração, sem informar sobre o fator capacidade. Os métodos de avaliação da fertilidade do solo procuram estimar a porção de Q passível de repor I, para predizer a necessidade de suplementação do nutriente. A eficiência desses métodos depende da forma em que o nutriente está inserido em Q (Al-P, Ca-P, Fe-P) e do acesso do extrator a essa forma (Gatiboni, 2003).

Com a relação entre os teores no solo do nutriente e os rendimentos relativos do conjunto de experimentos obtém-se uma curva de resposta da cultura ao teor do nutriente no solo. A partir da curva de resposta é possível estimar a probabilidade de resposta da cultura a um estado de fertilidade em outros locais da mesma região em que foi realizado o estudo (Mielniczuk, 1995).

Conforme Anghinoni & Volkveiss (1995), a etapa de calibração do método de análise do solo, durante a elaboração de um programa de recomendação de adubação, visa não somente estabelecer teores de um elemento no solo para uma probabilidade de resposta de uma cultura, mas visa também definir doses do elemento para aumentar a resposta, considerando-se, a dose de máxima eficiência técnica (MET) e/ou econômica (MEE). Assim, quanto maior o teor do nutriente no solo, menor a probabilidade de resposta, até atingir certo teor, conhecido como nível ou teor crítico (NC ou TC), onde a probabilidade de resposta à adubação com este nutriente é mínima.

2.3 FOSFATOS NATURAIS

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados na jazida. Os principais depósitos de rochas fosfáticas podem ser classificados em três grupos, conforme o arranjo mineralógico: a) fosfatos de ferro-alumínio; b) fosfatos de cálcio-ferro-alumínio; e c) fosfatos de cálcio. Estes três grupos podem ocorrer numa sequência natural de intemperismo e os fosfatos de ferro-alumínio representam o extremo de intemperização (Raij, 1991).

Entre os fosfatos de ferro-alumínio, os minerais mais comuns são wavelita, variscita e estrengita. No grupo dos fosfatos de cálcio-ferro-alumínio, os principais representantes são crandalita e milisita. O grupo de maior importância econômica e mais conhecido como rocha fosfática ou fosfato natural é o fosfato de cálcio, que pertence à categoria das apatitas. Nesta categoria encontram-se, entre outros minerais, fluorapatita e francolita. A variada composição química dos minerais desta categoria é a principal responsável pelas diferentes propriedades dos concentrados de P produzidos. A fluorapatita, por exemplo, raramente ocorre pura; em sua estrutura ocorrem várias substituições isomórficas, das quais as mais comuns são Mg, Sr e Na por Ca, OH e Cl por F, As e V por P, e $\text{CO}_3 + \text{F}$ por PO_4 .

Os minerais apatíticos formaram-se sob diferentes regimes geológicos – ígneos metamórficos ou sedimentares, além de terem sofrido transformações por intemperismo, lixiviação, reprecipitação e contaminações várias, quando as condições de formação do jazimento permitiram e os fatores climáticos contribuíram para tal. Assim, os depósitos de fosfatos de origem ígnea, ou magmática, são geralmente pobres em sílica, possuem textura simples e contém rochas associadas do tipo carbonatitos e ultrabásicas, em que a fluorapatita é o principal mineral fosfático, como jazidas de Catalão no Brasil e Tennessee nos EUA. Estes fosfatos representam, aproximadamente, 17% das reservas mundiais e cerca de 50% das reservas brasileiras (Raij, 2004).

Embora os fosfatos naturais sejam reconhecidos como matéria prima para a fabricação direta de fertilizantes (ataque sulfúrico para produção de superfosfato simples), ou indireta (ataque sulfúrico para obtenção de ácido fosfórico e posterior produção de superfosfato triplo ou fosfatos de amônio), muitas vezes a origem e a natureza da rocha fosfática, ou mesmo o tipo e o grau das contaminações presentes nos concentrados, inviabiliza o seu uso industrial para obtenção de fertilizantes convencionais e, por isso, há necessidade de proporcionar outros usos para as rochas de menor qualidade. A recomendação de sua utilização para aplicação direta na agricultura é a que tem recebido maior número de adeptos. Porém, a reatividade desses fosfatos naturais é bastante distinta entre eles. Muitos são praticamente inertes quando usados como fonte de P para as plantas, como a maioria dos fosfatos de origem geológica ígnea e metamórfica, mas outros têm mostrado resultados animadores, como o caso da maioria dos fosfatos de origem sedimentar (Kaminsk & Peruzzo, 1997).

2.4 ORIGEM

Os fosfatos naturais classificados como sedimentares originam-se da deposição acumulada, em camadas, de ossadas esqueletos de animais. Como consequência da formação geológica resultam propriedades físico-químicas diferenciadas nos minerais apatíticos que afetam a sua reatividade e eficiência agronômica.

As rochas fosfáticas de origem sedimentar têm estrutura cristalográfica próxima à da francolita, apresentando cristais pequenos, alto grau de substituição isomórfica, menor rigidez e alta porosidade. Depósitos fosfáticos com estas características ocorrem, principalmente, no norte da África, no Oriente Médio e nos Estados Unidos Carolina do Norte, de onde temos os fosfatos comerciais Arad do Oriente Médio, Youssoufia e Gafsa da África (Araújo, 2004).

A solubilidade dos fosfatos naturais é avaliada indiretamente pela solubilidade em extratores químicos, como o ácido cítrico, o ácido fórmico e o citrato neutro de amônio. Devido às características diferentes destes solventes, a quantidade de P solúvel dos fosfatos naturais é variável (McClellan & Gremillion, 1980; Sousa et al, 2002). As avaliações laboratoriais são usadas para estimar o potencial de utilização dos fosfatos naturais, porém não podem prever sua eficiência e, devido a isto, experimentos de campo e em casa de vegetação ainda são os métodos mais, confiáveis, porém mais demorados e caros. Para fins de recomendação de uso e de estudos dos fosfatos naturais reativos é utilizado, normalmente, o teor de P_2O_5 total.

A solubilidade do fosfato dentro de uma jazida pode variar conforme a profundidade e a localização do jazimento. Isto pode explicar a variabilidade de respostas, com inconsistência dos dados, para um mesmo fosfato natural em condições agroclimáticas similares. Esta variabilidade pode ser responsável pela discrepância de resultados, entre diferentes pesquisas, quando se comparam rochas de diferentes origens (Kaminsk & Peruzzo, 1997).

2.5 TAMANHO DAS PARTÍCULAS

O tamanho das partículas é um fator que afeta acentuadamente a eficiência dos adubos fosfatados. Para fosfatos com alta solubilidade em água, a eficiência é favorecida pela granulação (Raij, 1991), por reduzir a área superficial de contato, diminuindo, assim, a

retenção de P pelo solo. Quando o solo não é revolvido, as fontes de alta solubilidade em água que têm grânulos com diâmetro entre 2,0 mm e 4,0 mm apresentam maior efeito residual. Porém, com o revolvimento do solo, o efeito residual iguala-se ao das partículas menores. Como os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, quanto menor o tamanho da partícula e maior seu contato com o solo, maior será a liberação de P (Raij, 1991), o efeito de tamanho de partícula é limitado à origem dos fosfatos naturais: para fosfatos de origem ígnea ou metamórfica, a reatividade é pouco aumentada com a diminuição do tamanho de partícula (Lopes, 1999); porém, para fosfatos de origem sedimentar, o efeito do tamanho da partícula é significativo.

A moagem dos fosfatos naturais de origem sedimentar tornou-se uma prática comum com o objetivo de aumentar a área de contato das partículas com o solo, aumentando sua reatividade. Porém, o grau de moagem para o fosfato natural não foi estabelecido internacionalmente, gerando grande confusão na literatura a respeito deste assunto. O termo finamente moído, para definição da forma física de um fosfato natural, varia entre autores. Este termo define desde 100% das partículas do fosfato natural, menores do que 0,074 mm para alguns até 80% das partículas menores do que 0,15 mm para outros (Horowitz, 1998).

Em solos de Cerrado, Rein et al. (1994) mostraram que o fosfato natural reativo moído (85% das partículas inferiores a 0,074) teve eficiência agrônômica equivalente ao do superfosfato triplo e maior que o fosfato natural reativo na forma farelada, no primeiro ano de plantio e nos demais anos superou o fosfato natural na forma farelada.

Atualmente, os fosfatos naturais reativos comercializados não têm um padrão de tamanho de partículas definido. Quando retirados da jazida passam por um processo de concentração por meio de lavagens ou flotação. Normalmente apresentam aproximadamente de 80% de suas partículas com tamanho entre 0,1 mm e 0,3 mm e são registrados no Ministério da Agricultura do Brasil como “produto farelado”, embora em muitos casos pudessem atender à legislação como pó (Korndorfer et al., 1997).

2.6 FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DOS FOSFATOS NATURAIS

Para fertilizantes fosfatados, a sua solubilidade pode ser estimada, é relacionada com a sua solubilidade em laboratório, que é determinada em função da

quantidade de P extraída por uma solução durante um determinado tempo. A legislação brasileira preconiza a utilização de ácido cítrico a 2% como extrator para os fosfatos naturais e outros fertilizantes não acidulados, e a água e o citrato neutro de amônio somados como extratores para os fosfatos solúveis. Deve-se destacar que, esses índices obtidos em laboratório, são válidos quando apoiados, na sua interpretação, por pesquisas a nível de campo (Goedert & Lobato, 1980). Os resultados experimentais tem mostrado que este procedimento é válido para avaliar a eficiência de fertilizantes para a cultura imediata à aplicação (Goedert & Sousa, 1984; Sousa & Lobato, 2003).

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma sequência de eventos físico-químicos que transformam o fosfato em substância fosfatadas complexas, as quais passam a governar a disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, se forem adicionados fosfatos solúveis em água, a reação no solo é rápida e os novos produtos formados conseguem manter uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo. Isso cria um gradiente osmótico que promove o deslocamento da água em sua direção, e ao mesmo tempo há a difusão da solução da região mais concentrada para regiões de menor concentração. Isto permite que soluções com P suficiente para atender a demanda de plantas quando o sistema radicular atinge essas regiões. O evento prossegue até que haja diluição da solução com P, ou se completem as reações com os constituintes do solo e extinga o potencial osmótico. Com resultado, o pH do sítio onde ocorreu a reação será menor que o original (Kaminsk & Peruzzo, 1997).

Se o fertilizante for de baixa solubilidade haverá um tipo de reação similar, mas nesse caso, a solução será mais diluída e o potencial osmótico será menor, ambos ditados pela solubilidade do produto utilizado. Por isso, o movimento de água na direção do fertilizante será menor e esta solução influenciará volumes muito menores de solo ao redor do grânulo de fertilizantes, de modo que as rotas do movimento de P, serão a difusão na solução e o fluxo de massa, que é muito pequeno no P e, por isso, sua disponibilidade dependerá da quantidade de água no solo, o que facilitará o acesso da raiz ao nutriente (Kaminsk & Peruzzo, 1997). O pH do sítio da reação praticamente não se alterará.

Como os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e, normalmente, fornecem P ao sistema em taxas maiores, são fontes mais eficientes do que os fosfatos naturais a curto prazo. Por isso, a eficiência agrônômica dos fosfatos em geral está diretamente correlacionada com a sua solubilidade (Goedert et al., 1986; Sousa et al.,

2002). Porém os fosfatos naturais reativos, que reagem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada por períodos longos, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda do poder fertilizante destes. Nesta situação, deixa de existir a correlação entre a sua eficiência e a solubilidade. Já com os fosfatos naturais “duros” isso não ocorre porque a fração não solúvel também é importante na composição do fosfato como um todo, e ela está vinculado efeito residual.

2.7 MODO DE APLICAÇÃO

A eficiência dos fosfatos naturais também é influenciada pela forma de aplicação do fertilizante. A dissolução do fosfato natural é dependente da superfície de contato com o solo. Portanto, sua taxa de dissolução é aumentada se o fertilizante for aplicado em área total e incorporado. Sousa et al. (1999) constataram que a aplicação de fosfato de Gafsa em solo com preparo, tanto a lanço como em sulco, foi mais eficiente do que em solo sem preparo.

O modo de aplicação interfere na eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente em solos com baixo teor de P e que possuem alta capacidade de fixação do nutriente (Novais & Smyth, 1999), caso típico dos solos de cerrado. Apesar dos numerosos estudos existentes sobre o manejo da adubação fosfatada, ainda permanecem dúvidas, principalmente quanto à aplicação direta dos fosfatos naturais, importados e nacionais, sendo esse aspecto motivo de controvérsias entre pesquisadores (Lopes, 1999; Novais, 1999). Fosfatos naturais aplicados a lanço e incorporados em solos com pH em água até 5,5 têm sua eficiência aumentada com o passar do tempo e com o revolvimento do solo nas operações de aração e gradagem. A aplicação desses fosfatos no sulco de plantio promove redução da eficiência da adubação (Lopes, 1999).

Dentre as formas de distribuição de fertilizantes, as que se destacam é a adubação de semeadura e a adubação a lanço antecipada. A primeira consiste na aplicação de fertilizantes e sementes ao mesmo tempo na linha de semeadura. O sistema convencional tem sido muito utilizado desde a invenção da semeadora-adubadora que realiza este procedimento favorecendo o manejo das culturas (Malavolta, 1989). A segunda forma consiste em antecipar a aplicação total ou parcial da quantidade de fertilizante

requerida, numa cultura de verão, permitindo que o processo de semeadura ocorra de forma mais rápida (Chueiri, 2005).

Os atrasos durante a operação de semeadura resultam em decréscimos na produtividade, sendo uma das razões a necessidade de aplicar grandes quantidades de adubos no momento da implantação da cultura. Essas grandes quantidades implicam em maior tempo e número de abastecimentos da semeadora, influenciando na sua capacidade operacional. Portanto, uma das alternativas para contornar o problema é antecipar a adubação. Neste sistema, a adubação é aplicada antes da semeadura, proporcionando um menor tempo nas paradas para o abastecimento da semeadora, redução do número de conjuntos, dos custos operacional e total, possibilitando, desta forma, aumento na receita líquida se comparado ao sistema tradicional, independentemente do período de semeadura. Esta técnica tem sido bastante utilizada no Brasil, porém são poucos os estudos que relatam sua eficiência em relação a outras técnicas de adubação (Segatelli, 2004).

