

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência agronômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja**

**Adilson de Oliveira Junior**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba  
2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Adilson de Oliveira Junior  
Engenheiro Agrônomo

**Eficiência agronômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja**

Orientador:  
Prof. Dr. **LUÍS IGNÁCIO PROCHNOW**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba**  
**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Oliveira Junior, Adilson de

Eficiência agronômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja / Adilson de Oliveira Junior.

- - Piracicaba, 2007.

123 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

Bibliografia.

1. Aptidão agrícola 2. Fertilidade do solo 3. Fertilizantes fosfatados 4.  
Fosfatos 5. Latossolos 6. Soja I. Título

CDD 633.34

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

*À minha filha, Ana Luísa Ogawa de Oliveira,  
que tão cedo conheceu o significado da  
palavra “Saudade”*

***DEDICO***

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, por meio da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Professor Luís Ignácio Prochnow, pelos ensinamentos, pela amizade e confiança.

Ao pesquisador da Embrapa Soja, Dr. Dirceu Klepker, pela amizade e apoio na condução das atividades em Balsas, MA.

Aos pesquisadores da Apta Regional, pólo Médio Paranapanema, Dr. Aildson Pereira Duarte e Paulo César Reco, pelo apoio na condução das atividades em Palmital, SP.

Aos professores, Jairo Mazza, Godofredo C. Vitti, Pablo Vidal Torrado, Jorge Kiehl, Elke J. B. N. Cardoso, Márcio Lambais, Alexandre Demattê, Luís R. F. Alleoni, Carlos Eduardo Cerri, Miguel Cooper, Antonio Azevedo, Álvaro Pires da Silva, Antonio Roque Dechen, Francisco Monteiro, Arnaldo Rodella, Eurípedes Malavolta, Antonio Boaretto, Klauss Reichardt e Durval Dourado Neto, pelo convívio e aprendizado.

Aos amigos do nosso grupo de orientação, Graziela, Eros, Daniela, Gean, Rodrigo, Johnny e Larissa, pelo intenso e salutar convívio.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Ciência do Solo, Luiz Silva, Luís Fernando Baldesin, Claudinei de Lara, João A. R. Granja, Vanda M. Zancheta, Leandro L. Góia, Sérgio F. de Melo e Eleusa C. Bassi, pelo auxílio nas análises de laboratório durante o desenvolvimento do projeto.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo Flávia, Marta, Cristina, Martinha Nancy, Marcos, Moisés, Anderson, Dorival, Chico, Nelson (Juruna), Jair, e da Fealq Jackeline, Sílvia, Luciana, Elisângela, Udso, Lico, Reginaldo, José Roberto, Alberto e Luís Carlos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos Adriana, Afrânio, Alexandre (Chiclete), Aline, Ana Carolina, Benedito, Brivaldo, Camila, Carlos Eduardo, Carol Lisboa, Cíntia, Cristiane, Dilmar, Fabiano, Faroni, Francisco Mello (Chiquinho), Fernando P. Ferreira, Fernando Garbuio, Flávio, Gabriel Barth, Gabriel Andrade, Gilberto Nava, Henrique, Jackson, Jô, João Luis, José Geraldo, José Olímpio, Juliana, Lillian, Leônidas, Maísa, Mara, Marcelo Benedetti, Márcio Morais, Marcos Pereira, Paulo, Rafael Otto, Raphael Beirigo, Roberta, Rodinei, Stoécio, Suzana, Tiago, Vanda, Virgínia, Zambrozi, agradeço pelos momentos de alegria e convivência.

À minha família, pelo incentivo e carinho.

A todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO**

*“Se uma pessoa não sabe qual a direção a seguir, nenhum vento lhe será favorável.”*

*Lucius Aneus Sêneca*

## SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
Referências	15
2 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FOSFATO DE ROCHA, QUANDO UTILIZADO ISOLADAMENTE OU ASSOCIADO AO SUPERFOSFATO TRIPLO, PARA A CULTURA DA SOJA NO SUL DO ESTADO DO MARANHÃO	19
Resumo	19
Abstract	20
2.1 Introdução	20
2.2 Desenvolvimento	22
2.2.1 Material e Métodos	22
2.2.1.1 Descrição do experimento	22
2.2.1.2 Análise dos dados	27
2.2.2 Resultados e Discussão	34
2.2.2.1 Utilização das fontes isoladamente	34
2.2.3.2 Utilização das fontes em conjunto	46
2.3 Considerações finais	60
Referências	61
3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE P, OBTIDAS COM A GRANULAÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FERTILIZANTES ACIDULADOS E FOSFATO DE ROCHA, PARA A CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE ASSIS, SP	65
Resumo	65
Abstract	66
3.1 Introdução	66
3.2 Desenvolvimento	68
3.2.1 Material e Métodos	68
3.2.2 Resultados e Discussão	76
3.3 Considerações finais	90
Referências	92
APÊNDICES	95

## RESUMO

### **Eficiência agronômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja**

O fósforo (P) é considerado o nutriente mais limitante à produção de soja no Brasil. Isso porque, em geral os solos cultivados com essa cultura apresentam baixa disponibilidade natural de P, conseqüentemente, para a obtenção de produtividades economicamente aceitáveis, torna-se obrigatoriamente necessário o fornecimento de P via fertilização. Praticamente toda a adubação fosfatada da soja é realizada utilizando os fosfatos totalmente acidulados, que possuem elevada solubilidade em água, e quando aplicados no solo podem levar ao aumento demasiado da disponibilidade de P em um momento de baixa demanda pela cultura. Em alternativa, poder-se-ia associar a utilização dos superfosfatos com o uso dos fosfatos de rocha (FR) visando manejar a adubação, por meio da solubilidade diferenciada dessas fontes, de forma que minimizasse as perdas do P aplicado. Nesse sentido foram instalados dois experimentos de campo, sendo um no Estado do Maranhão (Balsas, com início em 2004) e o outro no Estado de São Paulo (Palmital, com início em 2005). Ambos tiveram como objetivo principal avaliar a eficiência agronômica de fontes de P para a soja, em função da localização e da solubilidade dos fertilizantes. No experimento localizado em Balsas, as fontes utilizadas foram o Superfosfato Triplo – TSP e o FR Arad, aplicadas isoladamente ou de forma associada. A associação foi realizada de duas formas: i. aplicando-se as fontes separadamente, mas no mesmo tratamento; ii. na forma de misturas entre o TSP e o FR. No segundo experimento, as fontes de P (TSP e FR Argélia) foram misturadas em cinco proporções e granuladas, sendo aplicadas em uma dose a lanço e em três no sulco de semeadura. Logo, a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) foi avaliada em condições distintas quanto a localização e quanto a solubilidade das fontes/misturas. Em geral, a EAR das fontes de menor solubilidade em água foi maior quando as mesmas foram aplicadas a lanço e incorporadas ao solo. Por exemplo, no Maranhão o FR a lanço resultou em 77 % de EAR (média das três safras), ao passo que, quando aplicado no sulco a EAR desta fonte foi de 44 %. A utilização associada das fontes aplicando-se o FR a lanço e o TSP no sulco caracterizou-se como alternativa agronomicamente viável, pois, além de ter resultado em elevadas produtividades, o efeito residual do FR persistiu por no mínimo dois cultivos, contribuindo com até 40 % do valor final de produtividade, quando associado a menor dose de P (TSP). Para a associação das fontes de P na forma de misturas granuladas, verificou-se que a solubilidade em água mínima necessária para a obtenção de produtividades equivalentes a do TSP é de aproximadamente 60 % do teor total de P das fontes, entretanto, este valor variou com a produtividade e com a forma de aplicação das misturas. Logo, a associação de fontes de P aparenta ser uma alternativa viável para manejar a adubação fosfatada com maior eficiência.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; Solubilidade de fontes de P; Latossolos; Glycine max; Misturas de fontes; Formas de aplicação.

## ABSTRACT

### **Agronomic effectiveness of phosphate rocks, by itself or associated with the triple superphosphate, for soybean**

Phosphorus is considered the most limiting nutrient for soybean production in Brazil. This fact is due to a low natural availability of P in cultivated soils. To obtain good economically yield is necessary P fertilizer application. Nearly all phosphorus fertilization is carried out using acidulated phosphate, which have high water solubility and when applied in the soil may increase the P availability at times of low demand by the crop. To associate the use of acidulated phosphate (e.g. Triple Superphosphate – TSP) and phosphate rock (PR), since they are sources of different solubility, can be an alternative to adequately manage fertilizers aiming to reduce the losses of P applied to crops. Two field experiments were carried out, one in Maranhão State (Balsas) and another in the State of São Paulo (Palmital), both aiming to evaluate the agronomic effectiveness of P sources for soybean regarding the method of application and the P source solubility. In both experiments the P sources were applied by itself or in mixtures combining both P fertilizers. The mixed application of the sources was carried out basically in two forms: i: applying the sources separately, but in the same treatment, like broadcasted-PR application and banded-TSP, and ii: applying the mixtures obtained through different proportions of TSP and PR. Like this, the relative agronomic effectiveness (RAE) of P sources was evaluated concerning the localization of the fertilizer and in different conditions of water P solubility. RAE of sources with lower solubility was generally higher when they were applied broadcasted and incorporated into the soil. For example, the RAE of broadcasted-PR was 77% (average of the three harvests), while, the banded-PR resulted in 44% of RAE. The use of PR broadcasted and TSP banded showed to be a feasible agronomic alternative, once besides the high yield results in the first harvest, it made possible a good residual effect for two years, with the residual effect of the PR leading to up to 40% of the final yield values when low rates of P (TSP) was used. When the association of the sources was carried out by granulated mixed components, it was observed that the water solubility necessary to obtain similar soybean yield as TSP was of approximately 60%. The association of the P sources, with the objective to obtain lower levels of solubility, seems to be a feasible alternative to manage phosphorus fertilizers.