2.8 ESPÉCIE VEGETAL

As espécies vegetais são fundamentais na solubilização do P, principalmente o P não lábil, pois existem espécies que possuem capacidade de solubilizá-lo mediante a exsudação de suas raízes, a qual contém ácidos orgânicos, e estes, por sua vez, agem na dissolução do colóide, alimentando o P na solução do solo (Chien & Menon, 1995). No sistema de plantio direto, ocorre o aumento de matéria orgânica nos horizontes superficiais, em decorrência da deposição de palhada, decrescendo com a profundidade.

Uma das principais características que influem na adsorção de P é a matéria orgânica, a qual interage com os óxidos de Al e Fe resultando em redução dos sítios de fixação, por causa do recobrimento da superfície desses óxidos por moléculas de ácidos húmicos, ou pela formação de compostos na solução do solo. Ocorre, assim, uma tendência de menor fixação e, portanto, maior aproveitamento pela planta do P oriundo da adubação fosfatada. Esse efeito, no entanto, é temporário (Andrade et al., 2003).

A resposta da cultura da soja à utilização do fósforo (P) via solo é bem definida, sendo esse nutriente de grande importância no desenvolvimento da mesma, responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento da cultura, implicando comumente seu uso em aumento do rendimento (Souza et al., 1999).

Diversos autores descreveram a deficiência de P em soja Rosolem (1984) relatou que, em deficiência de P, as folhas mais velhas e intermediárias da soja mostram-se, de início, com cor verde mais escura: com o tempo, tais folhas mostram clorose generalizada, que caminha da ponta para a base, e os sintomas são acentuados nos estádios de floração e enchimento dos grãos. De acordo com Sinclair (1993), a soja requer quantidades relativamente altas de P, especialmente na época de fixação das vagens. Os sintomas de deficiência não são bem definidos, sendo o retardamento no crescimento o principal deles. As plantas estiolam e têm folhas menores, que se tornam verdes escuras ou verdes azuladas.

O florescimento e a maturação são atrasados. Segundo Malavolta et al. (1997), em princípio, as folhas mais velhas apresentam cor amarelada, com pouco brilho, cor verdes azulada ou manchas pardas, número reduzido de frutos e sementes, atraso no florescimento e tamanho reduzido da planta, mas ressaltam que estes sintomas são muito difíceis de ser caracterizados em condição de campo. São ainda relatados como efeitos da deficiência de P a diminuição do índice de área foliar, da absorção e concentração de P, além do aumento da densidade radicular nas camadas superficiais do solo.

É provável que o ciclo da espécie vegetal influencie na eficiência dos fosfatos naturais reativos. Culturas com ciclos mais longos podem se beneficiar da aplicação destes fosfatos. Cantarella et al. (2002), em experimento em condições de campo, em solo arenoso, constataram que o fosfato natural reativo de Daoui foi uma fonte eficiente para o fornecimento de P para a cultura de cana-de-açúcar e para a cultura da soja, milho e outras culturas com a necessidade de P para seu crescimento inicial.

2.9 EFEITO RESIDUAL

A adubação fosfatada apresenta efeitos imediatos no primeiro cultivo e efeitos residuais nos cultivos subsequentes. O efeito residual de adubos fosfatados com alta solubilidade em água tende a diminuir com o passar do tempo. Para os fosfatos naturais, o efeito imediato, após a aplicação, tende a ser menor em relação aos fosfatos de alta solubilidade em água. Porém, com o passar do tempo de aplicação, principalmente em solos ácidos, os rendimentos acumulados das culturas para os fosfatos naturais reativos são similares aos obtidos com fontes de P de alta solubilidade em água (Choudhary et al., 1996). Rein et al. (1994) também observaram que os fosfatos naturais farelados têm maior efeito residual do que as fontes de P com alta solubilidade em água.

3 EFEITO DE FONTE E MODOS DE APLICAÇÃO DE FOSFATOS DE ATIVOS EM SOLOS DE CERRADO GOIANOS

RESUMO

Esforços devem ser desenvolvidos para delinear a recomendação de adubação para a cultura da soja, a tempo de possibilitar aumento dos atuais índices de produtividade máxima para a região Centro Oeste. Neste contexto para avaliação a eficiência agrônômica de fosfato reativo na produção de soja e milho, foi conduzido ensaio em condições de campo, envolvendo diferentes fertilizantes e modos de aplicação. O experimento foi instalado na Fazenda da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Campus II, em Goiânia-Goiás. Os tratamentos foram quatro modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 3 x 4 + 1 (Fontes x Modos + 1 Testemunha), totalizando 52 parcelas. O ensaio foi iniciado com o plantio do milho para estabelecendo palhada, depois foi semeada a soja. Não houve efeito da aplicação dos tratamentos na produção de grão de soja e fitomassa do milho. A eficiência agrônômica dos fosfatos reativos de Arad e Youssoufia foram menores que o superfosfato triplo. A aplicação dos fosfatos reativos no sulco de plantio diminuíram a eficiência agrônômica. As maiores doses dos adubos fosfatados estudados implicaram em um maior índice de eficiência agrônômica. O fosfato reativo de Arad apresentou um maior teor de P extraído pelo Resina e Mehlich I.

Palavras-chave: fertilizantes fosfatados, *Glycine max*, eficiência agrônômica

ABSTRACT

EFFECT OF REACTIVE PHOSPHATE SOURCES AND METHODS OF APPLICATION IN GOIAS STATE CERRADO SOILS

Efforts should be developed to outline the fertilizer recommendation for soybeans in time to allow increased productivity from the current maximum rates for the Brazilian Central-West region. In order to evaluate the agronomic effectiveness of reactive phosphates in the production of soybean and millet, a test was conducted under field conditions involving fertilizer sources and application methods. The experiment was conducted in Goiânia, Goiás State, Brazil (16°36'S 49°17'W, 730m). The treatments were four P application methods: 270 kg.ha⁻¹ P₂O₅ broadcast in a single application (M1); 90

kg.ha⁻¹ P₂O₅ broadcast (M2); 45 kg.ha⁻¹ P₂O₅ total broadcast + 45 kg.ha⁻¹ P₂O₅ in the planting row (M3); and 90 kg.ha⁻¹ P₂O₅ in the planting row (M4). The sources were triple superphosphate (F1), reactive natural Arad phosphate (F2), and reactive natural Youssoufia phosphate (F3). The experimental design was a randomized block in factorial in a 3x4 arrangement + 1 (sources + 1 x method control), totaling 52 plots. Millet was grown for straw mulch and soybean was sown in sequence. There was no effect of application method in soybean and millet dry matter yieldings. The agronomic efficiency of the reactive phosphates Arad and Youssoufia was lower than the triple superphosphate. The application of reactive phosphate in the planting row decreased the agronomic efficiency. The higher doses of phosphate fertilizers resulted in higher agronomic efficiencies. The Arad reactive phosphate showed a higher content of P extracted by resin and Mehlich I methods.

Key words: phosphate fertilizers, *Glycine max*, agronomic efficiency

3.1 INTRODUÇÃO

A soja é a oleaginosa cultivada mais importante no mundo. A produção mundial na safra 2010/2011 esta estimada em 263,49 milhões de toneladas. A oferta pelo produto está restrita principalmente a três países: EUA, Brasil e Argentina. Esses países participam com 80 % da produção e 90 % da comercialização mundial da soja (Conab, 2011).

A região dos cerrados assume importância estratégica para o desenvolvimento da cultura da soja no Brasil. Sua contribuição para a produção nacional é crescente e determinante para a posição alcançada no cenário internacional. Os Estados do Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás são os que apresentam maior participação na produção regional de soja.

O fósforo é um dos nutrientes mais importantes nas adubações para o estabelecimento, recuperação e renovação de varias culturas na região do Cerrado. Em face da deficiência desse elemento, nos solos da região e sua inclusão nas adubações torna-se indispensável para a obtenção de produtividades satisfatórias das culturas.

A oferta de fosfatos naturais como fonte de P culturais anuais, a preços inferiores por toneladas aos dos superfosfatos, tornou-se atrativos no mercado de fertilizantes no Sul do Brasil e aumentou consideravelmente o seu consumo. Sob o nome de fosfatos naturais são reunidos uma ampla gama de minerais fosfatados de diferentes origens e composição, o que lhes confere distintas propriedades e grande variação na sua

eficiência como fonte de P às culturas (Peruzzo, 1997). Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), não moídos, cuja importação teve início na década de 90 (Sousa et al., 1999).

Os fosfatos naturais reativos (FNR) são processados de rochas sedimentares, formada pela deposição de restos de animais marinhos e que têm alta porosidade e reatividade. Esses fosfatos eram importados na forma finamente moída. Recentemente são encontrados no comércio na forma não moída, farelada, cujo custo de processamento é menor, apresentando ainda maior facilidade no manuseio e aplicação. A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Sousa et al. 2002; Raij, 2004).

O fósforo (P) do fosfato natural reativo encontra-se na forma tricálcica é solubilizado de modo imediato, progressivo e constante, permitindo às plantas uma disponibilidade permanente de fósforo nas quantidades necessárias e durante todo o ciclo da planta. Nos fosfatos acidulados ou solúveis em água (superfosfato simples e superfosfato triplo) a disponibilidade do fósforo é total e por um curto período. Os fosfatos natural em geral apresentam menor eficiência agrônômica em curto prazo, porém a longo prazo o seu efeito residual é geralmente maior (Raij, 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fontes e modos de aplicação de fosfato reativo em solos de Cerrado cultivado com soja.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em três fontes de fósforo e quatro modos de aplicação, a saber: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo Arad; F3- fosfato natural reativo Youssoufia; os modos de aplicação foram M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco.

Antes da instalação do experimento os solos foram analisados física e quimicamente conforme metodologia de Embrapa (1999). Para o cálculo da quantidade de fertilizante fosfatado foi utilizado o teor total de P_2O_5 das fontes envolvidas (superfosfato triplo - 45% P_2O_5 , Arad - 33% P_2O_5 e de Youssoufia - 31% P_2O_5).

3.2.2 Instalação

O experimento foi conduzido, em condições de campo, num Latossolo Vermelho Distroférico (Latosolo Vermelho Escuro, textura argilosa), com teores baixos de fósforo conforme resultados de análise de solo apresentados na Tabela 1.

Cada unidade experimental apresentou área total de 27 m² (4,5 x 6 m), com dez linhas de sete metros de comprimento espaçadas de 0,45 m. Para fins de avaliação do experimento, foi considerada uma área útil central de 13,5 m² (seis linhas de cinco m de comprimento).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 4 +1, com quatro repetições, sendo três fontes de fósforo, quatro modos de aplicação e uma testemunha comum a todos tratamentos, totalizando 52 unidades experimentais.

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento e no 1º ano de experimento (média de todos os tratamentos).

Argila	M.O	pH(água)	P(Mel)	P(Res)	K	Ca	Mg	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
--dag.dm ⁻³ --			-----mg.dm ⁻³ -----					----cmolc.dm ⁻³ --	%	-----mg.dm ⁻³ -----			
Análise antes instalação do experimento													
51	4,5	5,4	2,3	6,8	50	1,8	0,4	5,7	36,7	1,6	35,0	18,9	2,4
Análise do primeiro ano do experimento													
51	4,4	5,1	9,3	12,6	41,0	2,3	1,0	7,04	47,8	2,1	43,40	27,5	1,60

Por ocasião do preparo do solo, foi aplicada uma dose de calcário para elevar a saturação por bases (V%) a uma faixa entre 60% (1,5 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico filler com PRNT 90%). Aproximadamente 60 dias após a aplicação do calcário, foi plantado o milho que germinou no início do período chuvoso, ao qual foi realizada a aplicação à lanço (pré-soja) de 125 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio (25 kg

de N e 30 kg de S) em toda área experimental. No mês de outubro, após a dessecação do milheto, procedeu-se o preparo da área para o plantio da soja.

A área do experimento foi sulcada utilizando semeadora adubadora dotada de sistema rompedores do solo de facas e duplo disco desencontrado. Após esta etapa aplicou-se uma adubação básica, cujas doses foram determinadas de acordo com análise química do solo e com as recomendações de adubação para obtenção de elevadas produtividades (Apêndice A.1), aplicaram-se os tratamentos e duas semanas após foi iniciado o experimento propriamente dito, com o plantio da soja com sementes previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* mais cobalto e molibdênio.

A adubação potássica foi realizada parte na semeadura (40%) e o restante em cobertura (25 a 30 dias após semeadura), sendo as doses determinadas conforme o desenvolvimento das plantas e a necessidade de adubação ($84 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$).

3.2.3 Variáveis avaliadas

- a) Produtividade de grãos por área: os grãos colhidos na área útil foram corrigidos a umidade de 13% e calculada a produtividade de grãos por hectare.
- b) Análise química do solo: uma semana após a colheita dos da soja (1º ano), foram coletadas amostras de solo compostas de cada unidade experimental. Nos tratamentos em que os fosfatos foram distribuídos a lanço, as amostras simples foram coletadas aleatoriamente em toda a área da unidade experimental e, nos tratamentos em que os fosfatos foram aplicados localizadamente, as amostras simples foram coletadas em uma faixa perpendicular à linha de plantio, do meio de uma linha ao meio da seguinte. Os teores de P disponível foram determinados pelo Mehlich 1 e resina. Foram coletadas dez amostras simples de solo por parcela, nas profundidades de 0-20 cm, as quais, após a homogeneização e quarteação, foram analisadas no Laboratório de Análise de Solos e Foliar E.A./U.F.G. para P resina e P Mehlich 1 conforme metodologia proposta por Embrapa (1999).