Keywords: Soil fertility; P sources solubility; Oxisols; Glycine max; Mixture of P sources; Application method;

## 1 INTRODUÇÃO

O nutriente Fósforo (P) está associado a diversos processos metabólicos vitais para os seres humanos, para outros animais e para as plantas. Na litosfera, o P pode ser encontrado principalmente em rochas ígneas e sedimentares, compondo aproximadamente  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$  da crosta terrestre (CATHCART, 1980). Dentre os principais minerais contendo P, a grande maioria dos depósitos de rocha fosfática são compostos pelos fosfatos de cálcio (Apatitas), predominando a Fluorapatita  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$ . No entanto, dificilmente a fluorapatita é encontrada pura, ocorrendo normalmente substituições isomórficas de Ca por Na e Mg, ou ainda, de fosfato por carbonato. Conforme o grau de substituição isomórfica, o mineral apresentará características físicas e químicas diferenciadas, o que resulta em maior ou menor reatividade (McCLELLAN; GREMILLION, 1980). Segundo algumas estimativas, as reservas mundiais de P com atual viabilidade econômica de exploração podem ser suficientes até 2050 (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003), fato esse, que apesar de incerto, nos leva a estudar a eficiência agrônômica de fontes alternativas de P.

Em escala global, o P é considerado como nutriente limitante a produção em aproximadamente 5,7 bilhões de hectares de terras agricultáveis (HINSINGER, 2001). No Brasil, particularmente na região sob Cerrados, em 92 % das amostras coletadas o teor de P disponível (Mehlich-1) foi inferior a  $2 \text{ mg dm}^{-3}$  (LOPES; COX, 1977). Especificamente para o Estado de São Paulo, em 2004, aproximadamente em 60 % das amostras analisadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, os teores de P disponível (Resina) foram inferiores a  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  (PROCHNOW et al., 2005).

As reações do P no solo, que levam a maior ou menor disponibilidade do elemento, estão diretamente associadas às inter-relações que ocorrem entre os fatores intensidade (I), quantidade (Q) e capacidade (C), em que, I corresponde ao P em solução, Q ao P-lábil e C a capacidade tampão de P (NOVAIS; SMYTH 1999). Logo, a disponibilidade de P para as plantas depende da concentração de P na solução do solo e, principalmente, da capacidade do solo em manter teores adequados de P em solução para suprir a necessidade da planta durante o ciclo da cultura. Assim, o equilíbrio entre o P-lábil e o P em solução definirá a disponibilidade deste nutriente para uma cultura qualquer. Sabendo-se que os três fatores (I, Q e C) atuam seguindo equilíbrios químicos, a alteração em um fator ou compartimento irá apresentar reflexos em outro até que se estabeleça um novo equilíbrio (LARSEN, 1967).

Com a aplicação de fertilizantes cuja solubilidade em água é elevada, obtém-se o rápido e acentuado aumento dos teores de P em solução, contudo, simultaneamente à absorção de P pelas plantas podem ocorrer os processos de adsorção de P na superfície dos minerais de argila, de precipitação como minerais secundários e de imobilização por microorganismos (SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980). A ação conjunta desses processos causa a diminuição dos teores de P em solução re-atingindo um novo equilíbrio. Porém, grande parte do P-lábil pode deixar de ser disponível para as plantas, passando para um terceiro compartimento denominado P-não lábil. A transformação de P-lábil para P-não lábil consiste em um dos principais fatores relacionados a baixa eficiência da adubação fosfatada (GONÇALVES et al., 1989).

Os dois principais processos relacionados à formação de P-não lábil é a adsorção específica e a precipitação. Wild 1950, em revisão sobre a retenção de P nos solos, apresentou resultados de vários pesquisadores sugerindo que minerais como carbonatos de cálcio e óxi-hidróxidos de Fe e Al apresentavam grande importância na retenção de P no solo e, relatando ainda, que o P aplicado formava compostos de baixa solubilidade com os cátions Ca, Fe e Al (precipitação), ou estava ligado a estes cátions na superfície dos minerais (adsorção específica).

Tanto a adsorção específica de P quanto a formação de compostos P-Fe e P-Al apresentam reversibilidade, sendo esta controlada pelo equilíbrio com o P em solução (fator I). Entretanto, com o tempo, a ligação entre o P e a superfície que o retém torna-se mais estável, fazendo com que esses ânions fosfatos não estejam mais em equilíbrio com o fator I, deixando então de serem disponíveis às plantas (BARROW, 1974; PARFITT, 1978).

Existem várias fontes minerais ou orgânicas de P disponíveis para o uso na agricultura. Mundialmente, os fosfatos totalmente acidulados (superfosfatos e fosfatos amoniados) constituem a principal fonte de P utilizada na produção agrícola (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004a). Em alternativa ao uso dos superfosfatos, pode-se ainda optar pela utilização direta dos fosfatos de rocha (FR), que corresponde a aplicação desses materiais “in natura”, sem tratamentos químicos. Tanto as fontes totalmente aciduladas quanto os fosfatos de rocha apresentam vantagens e desvantagens quanto à utilização. Por exemplo, se por um lado, a aplicação dos superfosfatos é facilitada por se tratarem de produtos granulados, por outro, a elevada solubilidade em água dessas fontes pode aumentar demasiadamente a concentração de  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  na solução do solo em um momento de baixa demanda pela planta, resultando assim, na

elevada perda de P por processos de adsorção específica e/ou formação de compostos de baixa solubilidade (precipitados).

A eficiência agronômica (EA) dos fosfatos de rocha, por sua vez, é dependente de vários fatores, tais como: (i) características químicas e físicas da rocha; (ii) propriedades do solo; (iii) clima e; (iv) cultura (CHIEN; MENON, 1995). Com isso, dependendo da origem e da reatividade da rocha, bem como, das condições de clima e de solo, a liberação de P pelo FR pode ser suficientemente adequada ou não, em relação a demanda da cultura.