- c) Fósforo foliar na soja: foram coletadas amostras de folhas de soja, na fase R2 (pleno florescimento), retirando-se de 15 a 30 folhas (3a. folha a partir do ápice da haste principal) por parcela, as quais, após a secagem e trituração, foi analisado teor de P total conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).
- d) Eficiência de utilização de fósforo: foi estimada através do índice de eficiência agrônômica (IEA), calculado conforme Goedert et al. (1986), que corresponde ao quociente dos acréscimos de rendimento obtidos com o Fosfato natural reativo (FNR) e com a fonte solúvel de referência (superfosfato Triplo) aplicados na mesma dose de P_2O_5 total, em relação a um tratamento sem aplicação de fósforo:

$$IEA = \frac{(\text{rendimento com FNR} - \text{rendimento sem P})}{(\text{rendimento com fonte solúvel} - \text{rendimento sem P})} \times 100$$

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Produtividade

Não houve interação significativa entre as fontes de P e modos de aplicação para as variáveis produtividade de grão de soja (Apêndice A.2). As produções médias de grão de soja e Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) são apresentados nas Figuras 1, 2, 3 e 4. As produtividades de soja para o primeiro ano de cultivo são consideradas satisfatórias (acima de $2.100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), pois a calagem não atingiu a sua máxima eficiência. Apesar de não ser significativo, observa-se uma tendência decrescente dos valores de produtividade de soja nos Tratamentos M1, M2, M3, M4 e Testemunha. Os diferentes modos de aplicação dos fertilizantes fosfatados implicaram em doses diferenciadas no primeiro ano. A produção de fitomassa de milho foi baixa (menor de $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) devido ao déficit hídrico ocasionado pela safrinha com baixa pluviosidade. Apesar de não haver diferenças significativas o superfosfato triplo (F1) apresentou médias maiores que o fosfato reativo de Youssoufia (15,8%) e Arad (11,8%). Os maiores índices de eficiência agrônômica (IEA) foram obtidos no superfosfato triplo (F1) e na maior dose de adubo fosfatado (M1). Os IEA do FNR de Arad (50,8%) e Youssoufia (68,4%) concordam com os obtidos por Rein

et al. (1994) e Souza et al. (1999). A menor eficiência por ocasião do primeiro cultivo se deve a dissolução mais lenta do FNR. Por outro lado, Korndörfer et al. (1997) obtiveram IEA superiores. Os maiores IEA obtidos por estes autores pode estar associado ao potencial produtivo da área sem adubação fosfatada, que já atingiu 3 t.ha^{-1} de grãos de milho, e ao teto de produção de $4,2 \text{ t.ha}^{-1}$ que é baixo para o milho.

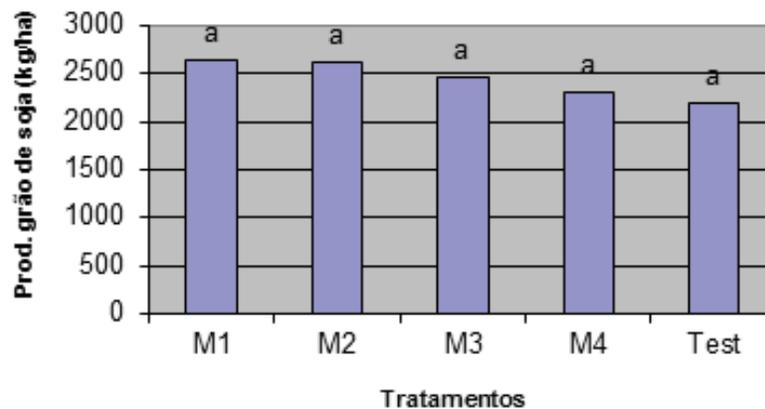


Figura 1. Produtividade de grão de soja em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados: M1 - 270 kg.ha^{-1} de P_2O_5 a lanço; M2 - 90 kg.ha^{-1} de P_2O_5 a lanço; M3 - 45 kg.ha^{-1} de P_2O_5 total a lanço + 45 kg.ha^{-1} de P_2O_5 no sulco e M4 - 90 kg.ha^{-1} de P_2O_5 no sulco e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Goiânia-GO.

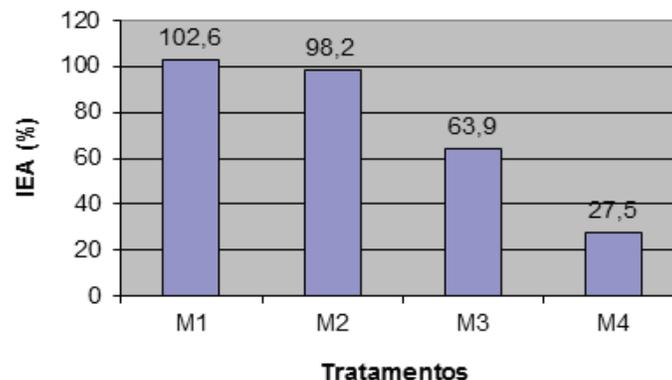


Figura 3. Índice de Eficiência Agrônômica (IEA%) para a cultura da soja em função dos diferentes Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha^{-1} de P_2O_5 a lanço; M2 - 90 kg.ha^{-1} de P_2O_5 a lanço; M3 - 45 kg.ha^{-1} de P_2O_5 total a lanço + 45 kg.ha^{-1} de P_2O_5 no sulco e M4 - 90 kg.ha^{-1} de P_2O_5 no sulco). Goiânia-GO.

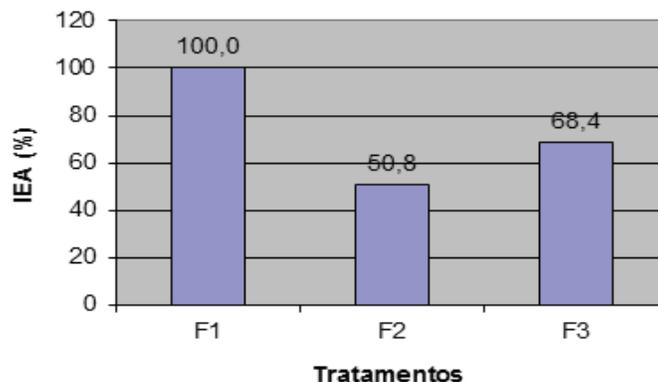


Figura 4. Índice de Eficiência Agronômica (IEA%) para a cultura da soja em função dos diferentes fontes de fertilizantes fosfatados (F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia) Goiânia-GO.

A aplicação de 180 kg.ha^{-1} de P_2O_5 a lanço (M2) apresentou IEA (98,5%) próxima a IEA (102,6%) da dose de 270 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (M1). Tais resultados sugerem que não é possível aplicar uma dose maior destes fertilizantes para compensar a menor eficiência obtida por ocasião do primeiro cultivo. Dados de Korndörfer et al. (1997) e Sousa et al. (1999) indicam que a eficiência inicial dos FNR decresce a partir de doses ao redor de 200 kg.ha^{-1} de P_2O_5 , o que pode ser atribuído a menor taxa de dissolução em relação às doses menores.

Para as fontes solúveis o aumento na eficiência do fósforo, pode ser observado em experimentos de calagem de Bull et al. (1998). Os autores verificaram que a medida que aumenta a quantidade de calcário e para uma mesma dose de fósforo (na forma de superfosfato triplo) há acréscimo de produtividade devido a melhor eficiência de absorção do fósforo em função da ação do calcário

No caso dos FNR os efeitos da calagem são contrários. A dissolução de um FRN aplicado ao solo é afetada pelo pH e concentrações de cálcio (Ca^{++}) e P no solo. Outras propriedades como capacidade de retenção de P e capacidade de troca de cátions, também afetam a taxa de dissolução. Segundo Souza et al (1999) a dissolução é mais intensa em condições de maior acidez, reduzindo-se significativamente a medida que o pH do solo se aproxima da neutralidade, ou seja pH 7. O aumento do pH do solo, obtido através da aplicação de calcário, também resulta em aumento no teor de Ca^{++} no solo, que contribuirá para reduzir a taxa de dissolução do fosfato natural.

3.3.2 Fósforo extraído no solo

Nas variáveis de P extraído pelo Mehlich I e extraído pela Resina (Apêndice A.3) houve efeito significativo na interação fonte x modos e os graus de liberdades foram desdobrados.

Tabela 2. Teores de P extraído com o Mehlich I e Resina no solo em função dos diferentes Tratamentos.

Trat. ¹	F1	F2	F3	Test
-----P Mehlich 1 (mg.dm ⁻³)-----				
M1	11,0 bA	43,8 aA	12,5 bA	3,5 c
M2	4,6 aA	5,5 aB	6,1 aB	3,5 a
M3	7,3 abA	12,6 aA	5,0 abB	3,5 b
M4	3,3 aA	2,8 aC	3,3 aB	3,5 a
Test	3,5 A	3,5 C	3,5 B	
-----P Resina (mg dm ⁻³)-----				
M1	13,5 cA	37,9 aA	23,6 bA	8,0c
M2	10,5 abA	11,2 abB	17,0 aAB	8,0b
M3	19,8 aA	19,0 aAB	12,0 bBC	8,0b
M4	11,6 aA	12,2 aB	13,6 aBC	8,0a
Test	8,0 A	8,0 B	8,0 C	

¹ Fontes de fertilizantes fosfatados (F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia) e Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 – 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 – 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 – 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de T a 5%; letras minúsculas comparam médias nas linhas e letras maiúsculas comparam médias nas colunas.

Os valores médios de P extraído pelo Mehlich I, segundo critérios da Comissão corretivos e de fertilizantes de Goiás (1988) e Resina segundo Raij et al. (2004) encontram-se, na maioria dos tratamentos, em níveis baixos a muito baixo. Tais dados ratificam os obtidos na análise foliar e os encontrados por Silva & Raij (1991) e Lopes

(1999), caracterizando o fósforo como um dos nutrientes mais limitantes em solos de Cerrado (Tabela 2).

No tratamento M1 (maior dose P) os teores de P foram maiores em ambos os extratores. É conhecido o problema da utilização de extratores ácidos, na análise de solos adubados com fosfatos naturais brasileiros, de baixa reatividade. A dissolução da apatita durante a extração no laboratório resulta em altos teores de P, superestimando a sua disponibilidade, como no caso do fosfato reativo de Arad (F2) principalmente nas doses maiores (M1). Contudo, os FNRs dissolvem-se mais rapidamente que os fosfatos naturais brasileiro e o problema se restringe aos primeiros anos após a aplicação, a lanço com incorporação, conforme verificado com o FNR da Carolina do Norte, por Rein et al. (1994). Para solos que receberam aplicação recente de FNR, ou outras situações nas quais há FNR não reagido no solo, o método da resina é o mais recomendado, conforme verificado por Korndörfer et al. (1997).

Peruzzo e Wiethölter (1999) relatam que em um Latossolo Roxo distrófico, em Londrina, PR, com teor inicial de $5,3 \text{ mg P dm}^{-3}$ (teor médio) e pH em CaCl_2 de 4,8, não se observou diferenças estatísticas no efeito imediato (soja) e residual (trigo) entre as fontes de fosfatos naturais reativos de Daoui, Argélia, Arad e o superfosfato triplo. Os teores de P no solo (Mehlich-I) aumentaram em todas as fontes, tendo sido levemente superiores no fosfato de Arad. Os dados de rendimento de grãos de várias culturas, obtidos em solo com teor inicial de P elevado (22 mg.dm^{-3} na camada de 0 a 20 cm) e pH inicial de 6,0, em Cruz Alta, RS, empregando os fosfatos reativos de Arad e de Gafsa, no sistema plantio direto, indicam que os rendimentos médios de nove cultivos, obtidos com o emprego de fosfatos naturais reativos, equivaleram-se à testemunha, às fontes solúveis (superfosfatos simples e triplo) e à fonte menos solúvel (Araxá), tanto na aplicação superficial como na linha de semeadura. Isto evidencia que a adubação fosfatada de reposição em solo com teor alto de P poderia ser suprimida ou, então, ser realizada com qualquer fonte de P, desde que o pH fosse menor que 6,0, já que, em princípio, nenhuma rocha fosfatada é eficiente em pH maior que 6,0 situação que pode ocorrer com excesso de calagem.

Outro aspecto importante refere-se a aplicação superficial ou na linha de semeadura de P e de K no sistema plantio. A aplicação na linha e no sulco destes fertilizantes que tem proporcionado rendimentos semelhantes quando o teor desses nutrientes no solo é superior ao nível de suficiência e esta observação corrobora com os

dados avaliados por Pellegrini et al. (2008) no rendimento de matéria seca de trevo branco na região Sul do País. Nestes ensaios em todas as doses de calcário, o superfosfato triplo evidenciou efeito imediato superior aos fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad. Comparando as doses zero e as demais de calcário, verifica-se que os fosfatos naturais produziram rendimentos equivalentes ao superfosfato triplo somente na dose zero de calcário, o que evidencia a necessidade de um ambiente ácido para a solubilização dos fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad. Por outro lado, os dados permitem inferir que as melhores respostas de matéria seca foram obtidas com a associação do SFT e do calcário. Verifica-se que o solo dos tratamentos com fosfatos naturais apresentam teores maiores de P do que o tratamento com o SFT. A aplicação de formas solúveis como o superfosfato triplo o P é rapidamente passado para P lábil e posteriormente para P não lábil, possibilitando efeitos residuais muito pequenos.

3.3.3 Teor de fósforo foliar na soja

Os teores de P foliares de nutrientes na cultura da soja (Anexo A.3) indicam que não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Comparando-se os teores médios de P (Tabela 2 e Figura 5) com as classes de interpretação proposto por Malavolta et al. (1997) verifica-se estas variáveis enquadram-se em níveis abaixo do adequado para todos os tratamentos.

Rossi et al. (1999) asseguram que o fósforo torna-se indispensável na formação e eficácia do processo de fixação do nitrogênio atmosférico. O autor encontrou maiores teores de nitrogênio nas folhas pela aplicação de doses crescentes de fósforo. Nas figuras 6 e 7 são demonstrados os detalhes do crescimento das plantas de soja após vinte e quarenta dias de implantação do experimento, evidenciando a importância do P no crescimento inicial das plantas.

Os teores foliares de P enquadram-se na classe abaixo do suficiente, o que, evidencia a baixa disponibilidade deste nutriente no solo e a alta capacidade de passagem de P lábil para não lábil. Solos ácidos com altos teores de óxidos de Fe e Al apresentam esta característica.

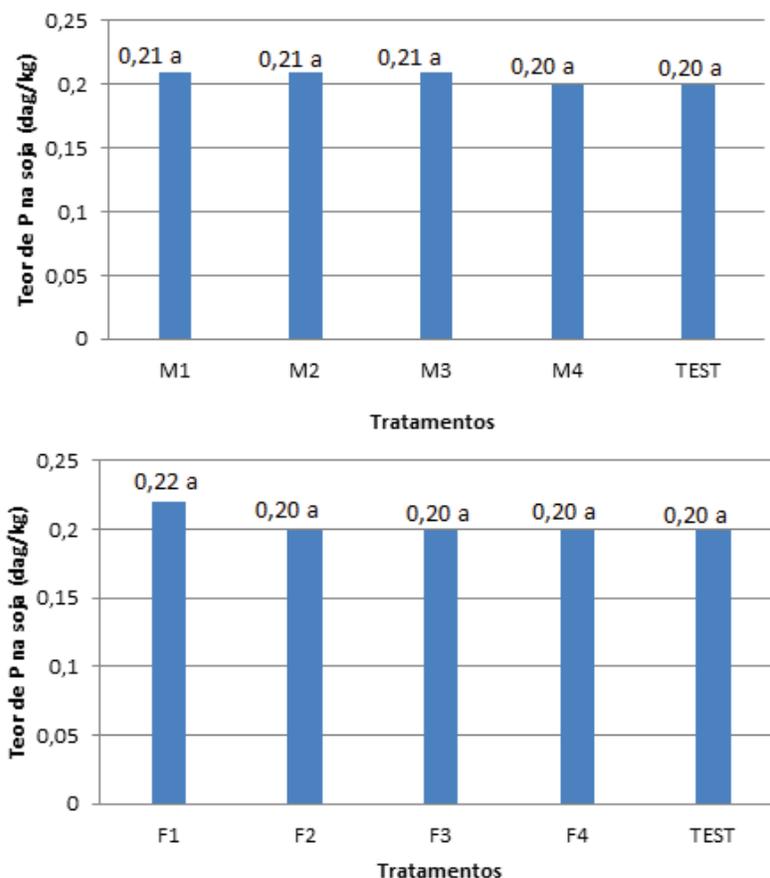


Figura 5. Teor foliar de P na soja em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Goiânia. GO.

3.4 CONCLUSÕES

- ✓ Não houve efeito da aplicação dos tratamentos na produtividade de grão de soja e fitomassa do milheto;
- ✓ A eficiência agrônômica dos fosfatos reativos de Arad e Youssoufia foram menores que o superfosfato triplo;
- ✓ A aplicação dos fosfatos reativos no sulco de plantio diminuíram a eficiência agrônômica;

- ✓ As maiores doses dos adubos fosfatados estudados implicaram em um maior índice de eficiência agronômica;
- ✓ O fosfato reativo de Arad apresentou um maior teor de P extraído pela Resina e Mehlich I;

4 EFEITO RESIDUAL DE FERTILIZANTES FOSFATADOS REATIVOS APLICADO NA CULTURA DA SOJA A LANÇO E NO SULCO DE PLANTIO

RESUMO

Para avaliar o efeito residual de fosfatos reativos na produção de soja, foi conduzido ensaio em condições de campo, comparando-se a aplicação de diferentes fontes de fertilizantes e manejo da adubação. O experimento foi instalado na Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG, Campus II, em Goiânia-Goiás. Os tratamentos foram: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato Natural Reactivo de Arad e F3- fosfato Natural Reactivo de Youssofia. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 3 x 4 + 1 (Fontes x Modos + 1 Testemunha), com 4 repetições, totalizando 52 parcelas. As principais conclusões obtidas foram: a) não houve efeito da aplicação dos tratamentos na produtividade de grão de soja; b) O índice de eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados seguiu a seguinte ordem: Superfosfato triplo > Fosfatos reativos de Youssofia > Fosfatos reativos de Arad; c) A aplicação dos fosfatos reativos no sulco de plantio diminuíram a eficiência agrônômica; d) As maiores doses dos adubos fosfatados estudados implicaram em um maior índice de eficiência agrônômica e e) o fosfato reativo de Arad apresentou um maior teor de P extraído pelo Resina e Mehlich I.

Palavras-chave: fertilizantes fosfatados, *Glycine max*, eficiência agrônômica

ABSTRACT

RESIDUAL EFFECT OF REACTIVE PHOSPHATE FERTILIZER BROADCAST AND APPLIED IN SOYBEAN ROW PLANTING

To evaluate the residual effect of reactive phosphates in soybean production, a field experiment was conducted comparing the application of fertilizer sources and management. The experiment was carried out in Goiânia, Goiás State, Brazil (16°36'S 49°17'W, 730m). The treatments were: 270 kg.⁻¹ha P₂O₅ broadcast in a single

application in the previous year (M1); 180 kg.ha⁻¹ P₂O₅ split in two annual applications of 90 kg.ha⁻¹, applied in the previous year (M2); 180 kg.ha⁻¹ P₂O₅ split in two applications of 90 kg.ha⁻¹, being 45 kg.ha⁻¹ P₂O₅ broadcast + 45 kg.ha⁻¹ of P₂O₅ in the planting row, being half this dose applied in the previous year (M3); and 270 kg.ha⁻¹ of P₂O₅ in the planting row, split in two 90 kg.ha⁻¹ annual applications, applied in previous year. The sources were: triple superphosphate (F1); reactive Arad rock phosphate (F2); and reactive Youssouf rock phosphate. The experiment had a randomized complete block design, in factorial arrange 3 x 4 + 1 (Sources x 1 x Mode of applied + control), with four repetitions, totaling 52 plots. The principal conclusions were: a) there was no effect for application methods in the production of soybean; b) the agronomic efficiency of phosphate fertilizers followed the order: triple superphosphate > reactive Youssoufia rock phosphate > reactive Arad rock phosphate; c) the application of reactive phosphates in the planting row decreased agronomic efficiency; d) higher doses of the studied phosphate fertilizers resulted in a higher agronomic efficiency; and, e) the reactive phosphate of Arad showed a higher content of extracted P by resin and Mehlich I.

Key words: phosphate fertilizers, *Glycine max*, agronomic efficiency

4.1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine Max* L. Merrill) é plantada no Brasil em mais de vinte milhões de ha, sendo cultivada em vinte estados e em todas as regiões geográficas do país. O Brasil é o segundo maior produtor e o maior exportador mundial de grãos de soja, sendo esta uma das principais culturas de exportação do país no momento (Abiove, 2010). Na safra 2008/2009 foram cultivados 21.743 milhões de hectares, com uma produção de 57.165 milhões de toneladas, e a área plantada na safra 2009/2010 apresentou um crescimento de 6,7%, totalizando 23,21 milhões de hectares (Conab, 2011).

A região Centro Oeste é a maior produtora de soja do Brasil, concentrando 48,54% da produção, o equivalente a 29,15 milhões de toneladas (Conab, 2011). O cultivo em solos sob vegetação de Cerrado proporcionou o crescimento em área e rendimento da cultura pelo cultivo de variedades adaptadas às condições do Cerrado brasileiro. A região dos Cerrados assume então importância estratégica para o desenvolvimento da cultura no Brasil e sua contribuição para a produção nacional é crescente e determinante para a posição alcançada no cenário internacional (Reetz et al., 2008).

Dentre os principais problemas para a produção de grão de soja, na região de Cerrado, estão os baixos teores de fósforo. Normalmente, problemas de solos ácidos e deficiência de P são comuns na maioria dos solos. A aplicação de fertilizantes nos solos de

Cerrado constitui uma prática indispensável para a obtenção de altos rendimentos em diversas culturas.

Estudos na área de fertilidade do solo e nutrição de plantas podem identificar problemas relativos a características do solo e da planta bem como fatores interativos que afetam a dinâmica deste nutriente no sistema. Apesar de seu pequeno requerimento pelos vegetais, o fósforo é um dos nutrientes aplicado em maiores quantidades nos solos brasileiros, o que é consequência de sua baixa disponibilidade natural e grande afinidade da fração mineral por este elemento, retirando-o da solução (adsorção/precipitação) e fazendo com que a concentração de equilíbrio seja muito baixa, tornando-se um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (Raij, 2004), sendo, portanto, imprescindível à adubação fosfatada para a obtenção de produções satisfatórias das diversas culturas.

As principais fontes de fósforo utilizadas na agricultura brasileira são obtidas industrialmente pelo tratamento de rochas fosfáticas com ácidos e apresentam alta solubilidade em água, como os superfosfatos e fosfatos de amônio. Entretanto, devido aos altos custos desses fertilizantes, é conveniente identificar fontes alternativas mais baratas e que apresentem boa eficiência agrônômica. Produtos que possivelmente apresentam estas características são os fosfatos naturais reativos.

Estes materiais podem, então, ser empregados na agricultura, conquanto apresentem teor satisfatório de P e solubilidade adequada no solo. No solo a reatividade desses fosfatos naturais é distinta em função da sua origem geológica, sendo as rochas ígneas e metamórficas praticamente inertes como fonte de fósforo para as plantas. Por essa razão, são considerados “fosfatos duros”. A maioria dos fosfatos naturais brasileiros são desse tipo. Já os fosfatos de origem sedimentar têm maior reatividade, sendo conhecidos como fosfatos naturais “reativos” (FNR), ou, também, como “fosfatos moles”, mostrando aumento de rendimento das culturas quando aplicados diretamente ao solo (Goedert & Sousa, 1984; Kaminski, 1983; Kaminski & Peruzzo, 1997). Os principais FNR disponíveis no mercado são os oriundos de Israel, Argélia, Carolina do Norte, Marrocos e Tunísia (Sousa et al., 1999).

Segundo Peruzzo & Wiethölter (1999) o uso de fosfatos naturais reativos no mercado de fertilizantes no Brasil iniciou na década de 70 com a importação do fosfato de Gafsa, então denominado hiperfosfato. As principais fontes de fosfatos naturais reativos registrados no Ministério da Agricultura a partir do ano de 1993 são as seguintes: Gafsa

(Tunísia) e Carolina do Norte (USA) [(Portaria Nº 9, de 29/1/93)], Arad (Israel, Portaria Nº 63, de 16/3/94), Djebel Onk (Argélia, Portaria Nº 161, de 10/10/94), Al-Albiad/El-Hassa (Jordânia, Portaria Nº 56, de 12/5/95) e Daoui (Marrocos, Portaria Nº 19, de 30/5/97) e outros como reagil de Youssoufia. Estes produtos devem apresentar, segundo as portarias acima, 28% de P_2O_5 total e 9% de P_2O_5 em ácido cítrico a 2% na relação 1:100, havendo interesse da indústria em reunir os diversos tipos em uma só designação, “fosfato natural reativo de aplicação direta”, com 27% de P_2O_5 total, dos quais 55% solúvel em ácido fórmico a 2%, na relação 1:100. Na década de 90 os fosfatos naturais retornaram ao mercado, mas com granulometria maior (farelado), obrigando as instituições de pesquisa a retomarem os estudos a fim de verificar a sua viabilidade como fontes de fósforo para uso agrícola. Estudos recentes, conduzidos em casas de vegetação, com os fosfatos de Gafsa (Tunísia) e Gantour Black (Marrocos) mostraram que o índice de eficiência agrônômica (IEA) foi superior quando finamente moídos em comparação com a forma farelada, mas partículas com até 0,297 mm mostraram-se reativas na primeira cultura (Horowitz, 1998).

Neste sentido o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito residual de diferentes fontes de fosfatos reativos e do manejo da adubação fosfatada na cultura da soja

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Tratamentos

Os tratamentos foram aplicados (Apêndice B.1.) dos seguintes modos: M1 - 270 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 , dividido em duas aplicações anuais de 90 $kg.ha^{-1}$, sendo uma no ano anterior; M3 - 180 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 , dividido em duas aplicações de 90 $kg.ha^{-1}$, sendo 45 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 a lanço + 45 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 $kg.ha^{-1}$ de P_2O_5 no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 $kg.ha^{-1}$, sendo uma no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Para o cálculo da quantidade de fertilizante fosfatado foi utilizado o teor total de P_2O_5 das fontes envolvidas (SFT - 45% P_2O_5 , FNR de Arad - 33% P_2O_5 e FNR de Youssoufia - 31% P_2O_5).

4.2.2 Instalação

O ensaio foi conduzido em condições de campo, num Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, com teores baixos de fósforo (Tabela 3).

Cada unidade experimental apresentou área total de 27 m² (4,5 x 6 m), com dez linhas de sete metros de comprimento espaçadas de 0,45 m. Para fins de avaliação do experimento, foi considerada uma área útil central de 13,5 m² (seis linhas de cinco m de comprimento). O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 4 +1, com quatro repetições, sendo três fontes de fósforo, quatro modos de aplicação e uma testemunha comum a todos tratamentos, totalizando 52 unidades experimentais. O efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas foi avaliado pela análise de variância, sendo posteriormente comparadas por teste Tukey a 5%.

Tabela 3. Atributos químicos do solo antes da montagem do experimento e nos dois anos de experimento (média de todos os tratamentos).

Argila	M.O	pH(água)	P (Mel)	P (Res)	K	Ca	Mg	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
--dag.dm ⁻³ --			----mg.dm ⁻³ -----		-----cmolc.dm ⁻³ -----				%		-----mg.dm ⁻³ -----		
Análise antes instalação do experimento													
51	4,5	5,4	2,3	6,8	50	1,8	0,4	5,7	36,7	1,6	35,0	18,9	2,4
Análise Primeiro ano													
51	4,4	5,1	9,3	12,6	41,0	2,3	1,0	7,04	47,8	2,1	43,40	27,5	1,60
Análise Segundo ano													
51	3,9	5,0	4,1	7,2	62	1,8	0,9	6,6	40,6	0,2	40,6	17,7	0,6

Por ocasião do preparo do solo, foi aplicada uma dose de calcário para elevar a saturação por bases (V%) a 60% (1,5 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico filler com PRNT 90%). Aproximadamente 60 dias após a aplicação do calcário, foi plantado o milho que germinou no início do período chuvoso, ao qual foi realizada a aplicação à lanço (pré-soja) de 125 kg.ha⁻¹ de sulfato de amônio (25 kg de N e 30 kg de S) em toda área experimental. No mês de outubro, após a dessecação do milho, procedeu-se o preparo da área para o plantio da soja.