Estudos relacionados à avaliação agronômica de fontes alternativas de P vêm sendo realizados desde a década de 50. Joos e Black (1950) avaliaram a EA de um FR e verificaram que tanto o pH quanto o tamanho de partículas influenciaram a EA dessa fonte. Naquela época os autores já sugeriram que os superfosfatos poderiam ser efetivamente utilizados independentemente da natureza e das propriedades do solo, ao passo que, para os fosfatos naturais eles não poderiam extrapolar tais conclusões, tendo em vista que os FRs apresentavam melhores resultados em solos ácidos do que em solos neutros ou alcalinos. Ellis Jr., Quader e Truog (1955) também relataram a influência de baixos valores de pH na dissolução do FR e sugeriram que o mesmo fosse aplicado em torno de um mês antes da calagem, possibilitando a dissolução do P proveniente do fertilizante. Isso levaria a formação de compostos de P-Fe que, posteriormente, com a elevação do pH seriam novamente disponibilizados para as plantas.

A partir de meados da década de 70, com a elevação dos preços dos insumos agrícolas, dentre eles, os fertilizantes fosfatados, acentuaram-se os estudos por fontes alternativas de P que apresentassem eficiência semelhante ou até superior aos fosfatos acidulados e com menor custo (HAMMOND; CHIEN; MOKWUNYE, 1986b). Alguns desses estudos foram conduzidos para avaliar a EA da aplicação direta dos fosfatos naturais existentes em jazidas dos países em desenvolvimento (KHASAWNEH; DOLL, 1978; KUCEY; BOLE, 1984; HAMMOND; CHIEN; EASTERWOOD, 1986a; HAMMOND; CHIEN; MOKWUNYE, 1986b; LÉON; FENSTER; HAMMOND, 1986; CHIEN; HAMMOND; LÉON, 1987a), visto que, nesses países a grande maioria dos agricultores não possuía capital suficiente para utilizar os fosfatos acidulados.

Outra alternativa desenvolvida e testada naquela época foi a produção dos Fosfatos Parcialmente Acidulados (FPA) obtidos por meio da adição de quantidade menor do que a estequiometricamente requerida para a completa reação. Novais e Smyth (1999) citam que teoricamente os FPAs são produtos que teriam a capacidade de suprir a demanda inicial da planta

(parte acidulada) e apresentando ainda uma liberação lenta do restante que não foi acidulado. Dessa forma, a cinética de liberação de P pelos fertilizantes estaria em maior sincronia com a cinética de absorção e acúmulo de P pelas plantas.

No entanto, os resultados obtidos com a utilização dos FPAs foram muito contraditórios, uma vez que, em algumas condições essas fontes apresentaram EAR equivalentes ou até superiores a dos superfosfatos (McLEAN; LOGAN, 1970; MOKWUNYE; CHIEN, 1980; HAMMOND; CHIEN; MOKWUNYE, 1986b; REIN et al., 1988), porém, em outros trabalhos os FPAs apresentaram EAR muito baixas (HAMMOND; CHIEN; POLO, 1980; GOEDERT; REIN; SOUSA, 1988; BATIONO et al., 1990). Dessa forma, a eficiência agrônômica dos FPAs, além das propriedades do solo, também é dependente da natureza da rocha fosfática (NOVAIS; SMYTH, 1999), tipo de ácido utilizado no processo (RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996) e da natureza física do produto final (granulado ou pó) entre outros fatores, que levaram a obtenção de resultados agrônômicos controversos e, conseqüentemente, a pequena adoção por parte dos produtores.

Apesar de não haver consenso na literatura em relação à utilização agrônômica dos FPAs, a teoria envolvida na concepção dessa fonte de P é tida como uma forma interessante de aumentar a EA da adubação fosfatada, por possibilitar melhor sincronia entre a demanda da planta e a dissolução da fonte. Nesse sentido, a produção de fertilizantes a partir da mistura do fosfato acidulado (ainda em pó) com o FR poderia, em tese, apresentar cinética de liberação de P semelhante à de acúmulo pelas plantas, todavia, sem os problemas resultantes da acidulação parcial, podendo resultar em EA similar ou até superior aos fosfatos acidulados.

Dessa forma, foram conduzidos estudos no Brasil e no exterior com o intuito de avaliar a EA de fontes obtidas a partir da mistura de FR com fosfatos acidulados, bem como, obter a proporção ideal entre a fração solúvel e a fração não-solúvel de P que resultasse em maiores valores de EA nos cultivos com a aplicação do fertilizante e, também, nos cultivos sob efeito residual.

Chien et al. (1987b) avaliaram a EA do superfosfato triplo (TSP, da denominação em inglês Triple SuperPhosphate) e do fosfato de rocha da Carolina do Norte (FR com alta reatividade) para a cultura do milho em casa de vegetação. Os autores observaram que a EA da mistura entre o TSP e o FR foi maior do que a EA dessas fontes aplicadas de forma isolada, quando a proporção entre o TSP e o FR foi de 1:1 ou 1:2, demonstrando a existência de um efeito

sinérgico quando essas fontes são aplicadas conjuntamente. Dentre as prováveis explicações para esse resultado, pode-se citar a ação da dissolução do fosfato monocálcico, que compõe a fração solúvel da mistura, auxiliando a dissolução da fração não-solúvel por meio da formação de  $H_3PO_4$ ; e o estímulo ao crescimento inicial do sistema radicular das plantas pela presença do P solúvel em água (priming effect).