A área do experimento foi sulcada utilizando semeadora adubadora dotada de sistema rompedores do solo de facas e duplo disco desencontrado. Após esta etapa aplicou-se uma adubação básica, cujas doses foram determinadas de acordo com análise química do solo e com as recomendações de adubação para obtenção de elevadas produtividades (Apêndice B.1.), aplicaram-se os tratamentos e duas semanas após a foi iniciado o experimento propriamente dito, com o plantio da soja com sementes previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* mais cobalto e molibdênio.

A adubação potássica foi realizada parte na sementeira (40%) e o restante em cobertura (25 a 30 dias após sementeira), sendo as doses determinadas conforme o desenvolvimento das plantas e a necessidade de adubação ($84 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$).

4.2.3 Características avaliadas

- a) Produtividade de grãos por área: a massa de grãos colhidos na área útil foi corrigido a umidade de 13% e calculados a produtividade de grãos por hectare.
- b) Análise química do solo: uma semana após a colheita da soja (primeiro ano), foram coletadas amostras de solo compostas de cada unidade experimental. Nos tratamentos em que os fosfatos foram distribuídos a lanço, as amostras simples foram coletadas aleatoriamente em toda a área da unidade experimental e, nos tratamentos em que os fosfatos foram aplicados localizadamente, as amostras simples foram coletadas em uma faixa perpendicular à linha de plantio, do meio de uma linha ao meio da seguinte. Os teores de P disponível foram determinados pelo Mehlich 1 e Resina. Foram coletadas dez amostras simples de solo por parcela, nas profundidades de 0-20 cm, as quais, após a homogeneização e quarteação, foram analisadas no Laboratório Análises de Solos e Foliar E.A./U.F.G., conforme metodologia proposta Embrapa 1997.
- c) Análise foliar: foram coletadas amostras de folhas de soja, na fase R2 (pleno florescimento), retirando-se de 15 a 30 folhas (3ª folha a partir do ápice da haste principal) por parcela, as quais, após a secagem e trituração, foram analisadas quanto ao teor de P conforme metodologia de Malavolta et al. (1997).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Produtividade

Não houve interação significativa para as fontes de P e modos de aplicação para a variável produtividade de grão de soja e Índice de Eficiência Agronômica (IEA) (Apêndice B.2.). As produções médias de grão de soja e IEA são apresentados nas Figuras 8 e 9.

As produtividades de soja para o segundo ano de cultivo não foram satisfatórias (acima de 3.000 kg.ha⁻¹). Os tratamentos fitossanitários empregados não conseguiram controlar satisfatoriamente esta praga. Os diferentes modos de aplicação dos fertilizantes fosfatados no primeiro e segundo ano implicaram em doses diferenciadas. No tratamento M1 foram aplicados 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no primeiro ano. Nos tratamentos M2 a M4 foram aplicados 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no primeiro ano. Apesar da menor dosagem no M3 verifica-se que as respostas as produtividades foram maiores indicando que a aplicação de FNR de parte no sulco de plantio e parte a lanço na superfície apresentaram melhor desempenho do ponto de vista nutricional. Quanto às fontes verifica-se que o fosfato natural reativo de Youssoufia (F3) destacou-se entre os demais e proporcionou produtividade 144% superior à testemunha e 23% superior ao superfosfato triplo.

Os maiores incrementos em relação à testemunha foram proporcionados pelo Fosfato reativo de Youssoufia (144%). Quanto ao modo de aplicação os maiores índices de eficiência agronômica (IEA) foram obtidos no tratamento M3 e pelos FR de Youssoufia e FR de Arad em relação ao SFT. Os IEA do FNR de Arad e Youssoufia concordam com os obtidos por Rein et al. (1994) e Sousa et al. (1999). Por outro lado, Korndörfer et al. (1997) obtiveram IEA superiores em experimento com milho em Uberlândia, MG. Os maiores IEA obtidos por estes autores pode estar associado ao potencial produtivo da área sem adubação fosfatada, que já atingiu 3 t.ha⁻¹ de grãos de milho, e ao teto de produção de 4,2 t.ha⁻¹ que é baixo para o milho.

A aplicação de 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ parte a lanço e parte no sulco de plantio (M3) apresentou IEA (120%) superior a IEA (100%) da dose de 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (M1) (Figura 10).

Tais resultado sugerem que não é possível aplicar uma dose maior destes fertilizantes para compensar a menor eficiência obtida por ocasião do primeiro cultivo.

Dados de Korndörfer et. al. (1997) e Sousa et al. (1999) indicam que a eficiência inicial dos FNR decresce a partir de doses ao redor de 200 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, o que pode ser atribuído a menor taxa de dissolução em relação às doses menores.

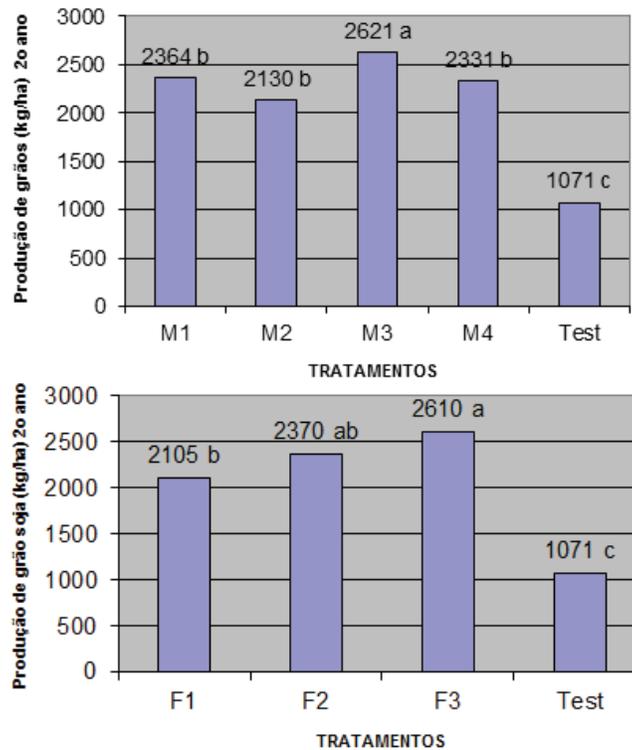


Figura 6. Produtividade de grão de soja em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato Natural Reativo de Arad e F3- Fosfato Natural Reativo de Youssoúfia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

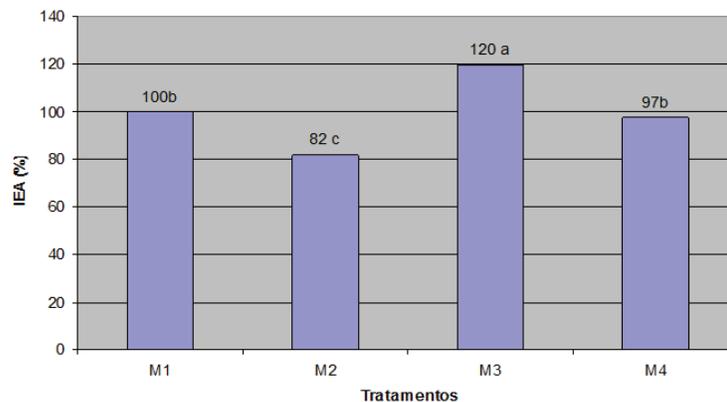


Figura 7. Índice de Eficiência Agrônômica de P em função dos diferentes modos de aplicação de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior ; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 – 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior.

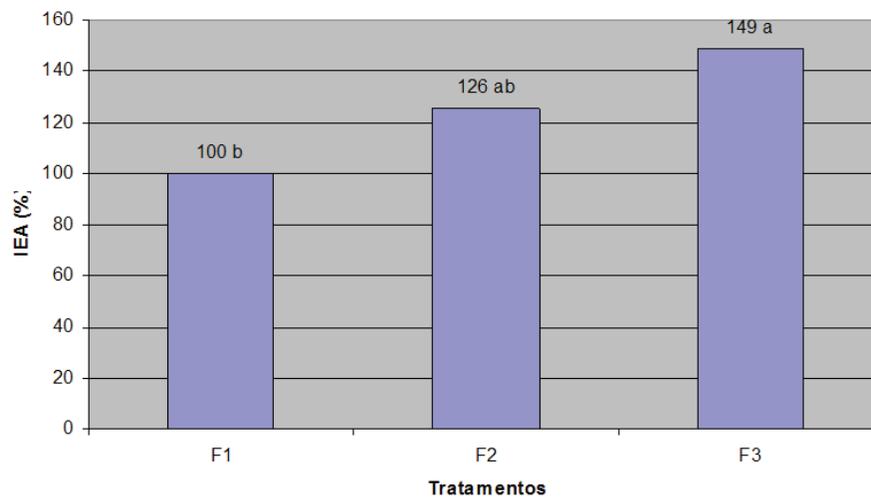


Figura 8. Índice de Eficiência Agrônômica de P em função das diferentes fontes de aplicação e de fertilizantes fosfatados As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3.2 Análise foliar

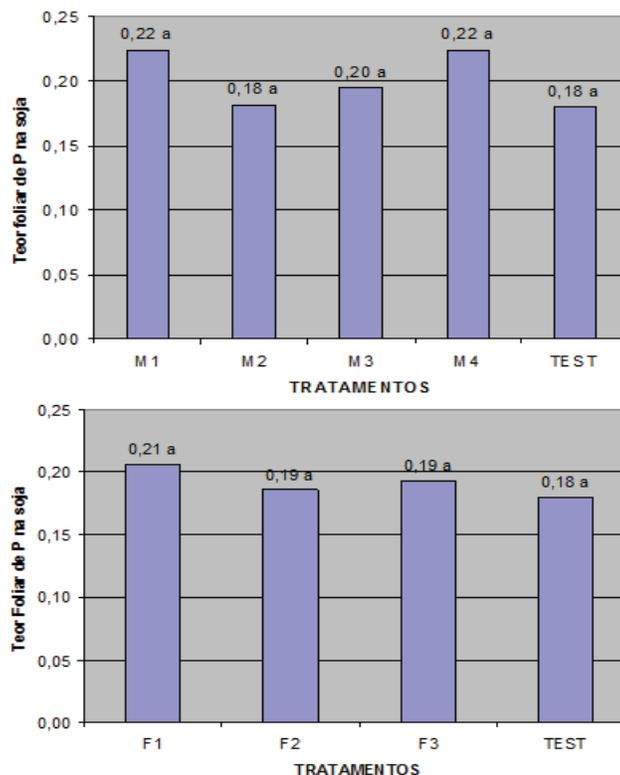


Figura 9. Teor foliar de P na soja em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 -180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os teores foliares de P na cultura da soja (Apêndice B.3) indicam que não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Comparando-se os teores médios de P (Apêndice B.3 e Figura 11) com as classes de interpretação propostas por Malavolta et al. (1997) verifica-se que estas variáveis enquadram-se em níveis abaixo do adequado.

4.3.3 Análise de terra

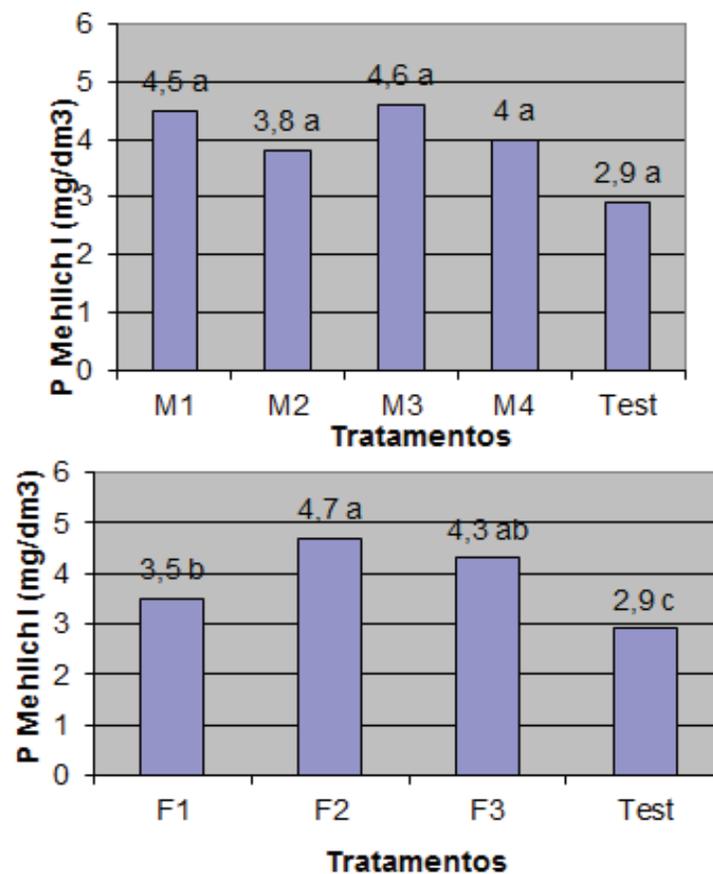


Figura 10. Conteúdo extraído de P (Mehlich I) em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

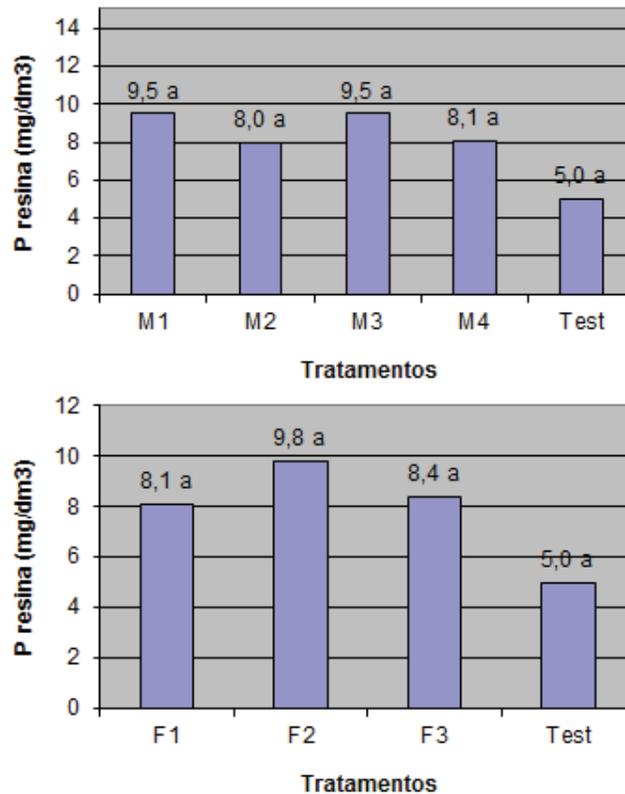


Figura 11. Conteúdo extraído de P (resina) em função dos diferentes modos de aplicação e de fontes de fertilizantes fosfatados M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior ; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior. As fontes foram: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo de Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas variáveis de P extraído pelo Mehlich I e Resina não houve efeito significativo na interação Fonte x Modos de aplicação (Anexo B.3) e as médias dos tratamentos são apresentados nas Figuras 12 e 13.

Fiorin et al. (1998) relatam que os dados de rendimento de grãos de várias culturas, obtidos em experimentos com solo com teor inicial de P elevado (22 mg.dm⁻³ na camada de 0 a 20 cm) e pH inicial de 6,0, em Cruz Alta, RS, empregando os fosfatos

reativos de Arad e de Gafsa, no sistema plantio direto, indicam que os rendimentos médios de nove cultivos, obtidos com o emprego de fosfatos naturais reativos, equivaleram-se à testemunha, às fontes solúveis (superfosfatos simples e triplo) e à fonte menos solúvel (Araxá), tanto na aplicação superficial como na linha de semeadura. Isto evidencia que a adubação fosfatada de reposição em solo com teor alto de P poderia ser suprimida ou, então, ser realizada com qualquer fonte de P, desde que o pH fosse menor que 6,0, já que, em princípio, nenhuma rocha fosfatada é eficiente em pH maior que 6,0 situação que pode ocorrer com excesso de calagem.

Outro aspecto importante refere-se a aplicação superficial ou na linha de semeadura de P no sistema plantio direto. Nestes ensaios em todas as doses de calcário, o superfosfato triplo evidenciou efeito imediato superior aos fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad. Comparando as doses zero e as demais de calcário, verifica-se que os fosfatos naturais produziram rendimentos equivalentes ao superfosfato triplo (SFT) somente na dose zero de calcário, o que evidencia a necessidade de um ambiente ácido para a solubilização dos fosfatos naturais reativos de Gafsa e de Arad. Por outro lado, os dados permitem inferir que as melhores respostas de matéria seca foram obtidas com a associação do SFT e do calcário. Em termos de efeito residual, os fosfatos naturais apresentaram rendimento semelhante ao SFT, exceto nas doses altas de calcário (8,5 t.ha⁻¹ e 17 t.ha⁻¹), onde o SFT apresentou rendimento superior.

4.4 CONCLUSÕES

- ✓ A aplicação de dose maior no primeiro ano não demonstrou maior efeito residual na produtividade de grãos de soja.
- ✓ A eficiência agrônômica dos fertilizantes fosfatados no segundo ano de cultivo segue a seguinte ordem: fosfato reativo de Youssoufia > fosfato natural reativo de Arad > superfosfato triplo;
- ✓ A aplicação dos fosfatos reativos parte no sulco de plantio e parte a lanço apresentaram melhor eficiência agrônômica.

5 EFICIÊNCIA RELATIVA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS SOB DIFERENTES FORMAS DE MANEJO DE ADUBAÇÃO CULTIVADO POR TRES ANOS COM SOJA

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a eficiência relativa de fertilizantes fosfatados reativos sob diferentes manejos da adubação, em três cultivos sucessivos da soja, conduziu-se um experimento na Escola de Agronomia e Engenharia de alimentos da Universidade Federal de Goiás, em um Latossolo Vermelho Distroférrico com teores baixos de fósforo. Empregou-se um delineamento em blocos ao acaso, em arranjo fatorial $3 \times 4 + 1$ (fontes x modos + testemunha) subdividido no tempo (três cultivos sucessivos). As fontes de fósforo foram o superfosfato triplo, fosfato natural reativo de Arad e fosfato natural reativo de Youssoufia. Os manejos de adubação foram M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação (primeiro ano); M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações de 90 kg. Estimou-se a produtividade da cultura, os teores de P nas folhas de soja e os teores de P no solo extraído pelo extrator Mehlich 1 e resina e a eficiência relativa para cada uma destas variáveis. As principais conclusões obtidas foram que a eficiência relativa dos fosfatos reativos obtidos dependeu da variável empregada. A aplicação do Fosfato natural reativo de Youssoufia parcelada em três anos no sulco de plantio proporcionou maior incremento na produtividade e nos teores de P no solo ao longo dos três anos de cultivo.

Palavras-chave: fosfato reativo; superfosfato; *Glycine max*; fósforo.

ABSTRACT

EFFECT OF FERTILIZER MANAGEMENT IN THE RELATIVE EFFICIENCY OF PHOSPHATES IN AN HAPLUDOX CROPPED WITH SOYBEANS

The relative efficiency of phosphate fertilizers was studied in an Hapludox with low phosphorus levels cropped with soybean in the Goiânia region, Goiás State, Brazil (16°36'S 49°17'W, 730m). It was used a randomized block design in factorial arrangement $3 \times 4 + 1$ (source x methods of application + control), with four replications, with three sources of phosphate (triple superphosphate, reactive Arad rock phosphate,

reactive Youssoufia rock phosphate), four application methods, and a control common to all treatments. The main conclusions based on three years average data were that there was an increase in soybean yield with the application of triple superphosphate. The relative efficiency of phosphatic fertilizers followed the order: reactive Youssoufia rock phosphate > reactive Arad rock phosphate > triple superphosphate. It was observed that broadcast 270 kg.ha⁻¹ P₂O₅ split in three annual applications of 90 kg.ha⁻¹ P₂O₅ (M2) increased the productivity on the reactive phosphate over the three years of cultivation.

Key words: reactive phosphate, triple super phosphate, *Glycine max*, phosphorus.

5.1 INTRODUÇÃO

A baixa disponibilidade de fósforo (P) é, geralmente, uma das maiores limitações ao crescimento das plantas. Para a cultura da soja, o fósforo encontra-se entre os nutrientes que apresentam as maiores limitações nutricionais ao crescimento. O fósforo é de grande importância na cultura da soja, sendo responsável pela maioria das respostas significativas no rendimento.

A escolha da fonte de P está relacionada tanto à eficiência em suprir as necessidades das plantas, quanto ao custo do fertilizante. Os fosfatos solúveis têm apresentado bons resultados, embora possuam custo mais elevado, ao passo que os fosfatos naturais apresentam baixa solubilidade e menor eficiência agrônômica, especialmente para culturas anuais, porém a preços mais atrativos.

Vários autores verificaram em levantamento de caracterização dos solos de cerrado, que em 92% das amostras coletadas o teor disponível de P (Mehlich-1) foi inferior a 2 mg.dm⁻³. Sousa et al. (2002) relataram a existência de resposta à aplicação de P até a dose de 300 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, o que evidencia, também, a baixa disponibilidade desse nutriente. Portanto é imprescindível a prática da adubação fosfatada para se obter produções satisfatórias nos diferentes sistemas de produção agrícola.

Os fosfatos solúveis (superfosfatos) têm custo muito elevado e os fosfatos naturais brasileiros são de eficiência muito baixa. Uma das alternativas para reduzir os custos pode ser a utilização de fosfatos naturais reativos (FNR), farelados. Os fosfatos naturais reativos são de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade, que lhes

confere um menor peso específico e, conseqüentemente, maior área superficial, podendo ser facilmente hidrolisados, sendo, por isso, conhecidos como fosfatos moles e de grande reatividade (Peruzzo et al., 1999).

A reatividade química dos fosfatos é estimada, utilizando sua solubilidade em ácidos orgânicos, a eficiência dos fosfatos naturais para as culturas depende de outros fatores relacionados às propriedades do solo, às características da planta e ao método de aplicação (Araújo et al., 2004). O fosfato natural reativo, por causa de sua reatividade, apresenta uma eficiência similar ao superfosfato triplo, quando aplicado a lanço em área total e incorporado (Goedert & Lobato, 1984; Coutinho et al., 1991; Lopes, 1999).

O método de aplicação interfere na eficiência dos fertilizantes fosfatados, principalmente em solos com baixo teor de P e que possuem alta capacidade de fixação do nutriente (Novais & Smyth, 1999). Apesar dos numerosos estudos existentes sobre o manejo da adubação fosfatada, ainda permanecem dúvidas, principalmente quanto à aplicação direta dos fosfatos naturais, importados e nacionais, sendo esse aspecto motivo de controvérsias entre pesquisadores (Costa et al., 2008). Fosfatos naturais aplicados a lanço e incorporados em solos com pH em água até 5,5 têm sua eficiência aumentada com o passar do tempo e com o revolvimento do solo nas operações de aração e gradagem. A aplicação desses fosfatos no sulco de plantio promove redução da eficiência da adubação (Lopes, 1999).

Novais (1999) relata que a maior solubilização de fosfatos naturais em condições de solos argilosos e com pH ácido não favorece a planta, uma vez que o dreno preferencial do P nesse sistema é o próprio solo, sendo essa situação agravada com o maior contato do fosfato com as partículas de solo propiciado pelo revolvimento. Assim a aplicação localizada de fosfatos naturais no sulco de plantio levaria a uma condição em que as raízes da planta seriam o principal dreno envolvido na solubilização e aquisição do P, contribuindo para aumentar a eficiência da adubação com esses fertilizantes.

Segundo Motomiya et al. (2004), o fosfato natural reativo quando aplicado a lanço na cultura da soja obtém maior produtividade e um custo x benefício maior, isto é maior produtividade a um custo abaixo quando comparados ao superfosfato triplo.

Portanto, esforços devem ser desenvolvidos para delinear a recomendação de adubação para a cultura da soja com o uso dos FNR, a possibilitar um aumento ou mesmo uma produção equivalente aos atuais índices de produtividade da cultura para o centro oeste.

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agronômica de fertilizantes reativos sob diferentes formas e manejo de adubação.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Tratamentos

O experimento foi conduzido, em condições de campo, num Latossolo Vermelho Distroférico, com baixa disponibilidade de fósforo ($< 3 \text{ mg.dm}^{-3}$) e teor de argila de $51,0 \text{ dag.dm}^{-3}$. As fontes de fósforo e os modos de aplicação são apresentados na Tabela 4.

Para o cálculo da quantidade de fertilizante fosfatado foi utilizado o teor total de P_2O_5 das fontes envolvidas (SFT - 45% P_2O_5 , FNR de Arad - 33% P_2O_5 e FNR de Youssoufia 31% P_2O_5). Quando a aplicação a lanço, a incorporação dos fertilizantes foi feita a 15 cm manualmente.

5.2.2 Instalação do Ensaio

Antes da instalação do experimento os solos foram analisados física e quimicamente conforme metodologia de Embrapa (1999). Por ocasião do preparo do solo, foi aplicada uma dose calcário para elevar a saturação por bases (V%) a 60% ($1,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de calcário dolomítico filler com PRNT 90%).

No primeiro ano foram semeadas no início de setembro sementes de milho (*Pennisetum glaucum*). Foi realizada neste milho a aplicação a lanço (pré-soja) de uma adubação adicional de 125 kg.ha^{-1} de sulfato de amônio (25 kg de N e 30 kg de S) em toda área experimental. No mês de outubro (sessenta dias após a calagem), após a dessecação do milho, procedeu-se a aplicação dos tratamentos. O experimento foi sulcado utilizando semeadora adubadora dotada de sistema rompedores do solo de facas e duplos disco desencontrado.

Após esta etapa foi aplicada uma adubação básica, cujas doses foram determinadas de acordo com análise química do solo e com as recomendações de adubação para obtenção de elevadas produtividades.

Tabela 4. Doses e modos aplicação dos Fertilizantes empregados nos três anos de ensaio.

Trat	Total de P ₂ O ₅ (kg.ha ⁻¹) em três anos	Doses anuais das diferentes fontes de fósforo								
		1º ano			2º ano			3º ano		
Modo ¹		F1*	F2	F3	F1	F2	F3	F1	F2	F3
M1	270	270L**	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	270	-	270L	-	-	-	-	-	-	-
M1	270	-	-	270L	-	-	-	-	-	-
M2	270	90L	-	-	90L	-	-	90L	-	-
M2	270	-	90L	-	-	90L	-	-	90L	-
M2	270	-	-	90L	-	-	90L	-	-	90L
M3	270	45L/45s	-	-	45L/45s	-	-	45L/45s	-	-
M3	270	-	45L/45s	-	-	45L/45s	-	-	45L/45s	-
M3	270	-	-	45L/45s	-	-	45L/45s	-	-	45L/45s
M4	270	90S	-	-	90S	-	-	90S	-	-
M4	270	-	90S	-	-	90S	-	-	90S	-
M4	270	-	-	90S	-	-	90S	-	-	90S
TEST	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1 Modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação (1º. ano); M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações de 90 kg; M3 - 270 k kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações de 90 kg.

* Fontes: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia

** L – Aplicação a lanço na superfície, s – aplicação no sulco de plantio e L/s – Aplicação metade no sulco de plantio e metade a lanço na superfície.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 4 +1 subdivido no tempo (três anos), com quatro repetições, totalizando 156 unidades experimentais. Foram três fontes de fósforo, quatro modos de aplicação e uma testemunha comum a todos tratamentos e três anos de cultivo. Cada unidade experimental apresentou área total de 27 m² (4,5 x 6 m), com dez linhas de seis metros de comprimento espaçadas de 0,45 m. Para fins de avaliação do experimento, foi considerada uma área útil central de 13,5 m² (seis linhas de cinco m de comprimento).

As adubações, excetuando a dos tratamentos foram iguais em todos os anos e consistiram na aplicação de cloreto de potássio parte na semeadura (40%) e o restante em cobertura (25 a 30 dias após semeadura), sendo as doses de 84 kg.ha⁻¹ K₂O ano. Uma

semana após a aplicação dos tratamentos, foi iniciado o experimento propriamente dito, com o plantio da soja com sementes previamente inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* mais cobalto e molibdênio. A produtividade foi estimada colhendo-se a área útil após maturação fisiológica e começo da umidade a 13%, foram conduzidas por mais dois anos de cultivo da soja sob as mesmas condições do experimento. Nos anos posteriores semeou-se a soja nas mesmas condições e o fósforo foram aplicados conforme os tratamentos.