Nachtigall et al. (1989), também avaliaram a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) de fontes de P obtidas com a mistura em cinco proporções de TSP e de fosfato de rocha Jacupiranga (FR baixa reatividade) para a cultura do milho em casa de vegetação. Os autores verificaram que a EAR das misturas foi muito menor do que a do padrão, variando entre 9 e 46 % quando as misturas foram granuladas e aplicadas conjuntamente, e entre 4 e 68 % quando as misturas foram aplicadas separadamente. Ou seja, de forma contrária ao observado por Chien et al. (1987b), os autores concluíram que a presença da fração de P solúvel em água não resultou em um maior aproveitamento da fração não-solúvel, proveniente do fosfato de rocha, visto que, o aumento na EAR era diretamente proporcional ao aumento da proporção de TSP na mistura.

Por outro lado, Menon, Chien e Gadalla (1991) avaliaram a EAR de dois fosfatos de rocha com reatividade moderada à baixa (Huila, da Colômbia e Capinota, da Bolívia), aplicados isoladamente ou em mistura compactada com TSP na proporção 1:1 e, obtiveram valores de EAR semelhantes ao padrão (TSP), não havendo, em alguns casos, diferença estatística entre estas fontes. Chien, Menon e Billingham (1996) também encontraram diferença estatística entre a aplicação de FR (originário da Flórida, EUA), isolada e em mistura com o TSP, para as culturas do milho e do feijão caupi, sendo que, no caso do feijão caupi a aplicação das fontes misturadas apresentou EAR estatisticamente igual à do padrão (TSP). Os autores também quantificaram, por meio de radioisótopo ( $^{32}P$ ), a porcentagem do P acumulado que foi oriundo do FR (isolado ou em mistura com TSP) e verificaram que na presença da fração de P solúvel em água, a quantidade acumulada de P proveniente do FR pelo milho e pelo feijão caupi foi, respectivamente, 165 e 72 % superior à acumulada com o FR quando aplicado isoladamente.

Prochnow et al. (2004b) avaliaram a EAR do FR Patos de Minas (rocha de baixa reatividade), aplicado isoladamente na forma farelada ou em misturas com superfosfato simples (SSP, da denominação em inglês Simple SuperPhosphate), na relação 1:1, tanto na forma granulada (compactada) quanto em pó. Eles verificaram que a EAR do FR aplicado conjuntamente com o SSP foi estatisticamente equivalente a utilização isolada do SSP, quando a

mistura foi granulada, ao passo que, a utilização isolada do FR apresentou EAR de 1 e 30 % , respectivamente, para o cultivo do trigo e do azevém (“ryegrass”). A partir das equações de regressão, os autores estimaram a eficiência relativa do FR quando na presença do SSP ( $ER_{FR}$ ) verificando que no caso da variável matéria seca, a  $ER_{FR}$  foi de 82 e 95 % , respectivamente para o azevém e para o trigo. Demonstrou-se assim que a presença de PSA na fonte pode levar ao maior aproveitamento pela planta da fração não solúvel de P

Esses trabalhos indicam que a aplicação conjunta dos fosfatos de rocha, reativos ou não, com uma fonte de elevada solubilidade em água, na grande maioria das vezes pode apresentar EA equivalente à dos superfosfatos. No entanto, ainda são escassas as informações sobre a eficiência dessa prática para as condições brasileiras, em estudos de campo, considerando aspectos fundamentais que influenciam na EA da adubação fosfatada, dentre eles, o efeito imediato e o efeito residual da aplicação, a localização, a natureza física do fertilizante e o pH do solo.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo central avaliar a eficiência agrônômica de fontes de P, aplicadas isoladamente ou em misturas de fertilizantes acidulados com FR, para a cultura da soja nos Estados do Maranhão e São Paulo. Podem-se destacar, ainda, alguns objetivos secundários, tais como, verificar qual é a melhor proporção entre a fração solúvel e a fração não-solúvel e avaliar o efeito residual da adubação fosfatada em função da forma de aplicação das fontes e da solubilidade das mesmas.

## Referências

- BARROW, N.J. Effect of previous additions of phosphate on phosphate adsorption by soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 118, p. 82-89, 1974.
- BATIONO, A.; CHIEN, S.H.; HENAO, J.; CHRISTIANSON, C.B.; MOKWUNYE, A.U. Agronomic evaluation of two unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to Niger. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 54, p. 1772-1777, 1990.
- CATHCART, J.B. World phosphate reserves and resources. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy. 1980, p. 1-18.
- CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, p. 227-234, 1995.

- CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L.; LÉON, L.A. Long-term reactions of phosphate rocks with an oxisol in Colombia. **Soil Science**, Philadelphia, v. 144, p. 257-265, 1987a.
- CHIEN, S.H.; MENON, R.G.; BILLINGHAM, K.S.; Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 60, p. 1173-1177, 1996.
- CHIEN, S.H.; ADAMS, F.; KHASAWNEH, F.E.; HENAO, J. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 51, p. 1656-1658, 1987b.
- ELLIS JR., R.; QUADER, M.A.; TRUOG, E. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. **Soil Science Society of American Proceedings**, Morgantown, v. 19, p. 484-487, 1955.
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Eficiência agronômica de um fosfato parcialmente acidulado em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 179-183, 1988.
- GONÇALVES, J.L. M.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; RIBEIRO, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 13-24, 1989.
- HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; POLO, J.R. Phosphorus availability from partial acidulation of two phosphate rocks. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 1, p. 37-49, 1980.
- HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; EASTERWOOD, G.W. Agronomic effectiveness of Bayovar phosphate rock in soil induced phosphorus retention. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 50, p. 601-1606, 1986a.
- HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; MOKWUNYE, A.U. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 40, p. 89-140, 1986b.
- HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, p. 173-195, 2001.
- JOOS, L.L.; BLACK, C.A. Availability of Phosphate Rock as affected by particle size and contact with bentonite and soil of different pH value. **Soil Science Society of American Proceedings**, Morgantown, v. 15, p. 69-75, 1950.
- KHASAWNEH; F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 159-207, 1978.

KUCEY, R.M.N.; BOLE, J. B. Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by  $^{32}\text{P}$  dilution, A value, and total P uptake methods. **Soil Science**, Philadelphia, v. 138, p. 180-188, 1984.

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 151-210, 1967.

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, p. 798-802, 1986.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.

McLEAN, E.O.; LOGAN, T.J. Sources of phosphorus for plant growth in soils with different phosphorus fixation tendencies. **Soil Science Society of American Proceedings**, Morgantown, v. 34, p. 907-911, 1970.

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

MENON, R.G.; CHIEN, S.H.; GADALLA, A N. Phosphate rock compacted with superphosphates vs. partially acidulated rocks for bean and rice. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 1480-1484, 1991.

MOKWUNYE, A.U.; CHIEN, S.H. Reactions of partially acidulated phosphate rock with soils from the tropics. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, p. 477-482, 1980.

NACHTIGALL, G.R.; BRAUNER, J.L.; ZOLEZZI, M.; TAPIA, F. Mistura de superfosfato triplo com fosfato de Jacupiranga no mesmo grânulo na eficiência do fosfato natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 269-273, 1989.

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

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soils materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-50, 1978.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agrônômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS. 2004a. p. 605-663.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; CARMONA, G.; HENAO, J. Greenhouse evaluation of phosphorus sources produced from a low-reactive brazilian phosphate rock. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p.761-768, 2004b.

PROCHNOW; L.I.; COOPER, M; CAIRES, E.F.; BENEDITO, D.; MAZZA, J.A. Fertilidade dos solos dos planaltos interiores do estado de São Paulo e norte do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 30, 2005, Recife. UFRPE, SBCS, 2005. CD ROM.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 77-159, 1996.

REIN, T.A.; FEITOSA, C.T.; GOEDERT, W.J.; RAIJ, B. van; SOUSA, D.M.G.; ALBUQUERQUE, P.C.W.; COSTA, F.G.M. Avaliação agrônômica do concentrado fosfático de Patos de Minas tratado com bissulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 171-177, 1988.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison, American Society of Agronomy. 1980. p. 263-310.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Lancaster, v. 157, p. 423-447, 2003.

WILD, A. The retention of phosphate by soil. A review. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.14, p. 221-238, 1950.

## 2 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO FOSFATO DE ROCHA, QUANDO UTILIZADO ISOLADAMENTE OU ASSOCIADO AO SUPERFOSFATO TRIPLO, PARA A CULTURA DA SOJA NO SUL DO ESTADO DO MARANHÃO

### Resumo

O cultivo de soja na região de Balsas, Sul do Estado do Maranhão, teve início na década de 70 e conta atualmente com 385.000 ha. Uma das vantagens dessa região, em relação aos Estados do Centro-Oeste, é a possibilidade de escoamento da safra pelo porto de Itaqui, localizado em São Luiz – MA. Além disso, predominam solos sob vegetação de cerrado que apresentam elevada aptidão agrícola e as condições climáticas são favoráveis ao cultivo da soja. Os trabalhos relacionados à adubação fosfatada em solos de cerrado foram, em sua maioria, conduzidos na região Centro-Oeste. Poucos estudos foram conduzidos na região de Balsas, estando relacionados principalmente à curvas de resposta utilizando somente fontes aciduladas. Dessa forma, foi realizado um trabalho com o objetivo principal de avaliar a eficiência agronômica relativa (EAR), imediata e residual, de fontes de P. O experimento foi instalado em área pertencente à Agropecuária Serra Grande (Fazenda Agro Serra), município de São Raimundo das Mangabeiras, MA. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), apresentando textura argilosa ( $510 \text{ g kg}^{-1}$ ) e teor de P disponível (resina) de  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ . Os tratamentos foram definidos com três objetivos específicos: i. verificar a resposta da cultura da soja à aplicação em área total e localizada de doses de P, testando-se uma fonte padrão (Superfosfato Triplo – TSP) e um fosfato de rocha com elevada reatividade (FR Arad); ii. verificar a resposta da cultura à aplicação do FR em área total, em associação com a aplicação localizada da fonte solúvel (TSP) e; iii. verificar a resposta da cultura à aplicação, a lanço e no sulco, de uma dose específica de P, sendo esta quantidade fornecida a partir de três proporções entre o TSP e o FR. O experimento foi instalado em Outubro de 2004 e conduzido com soja (cv. BRS-Sambaíba) por três safras (2004/05 a 2006/07), sendo que a terceira foi conduzida sob efeito residual das aplicações anteriores. De forma geral, não foram observadas diferenças quanto a localização da fonte padrão (TSP), ao passo que, para o FR a localização reduziu significativamente a eficiência. Quando aplicado a lanço, o FR resultou em aproximadamente 80 % de EAR, demonstrando boa viabilidade agronômica. A utilização associada das fontes foi uma prática interessante, pois, em várias condições obtiveram-se produtividades no mínimo semelhantes à verificada com a fonte solúvel e, em alguns casos, utilizando menores quantidades de P. Além disso, o FR quando associado à menor dose da fonte solúvel contribuiu com 30-40 % do valor final de produtividade. A resposta para as fontes utilizadas na forma de misturas foi linear quando aplicada localizadamente, entretanto, com a aplicação a lanço, não ocorreu aumento substancial de produtividade a partir de 50 % de solubilidade relativa das misturas. Dessa forma, associar a utilização de fontes com solubilidade distintas pode caracterizar-se como alternativa agronomicamente viável para o manejo da adubação fosfatada para a soja.

Palavras-chave: Fósforo; Solubilidade de fontes; Glycine max; Solos sob Cerrados;

## **Agronomic effectiveness of phosphate rock, by itself or associate with triple superphosphate, for soybean in South region of Maranhão State, Brazil**

### **Abstract**

Soybean cultivation in Balsas, south of Maranhão (MA) State, started in the 70's and at that time covered an approximately area of 385,000 ha. One advantage of this region as opposed to the Central West States of Brazil, is the possibility of exporting the harvest by Itaqui Harbor, located in São Luiz – MA. Additionally, most soils there are under “cerrado” vegetation, which holds good physical characteristics, as well as good weather conditions for soybean cultivation. Most at the work related to phosphate fertilization in “cerrado” soils were carried out in the Central West Region. Few studies were carried out in Maranhão State which were basically related to response curves and using mainly acidulated P sources. Because of this fact, a study was carried out aiming to evaluate the immediate and residual Relative Agronomic Effectiveness (RAE) of alternative P sources. The experiment was carried out in an area located in south region of Maranhão State. The soil is classified as Typic Hapludox, clayey texture ( $510 \text{ g kg}^{-1}$ ) and available P (resin) of  $2 \text{ mg dm}^{-3}$ . The treatments were defined according to three specific objectives: i. to evaluate the crop response to the application of broadcasted and banded P rates, testing a standard source (Triple Superphosphate - TSP) and Arad Phosphate Rock (PR); ii: to evaluate crop response to broadcasted-PR plus banded-TSP and; iii: to evaluate the crop response in one P rate, with sources applied in three proportions of TSP and PR. The experiment was carried out in October 2004 with soybean (cv. BRS-Sambaíba) with three consecutive harvests (2004/05 to 2006/07). The third harvest was carried out on residual effect of the previous applications. In general, it was not observed any differences related to the localization of the standard source (TSP). In contrast, to PR, the localization reduced the RAE significantly. Broadcasted-PR resulted in approximately 80% of RAE, showing good agronomic viability. In many situations, the associate use of TSP and PR resulted in similar yields as observed with the use of water soluble P source, and in some cases, even when applying lower P rates. When associated to lower rate of banded-TSP, the residual effect of broadcasted-PR contributed with 30-40% of the final yield. The results of the use of mixed P sources were linear when it was banded, however, when it was broadcasted, there was no significant yield increase from 50% of relative solubility. It was concluded that, associating the use of P sources with different solubility may be a feasible agronomic alternative to manage P fertilizers for soybean.

Keywords: Phosphorus; P sources solubility; Glycine max; “Cerrado” soils.

### **2.1 Introdução**

A soja vem sendo cultivada no Brasil desde a década de 50, no entanto, a partir de meados da década de 70, com a obtenção de cultivares adaptados às baixas latitudes, deu-se início à expansão da fronteira agrícola para a região central do Brasil. Nessas áreas predominam solos

com baixa fertilidade química, mas, com relevo e condições climáticas extremamente adequadas ao cultivo. Toda essa região é comumente denominada de “Cerrados” e, constituem aproximadamente 25 % da área total do Brasil.

Embora em pequena escala, o cultivo de soja na região de Balsas, sul do estado do Maranhão, também teve início durante a década de 70. Na safra 2006/07 a área cultivada com soja neste estado foi de 384.400 ha, com produtividade média de 2.820 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2007). Uma das vantagens dessa região, em relação aos estados do Centro-Oeste, é a possibilidade de escoamento da safra pelo porto de Itaqui, localizado em São Luiz – MA. Além disso, encontram-se também solos com aptidão agrícola e condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento das plantas.