5.2.3 Características avaliadas

- a) Produtividade de grãos por área: os grãos colhidos na área útil foram corrigidos a umidade de 13 % e calculado a produtividade de grãos por hectare.
- b) Análise química do solo: Uma semana após a colheita dos da soja, foram coletadas amostras de solo compostas de cada unidade experimental. Nos tratamentos em que os fosfatos foram distribuídos a lanço, as amostras simples foram coletadas aleatoriamente em toda a área da unidade experimental e, nos tratamentos em que os fosfatos foram aplicados localizadamente, as amostras simples foram coletadas em uma faixa perpendicular à linha de plantio, do meio de uma linha ao meio da seguinte. Os teores de P disponível foram determinados pelo Mehlich 1 e Resina. Foram coletadas 10 amostras simples de solo por parcela, nas profundidades de 0-20, as quais, após a homogeneização e quarteação, foram analisadas no Laboratório de Análise de Solo e Foliar E.A./U.F.G. para P resina e P Mehlich 1 conforme metodologia proposta por Embrapa (1999).
- c) Fósforo foliar na soja: foram coletadas amostras de folhas de soja, na fase R2 (pleno florescimento), retirando-se de 15 a 30 folhas (terceira folha a partir do ápice da haste principal) por parcela, as quais, após a secagem e trituração, foi analisado teor de P total conforme metodologia de Malavolta et al. (1989).
- d) O índice de Eficiência Agronômica para rendimento de grão, teor foliar de P e teor no solo extraído pelo resina e Mehlich 1: Foi estimada por meio do índice de eficiência agronômica (IEA), calculado conforme Goedert et al. (1986), que corresponde ao quociente dos acréscimos da variável obtidos com o FNR e com a fonte solúvel de referência (superfosfato Triplo) aplicados na mesma dose de P_2O_5 total, em relação a um tratamento sem aplicação de fósforo:

$$IEA = \frac{(\text{rendimento com FNR} - \text{rendimento sem P})}{(\text{rendimento com fonte solúvel} - \text{rendimento sem P})} \times 100$$

O efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas foi avaliado pela análise de variância, sendo posteriormente comparadas por teste F a 5% de probabilidade.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Análise de variância

Na Tabela 5 são apresentadas a análise de variância das variáveis produtividade de grãos, P foliar e P no solo extraídos pelos extratores Resina e Mehlich I.

Verifica-se na Tabela 5 que não houve efeito significativo das interações binárias e ternárias dos fatores de variação. Por outro lado houve efeito significativo dos anos de cultivo para as quatro variáveis. Os modos de aplicação dos fertilizantes foram significativos para as variáveis produtividade de grãos de soja e P no solo extraídos pelo Resina e Mehlich 1. Houve também efeito significativo poucas as fontes para essas três variáveis.

5.3.2 Produtividade de grão de soja

A produtividade de grãos de soja do superfosfato triplo (referência) nos três anos de cultivo para diferentes modos de aplicação e a Eficiência Relativa (ER) para os fosfatos reativos são apresentados na Tabela 6.

A maior produtividade encontrada foi de 2.905 kg.ha⁻¹ (calculado multiplicando a produtividade do SFT, 2025 kg.ha⁻¹ no 2º ano, no tratamento M1 por 1,47). Por outro lado, a menor produtividade foi obtida na testemunha no segundo ano de cultivo (1.229 kg.ha⁻¹). Observa-se que as produtividades nos diferentes sistemas de adubação, alcançadas neste experimento, foram próximas a média do Estado de Goiás (2.930 kg.ha⁻¹) segundo, Conab (2011).

Houve um acréscimo na produção de soja no primeiro ano de 33% com a aplicação do superfosfato triplo aplicado em única dose (M1) em relação à testemunha. Atribui-se estes resultados a grande quantidade de fosfato solúvel aplicada, que fica pronto

a ser disponibilizado para as plantas, enquanto os Fosfatos Naturais Reativos tem um efeito residual maior e vai sendo disponibilizado ao longo do tempo.

Tabela 5. Análise de variância para as variáveis produtividade de grãos de soja, P foliar na soja e P no solo extraídos pelos extratores resina e Mehlich 1 em função da combinação dos fatores de variação fontes, modos de aplicação de fertilizantes fosfatados e anos de cultivo.

Fontes de Variação	Produtividade soja	Teor de P Foliar	P solo extraído Mehlich 1	P solo extraído Resina
Cultivos	6,12**	84,89**	11,31**	12,96**
Modo	12,63**	0,80 ^{ns}	4,25*	3,50*
Cultivos*Modo	0,83 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Fonte	17,01**	2,34 ^{ns}	4,00*	3,48*
cultivosxfonte	1,29 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,42 ^{ns}
Modo x fonte	0,001 ^{ns}	0,76 ^{ns}	2,81 ^{ns}	2,22 ^{ns}
Cultivo x modo x fonte	0,051 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,99 ^{ns}	0,99 ^{ns}

ns - não significativo pelo teste F a 5%, * - significativo a 5% pelo teste F; ** - significativo a 1% pelo teste F

Por outro lado no segundo ano verificou-se um aumento na produção da soja de 93% com a aplicação do superfosfato triplo com a dose dividida em três aplicações anuais, quando comparado à produtividade da testemunha. O efeito residual que no terceiro ano proporcionou um aumento na produtividade da soja de 105% com a aplicação do superfosfato triplo com a dose dividida em três aplicações anuais (M3 - metade a lanço e metade no sulco) quando comparado à produtividade da testemunha.

De uma maneira geral na média dos três anos de cultivo da soja observou-se um aumento de 83 % e 82% na produção de soja com a aplicação do superfosfato triplo quando aplicado de uma só vez (M1) e quando a dose foi dividida em três aplicações anuais, sendo metade a lanço e metade no sulco (M3). Os demais tratamentos (M2 e M3) apresentaram em média um acréscimo de 68% na produção da soja, comparando com a testemunha.

No primeiro ano, entre as fontes avaliadas destacaram-se o superfosfato triplo (F1), com um aumento de 33% de acréscimo de produtividade quando aplicado em M1, seguido do Fosfato de Arad (F2) com um acréscimo de 24% quando aplicado em M3 e

Fosfato de Youssoufia (F3) quando aplicado em M2 teve um acréscimo de 22% na produtividade, ambos comparados a testemunha. Tais resultados corroboram os relatados por Sousa et al. 2002 que indicam menor eficiência agronômica em curto prazo, porém a longo prazo o seu efeito residual é geralmente maior. Já no segundo ano observou-se que a fonte fosfato de Youssoufia teve um aumento de 141% na produção quando aplicado em M4 de acréscimo na produtividade em relação a testemunha, seguido do Fosfato de Arad em M3 com 133% de acréscimo e o fosfato de Youssoufia em M5 com 93% de acréscimo. Por outro lado no terceiro cultivo de soja observou-se um acréscimo de 105% na produtividade quando aplicou-se o superfosfato triplo em M3, seguida do fosfato de Youssoufia em M4 com 102% e do fosfato de Arad em M2 com 84%, quando comparados a testemunha.

Na média dos três anos verificou-se que o fosfato de Youssoufia em M3 e M2 obteve maior eficiência agronômica (103% e 109% respectivamente). O fosfato reativo de Arad apresentou resultado superior ao superfosfato triplo em M3 (105%). Os ERs foram maiores que no primeiro ano e maiores que os obtidos por Korndorfer et al. (1997), Rein et al. (1994) e Sousa et al. (1999). A resposta mais tardia, ou seja, no terceiro ano dos FRN se deve a dissolução mais lenta do FNR, além da dissolução dos FNR.

5.3.4 Eficiência relativa no teor de P foliar na soja

Na Tabela 7 são apresentados os teores foliares de soja para os tratamentos e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

No superfosfato triplo os teores foliares de P na soja variaram de 0,18 a 0,23 mg.dm⁻³ nos primeiros anos de cultivo. No terceiro ano os teores foram maiores variando de 0,33 a 0,44 mg.dm⁻³ superfosfato triplo (referência). As maiores amplitudes em relação à testemunha foram obtidas nas aplicações em M1 no 1º ano (21%), M2 no 2º ano (21%) e M2 no 3º ano (42%). Considerando os três anos de cultivo o M1 e M2 destacaram-se com 30% de incremento. Para as Eficiência Relativa do teor foliar (ER) destacaram-se o FR de Youssoufia em M2 (104%) no 1º ano; o F.R de Arad no 2º ano em M4 (115%) e FR de Arad em M4 (123%) no Arad. Na média dos três anos o maior destaque encontra-se para o F.R. de Arad em M4 (107%). Esse maior desempenho na adubação do sulco de plantio

(M4) esta relacionada a não exposição dos P solubilizado aos sítios de absorção de óxidos de Fe e Alumínio e conseqüentemente menor fixação do P pelos colóides do solo.

Tabela 6. Produção de soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Ano	Modo aplicação ¹	Produção de soja com superfosfato triplo Kg.ha ⁻¹	Eficiência Relativa das Fonte de fosfatos		
			superfosfato triplo	F. R. Arad	F. R. Youssoufia
			------(%)-----		
1º ano	M1	2.905	100	84	88
	M2	2.725	100	90	98
	M3	2.405	100	94	78
	M4	2.465	100	82	99
	Test	2.185	-	-	-
2º ano	M1	2.025	100	126	147
	M2	1.751	100	113	143
	M3	2.370	100	121	111
	M4	1.960	100	111	135
	Test	1.229	-	-	-
3º ano	M1	2.729	100	81	96
	M2	2.564	100	100	98
	M3	2.860	100	84	90
	M4	2.598	100	98	109
	Test	1.394	-	-	-
Média 3 anos	M1	2553	100	94	106
	M2	2347	100	100	109
	M3	2545	100	105	98
	M4	2341	100	96	113
	Test	1.394	-	-	-

¹ Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações anuais de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, M4 - 270 kg.ha⁻¹ a de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações anuais de 90 kg e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados.

5.3.5 Eficiência relativa no teor de P no solo

Verificando-se os teores de P no solo extraído pelo resina (Tabela 7) verifica-se que no superfosfato triplo (referência) que a aplicação em M1 proporcionou altos incrementos em relação a testemunha (117% no 1º ano e 187% no segundo ano).

Tabela 7. Teor foliar de soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Ano	Modo aplicação ¹	Teor de P foliar superfosfato triplo dag kg ⁻¹ P foliar	Eficiência relativa em relação ao superfosfato triplo		
			superfosfato triplo	F. R. Arad	F.R. Youssoufi a
			----- (%) -----		
1º ano	M1	0,23	100	84	78
	M2	0,20	100	100	104
	M3	0,22	100	97	92
	M4	0,21	100	83	82
	Test	0,19	-	-	-
2º ano	M1	0,22	100	80	102
	M2	0,23	100	71	82
	M3	0,20	100	103	95
	M4	0,18	100	115	95
	Test	0,18	-	-	-
3º ano	M1	0,44	100	79	81
	M2	0,45	100	78	72
	M3	0,44	100	95	74
	M4	0,33	100	123	108
	Test	0,31	-	-	-
Média 3 anos	M1	0,30	100	81	87
	M2	0,30	100	83	86
	M3	0,29	100	98	87
	M4	0,24	100	107	95
	Test	0,23	-	-	-

¹ Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações anuais de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, M4 - 270 kg.ha⁻¹ a de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações anuais de 90 kg e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados.

Tabela 8. P no solo extraído pelo resina cultivado com para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fosfatados.

Ano	Modo aplicação ¹	Teor P resina superfosfato triplo mg.dm ⁻³	Eficiência Relativa do P no solo extraído resina superfosfato triplo		
			F. R. Arad	F. R. Youssofia	(%)
1º ano	M1	14.0	100	368	155
	M2	6.6	100	186	270
	M3	10.7	100	152	326
	M4	4.4	100	60	604
	Test	5.1	-	-	-
2º ano	M1	9.2	100	251	105
	M2	4.0	100	167	193
	M3	6.0	100	163	270
	M4	3.5	100	69	352
	Test	3.2	-	-	-
3º ano	M1	6.6	100	70	51
	M2	3.4	100	119	77
	M3	3.1	100	164	114
	M4	2.7	100	98	138
	Test	2.3	-	-	-
3 anos	M1	9.9	100	230	104
	M2	4.7	100	157	180
	M3	6.6	100	160	237
	M4	3.5	100	76	365
	Test	3.5	-	-	-

¹ Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações anuais de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, M4 - 270 kg.ha⁻¹ a de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações anuais de 90 kg e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados.

Tabela 9. P no solo extraído pelo Mehlich 1 cultivado com soja para os tratamentos superfosfato simples (F1 – fonte solúvel referencia) e Eficiência Relativa (%) envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Ano	Modo aplicação ¹	Teor de P		Eficiência Relativa ER	
		superfosfato triplo mg dm ⁻³ Mehlich 1	superfosfato triplo -----	F. R. Arad (%) -----	F. R. Youssoufia -----
1º ano	M1	9.2	100	362	142
	M2	3.7	100	201	275
	M3	7.3	100	161	330
	M4	3.6	100	50	509
2º ano	M1	7.2	100	259	111
	M2	3.3	100	167	190
	M3	5.0	100	160	270
	M4	2.8	100	69	359
3º ano	M1	5.2	100	75	56
	M2	2.9	100	122	78
	M3	2.7	100	159	110
	M4	2.3	100	96	141
3 anos	M1	7.2	100	232	103
	M2	3.3	100	163	181
	M3	5.0	100	160	237
	M4	2.9	100	72	337

¹ Modos de aplicação de fertilizantes fosfatados (M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 -270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, dividido em três aplicações anuais de 90 kg; M3 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em três aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, M4 - 270 kg.ha⁻¹ a de P₂O₅ no sulco, dividido em três aplicações anuais de 90 kg e Test - sem aplicação de fertilizantes fosfatados.

A média nos três anos de cultivo proporcionou 182% de incremento em relação a testemunha. Para a Eficiência Relativa (Tabela 8) destaque foi verificado para o FR de Arad que proporcionou incrementos em M1 elevados (368% no 1º ano e 251% no 2º ano, com média dos três anos de 230%). De maneira geral, na média dos três anos de cultivo da soja, observou-se ER de 337% e 237% no F.R de Youssoufia nas aplicações em M4 e M3 respectivamente. O fosfato natural de Arad apresentou melhor resposta nas aplicações em

M1 (232%), M2 (163%) e M3 (160%). O Pior desempenho foi na aplicação no sulco de plantio (M4) com 72% especialmente pelo baixo desempenho no primeiro ano de cultivo (50%).

5.4 CONCLUSÕES

- ✓ Verificou-se aumento na produtividade da soja com a aplicação dos fertilizantes fosfatados.
- ✓ A eficiência relativa dos fosfatos reativos obtidos dependeu da variável empregada (produtividade, teor foliar ou no solo).
- ✓ A aplicação do Fosfato Natural Reativo de Youssoufia parcelada em três anos no sulco de plantio proporcionou maior incremento na produtividade e nos teores de P no solo ao longo dos três anos de cultivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de fertilizantes fosfatados é extremamente importante para as culturas e a escolha de fontes e modos de aplicação é um fator muito importante, já que as reservas de P são finitas. Portanto, torna-se necessário encontrar alternativas além das fontes solúveis em água. Os fosfatos naturais reativos vêm mostrando boa eficiência agrônômica e preços mais baixos do que os fertilizantes solúveis em água.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ANGHINONI, I.; VOLKWEISS, S. Fósforo. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M.J. (Ed.). **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS, 1995. p. 99-120.

ARAÚJO, L. B. **Fontes e modos de aplicação de fósforo na produção e nutrição mineral do milho em primeiro cultivo**. 2004. 76 f. Dissertação (Dissertação de mestrado em agronomia) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

BÜLL, L. T.; FORLI, F.; TECCHIO, M. A.; CORRÊA, J. C. Relações entre fósforo extraído por resina e respostas da cultura do alho vernalizado à adubação fosfatada em cinco solos com e sem adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 459-470, 1998.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Interpretação de análise de solo e calagem. In: ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2., 2000. Campinas. **Anais...** Campinas: Encontro Paulista de Soja, 2000. 1 CD-ROM. II. 2000.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; LANDELL, M. G. A.; VASCONCE-LOS, A. C. M. Misturas em diferentes proporções de fosfato natural reativo e fosfato solúvel em água para a cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 8., 2002, Recife. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2002. p. 218-224.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, n. 3, p. 227-234, 1995.

CHOUDHARY, M.; BAILEY, L. D.; PECK, T. R. Effect of rock phosphate and superphosphate on crop yield and soil phosphorus test in long-term fertility plots. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 27, n. 18-20, p. 3085-3099, 1996.

CHUEIRI, W. **Sistema plantio direto e alternativas para adubação**. 2005. Disponível em: <www.fundacaoms.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2010.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos safra 2010/2011**: oitavo levantamento: maio de 2010. Brasília: Conab, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 30 jun. 2011.

COSTA, S. E. V. G. de A.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. de; SILVA, T. O. da; SILVA, T. R. da. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, 2008.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; STUPIELLO, J. J.; CARNIER, P. E. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 93-104, 1991.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos: Embrapa Informática Agropecuária: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 231 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GOEDERT, W. J.; REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1986, 21 p.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfato em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G., Uso de Fertilizantes Fosfatados. In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A. J. de. (Ed.) **Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA-DID, 1984, p. 255-290.

HOROWITZ, N. **Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula**. 1998. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

KAMINSKI, J. **Efeito de cinco fosfatos pré e pós aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv Conti-Brasil), em três solos ácidos**. 1983. 126 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1983.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: NRS-SBCS, 1997. 31p. (Boletim Técnico, 3).

KORNDÖRFER G.H.; CABEZAS, W.L.; HOROWITZ, N.; Eficiência agronômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Campinas: SBCS, 1997. p. 145.

LOPES, A. S. Fosfatos naturais. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). **Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. v. 1, p. 65-66.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

McCLELLAN, G. H.; GREMILLION, L. R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.; KAMPRATH, L. J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 43-80.

MIELNICZUK, J. Análises de solo e sua interpretação. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. (Ed.). **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: FA/DS, UFRGS, 1995. p. 33- 46.

MOTOMIYA, W. R.; FABRÍCIO, A. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C.; ROBAINA, A. D.; NOVELINO, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 4, p. 307-312, 2004.

NOVAIS, R. F. Utilização de fosfatos naturais de baixa reatividade. In. RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed). **Recomendações para o uso de fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 62-64.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OBA, C. A. I. **Aproveitamento de materiais marginais para a produção de fertilizantes organo-fosfatados**. 2000. 175 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PELLEGRINI, J. B. R.; RHEINHEIMER, D. R.; GONÇALVES, C. S.; COPETTI, A. C. C.; BORTOLUZZI, E. C.; TESSIER, D. Effect of landscape conformation on phosphorus contamination of fluvial soil sediments in subtropical Brazilian watershed. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 31, n. 4, p. 551-556, 2008.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S. Fosfatos naturais reativos: resultados obtidos no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 1 CD-ROM.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1991. 343 p.

RAIJ, B. V. **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 2004. 725 p.

REETZ, E. R. **Anuário brasileiro de Fruticultura**. Santa Cruz: Gazeta Santa Cruz, 2007. 136 p.

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1994. p. 38-40.

ROSOLEM, C. A. Adubação foliar. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 419-449

ROSSI, C.; ANJOS, A. R. M. dos.; CAMARGO, M. S. de.; WEBER, O. L. S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: Avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 39-46, 1999.

SEGATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura da Euleunice coracana**. 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SILVA, F. C. da.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SINCLAIR, J. B. Soybeans. In: BENNETT, W. F., (Ed.). **Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants**. Saint Paul: APS, 1993. p. 99-103.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 168 p.

SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A.; LOBATO, E.; SOARES, W. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Planaltina: Ciência do solo e qualidade de vida, Embrapa Cerrados, 1999. 1 CD-ROM.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E., **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002, p.147-168.

APÊNDICES

Apêndice A.1. Doses de Fertilizantes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) empregadas no primeiro ano do experimento.

Trat. ¹	Modo ²	Font ³	Adubação P_2O_5 no 1º ano lanço			Adubação P_2O_5 no 1º ano linha			K Plantio		K Cobertura	
			SFT	Arad	Youssoufia	SFT	Arad	Youssoufia	K_2O	KCl	K_2O	KCl
			1	M1	F1	270	-	-	-	-	-	24
2	M2	F1	90	-	-	-	-	-	24	40	36	60
3	M3	F1	45	-	-	45	-	-	24	40	36	60
4	M4	F1	-	-	-	90	-	-	24	40	36	60
5	M1	F2	-	270	-	-	-	-	24	40	36	60
6	M2	F2	-	90	-	-	-	-	24	40	36	60
7	M3	F2	-	45	-	-	45	-	24	40	36	60
8	M4	F2	-	-	-	-	90	-	24	40	36	60
9	M1	F3	-	-	270	-	-	-	24	40	36	60
10	M2	F3	-	-	90	-	-	-	24	40	36	60
11	M3	F3	-	-	45	-	-	45	24	40	36	60
12	M4	F3	-	-	-	-	-	90	24	40	36	60
13	Test ⁴	Test	-	-	-	-	-	-	24	40	36	60

¹ Trat: Tratamentos aplicados.

² Modos de aplicação: M1 - $270 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 a lanço, uma única aplicação; M2 - $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 a lanço; M3 - $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 total a lanço + $45 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 no sulco e M4 - $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P_2O_5 no sulco.

³ Font: F1- superfosfato triplo; F2- Fosfato natural reativo Arad e F3- Fosfato natural reativo de Youssoufia.

⁴ Test: testemunha, sem aplicação de P_2O_5 .

Apêndice A.2. Produtividades médias de grão de soja, com teste F e coeficiente de variação para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Tratamentos	Produtividade	Tratamentos	Produtividade
Modo ¹	(kg.ha ⁻¹)	Fonte ²	(kg.ha ⁻¹)
M1	2635,83a	F1	2624,38a
M2	2616,67a	F2	2409,38a
M3	2466,67a	F3	2486,25a
M4	2307,50a	Test	2187,50a
Test	2187,50a		
Média Geral	2442,83		
F modo	1,95 ^{ns}		
F dose	1,32 ^{ns}		
F inter.	1,39 ^{ns}		
CV%	15,29		

Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

¹ Modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco.

² Fontes: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia.

ns - não significativo pelo teste F a 5%.

Test: testemunha, sem aplicação de P₂O₅.

Apêndice A.3. Teores médios de P, teste F e coeficiente de variação das variáveis: análises de folha de soja para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Tratamentos	P Foliar dag.kg ⁻¹	P solo Melhich I mg.dm ⁻³	P solo resina mg.dm ⁻³
Modo ¹			
M1	0,21a	25,0a	22,4a
M2	0,21a	12,9bc	5,4b
M3	0,21a	17,2bc	8,3b
M4	0,20a	12,5bc	3,2b
Test	0,20a	8,0c	3,5b
Fonte ²			
F1	0,22a	13,8b	6,54b
F2	0,20a	20,1a	16,18a
F3	0,20a	16,8b	6,72b
Test	0,20a	8,0c	3,5b
Médias Geral	0,20	16,2	9,3
F modo	0,35 ^{ns}	12,6**	27,94**
F dose	1,82 ^{ns}	4,9*	15,07**
F modo x dose	0,60 ^{ns}	5,8*	9,83*
CV%	15,56	34,9	60,10

Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹ Modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação; M2 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço; M3 - 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ total a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco e M4 - 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco.

² Fontes: F1- superfosfato triplo; F2- Fosfato natural reativo Arad e F3- Fosfato natural reativo de Youssoufia.

ns -não significativo pelo teste F a 5%, * - significativo a 5% pelo teste F; ** - significativo a 1% pelo teste F.

Test: testemunha, sem aplicação de P₂O₅.

Apêndice B.1. Doses de Fertilizantes kg ha^{-1} aplicados em dois anos e no segundo ano de experimento.

Trat ¹	Modo ²	Fonte ³	Adubação total com P_2O_5 em 2 anos						Adubação P_2O_5 no 2º ano lanço						Adubação P_2O_5 no 2º ano linha						K Plantio						K Cobertura					
			SFT		Arad		Yous.		SFT		Arad		Yous.		SFT		Arad		Yous.		K ₂ O		KCl		K ₂ O		KCl		K ₂ O		KCl	
1	M1	F1	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
2	M1	F2	-	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
3	M1	F3	-	-	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
4	M2	F1	180	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
5	M2	F2	-	180	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
6	M2	F3	-	-	180	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
7	M3	F1	180	-	-	45	-	-	45	-	-	-	45	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
8	M3	F2	-	180	-	-	45	-	-	45	-	-	-	45	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
9	M3	F3	-	-	180	-	-	45	-	-	45	-	-	-	45	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
10	M4	F1	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
11	M4	F2	-	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
12	M4	F3	-	-	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				
13	Test	Test	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	40	40	60	60	100	100	100	100				

1 Trat- tratamentos Aplicados no experimento.

2 Modos de aplicação: M1 - 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , dividido em duas aplicações anuais de 90 kg ha^{-1} , sendo uma aplicada no ano anterior; M3 - 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 , dividido em duas aplicações de 90 kg ha^{-1} , sendo 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 a lanço + 45 kg ha^{-1} de P_2O_5 no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg ha^{-1} , sendo uma aplicada no ano anterior.

3 Fontes: F1 - superfosfato triplo; F2 - fosfato natural reativo Arad e F3 - fosfato natural reativo de Youssoufia.

Test: Testemunha, sem aplicação de P_2O_5 .

Apêndice B.2. Produtividade de grão de soja, com teste F e coeficiente de variação e IEA para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados para o segundo ano de cultivo.

Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	IEA(%)
Modo ¹		
M1	2364b	100b
M2	2130b	82b
M3	2621a	120a
M4	2331b	97b
Test	1071c	0c
Fonte ²		
F1	2105b	100b
F2	2370ab	126ab
F3	2610a	149a
Test	1071c	0c
F modo	8,01**	3,99*
F fonte	4,30*	4,47*
F modo x fonte	0,76	0,87
CV%	21,5	58,2

¹ Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² Modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior ; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg/ha, sendo uma aplicada no ano anterior.

³ Fontes: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia

ns - não significativo pelo teste F a 5%, * - significativo a 5% pelo teste F; ** - significativo a 1% pelo teste F.

IEA – Índice de eficiência agrônômica.

Apêndice B.3. Teores médios, teste F e coeficiente de variação das variáveis das análises de folha de soja e milho para os tratamentos envolvendo fontes e modos de aplicação de fertilizantes fosfatados.

Tratamentos	P Foliar dag.kg ⁻¹	P solo Resina mg.dm ⁻³	P solo Mehlich1 mg.dm ⁻³
Modo ¹			
M1	0,22a	8,6a	4,5a
M2	0,18a	7,6a	3,8a
M3	0,20a	8,7a	4,6a
M4	0,22a	7,6a	4,0a
Test	0,22a	6,1a	2,9a
Fonte ²			
F1	0,21a	6,3a	3,5a
F2	0,19a	8,9a	4,7a
F3	0,19a	8,6a	4,3 ^a
Test	0,18a	6,1a	2,9b
Media	0,2	7,8	4,1
F modo	1,19 ns	1,22 ns	2,23 ns
F fonte	1,59 ns	0,60 ns	4,67*
F modo x fonte	2,33 ns	1,33 ns	1,63 ns
CV%	16,8	53,8	27,9

Média seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

¹ Modos de aplicação: M1 - 270 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço, uma única aplicação no ano anterior; M2 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior ; M3 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, dividido em duas aplicações de 90 kg.ha⁻¹, sendo 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ a lanço + 45 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, sendo metade desta dose aplicada no ano anterior e M4 - 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, dividido em duas aplicações anuais de 90 kg.ha⁻¹, sendo uma aplicada no ano anterior.

² Fontes: F1- superfosfato triplo; F2- fosfato natural reativo Arad e F3- fosfato natural reativo de Youssoufia.

ns - não significativo pelo teste F a 5%, * - significativo a 5% pelo teste F.