A grande maioria dos solos sob cerrado são Latossolos. No entanto, também são encontradas áreas significativas de Neossolos (Quartzarênicos, principalmente) e de Argissolos. A mineralogia da fração argila é composta principalmente por Caulinita e por Óxidos de Ferro e de Alumínio. Quanto aos atributos químicos, sabe-se que, em geral, esses solos se caracterizam por apresentar baixos valores de pH, de CTC e baixos teores de nutrientes, além de elevada capacidade de fixação de P (no caso dos argilosos) e altos teores de Al trocável (LEAL; VELLOSO, 1973). Sabe-se, também, que o principal nutriente limitante à produção nessas áreas é o fósforo. Lopes e Cox (1977) verificaram em levantamento de caracterização dos solos sob cerrado que em 92 % das amostras coletadas o teor disponível de P (Mehlich-1) foi inferior a 2 mg dm<sup>-3</sup>. Sousa, Lobato e Rein (2002), por sua vez, relatam a existência de resposta à aplicação de P, até a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, evidenciando também, a baixa disponibilidade desse nutriente.

Os principais processos que governam a aquisição de P pelas plantas são: (i) dissolução/precipitação; (ii) adsorção/dessorção; (iii) difusão; (iv) contato solo/raiz e; (v) transformações devidas à atividade biológica (HORST et al., 2001). Nesse sentido, ainda são raros os estudos que tenham como objetivos manejar a adubação fosfatada, por meio da utilização de fontes com solubilidades distintas, visando aumentar a recuperação, pelas plantas, do P aplicado.

Os estudos com fósforo, em condições de campo e em solos de cerrado, foram conduzidos, em sua grande maioria, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (BRAGA et al., 1980; GOEDERT; LOBATO, 1980; BRAGA et al., 1991; COUTINHO et al., 1991; MOTOMIYA et

al., 2004; RESENDE et al., 2006). No entanto, ainda são poucos os trabalhos relacionados à adubação fosfatada na região de Balsas e, quando existentes, eles estão relacionados principalmente a curvas de resposta utilizando fontes totalmente aciduladas, tais como o SSP ou o TSP (SFREDO et al., 1996), ou relacionados, à interação entre nutrientes, por exemplo, P e K (SFREDO; PALUDZYSZYN FILHO; GOMES, 1994).

Dessa forma, o trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência agrônômica, imediata e residual, de fontes de P, quando utilizadas isoladamente ou associadas, e ainda, quando aplicadas localizadamente ou em área total;

## **2.2 Desenvolvimento**

### **2.2.1 Material e Métodos**

#### **2.2.1.1 Descrição do experimento**

O experimento foi instalado em área pertencente à Agropecuária Serra Grande (Fazenda Agro Serra), município de São Raimundo das Mangabeiras, MA, situado a 6° 46' 08'' de latitude sul e 45° 45' 50'' de longitude oeste (Figura 1, Apêndice A). O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), com textura argilosa (510 g kg<sup>-1</sup>), teor de P disponível de 2 mg dm<sup>-3</sup> (Resina) e capacidade máxima de fixação de P (isoterma de Langmuir) de 0,776 mg g<sup>-1</sup> (Figura 2, Apêndice A). Na Tabela 2.1, estão apresentados os resultados da caracterização física e química da área. As determinações químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Raij et al., (2001) e as determinações físicas de acordo com os procedimentos descritos em EMBRAPA, (1997).

A área foi “aberta” em 2000/01 e, em outubro de 2001 foi realizada a calagem, aplicando-se 8 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT = 70 %), dose esta, suficiente para elevar o pH em água para 5,5 aproximadamente e a saturação por bases para 60 %. Após a calagem a área permaneceu em “pousio” até a instalação do experimento em outubro de 2004.

Foram realizados três cultivos consecutivos de soja, em sistema convencional, nos anos agrícolas (safras) 2004/05, 2005/06 e 2006/07, utilizando o cultivar BRS-Sambaíba. A área total das parcelas foi de 72 m<sup>2</sup> (6 m x 12 m) cultivando-se 15 linhas de soja espaçadas em 0,40 m. A área útil das parcelas, por sua vez, foi de 12 m<sup>2</sup> (2,4 m x 5 m).

Tabela 2.1 - Caracterização física e química da área<sup>1</sup>

Prof.	Argila	Silte	Areia	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	C.O. <sup>2</sup>	P	S	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	m
cm	g kg <sup>-1</sup>				g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						— % —	
0-20	510	40	450	3,8	20	2	5	0,3	4	1	15	98	5,3	103,3	5	74

<sup>1</sup> Amostragem realizada em área remanescente de Cerrado, localizada imediatamente ao lado do experimento;

<sup>2</sup> C.O.: Carbono orgânico

Os tratamentos do estudo estão descritos na Tabela 2.2. A definição dos tratamentos foi realizada buscando-se três objetivos específicos: i. verificar a resposta da cultura da soja à aplicação em área total e localizada de doses de P, testando-se uma fonte padrão (Superfosfato Triplo – TSP<sup>1</sup>) e um fosfato de rocha com elevada reatividade (FR Arad); ii. verificar a resposta da cultura à aplicação do FR em área total, em associação com a aplicação localizada da fonte solúvel (TSP) e; iii. verificar a resposta da cultura à aplicação, a lanço e no sulco de semeadura, de uma dose específica de P, sendo esta quantidade fornecida a partir de três proporções entre o TSP e o FR, denominadas como “misturas<sup>2</sup>”.

Na Tabela 2.2, pode-se observar que nos dois primeiros cultivos foi realizada a aplicação das fontes de acordo com as respectivas doses, ao passo que, no terceiro cultivo foi avaliado o efeito residual das aplicações anteriores. Sabendo-se que, para fins de cálculo do efeito residual, é necessário haver a aplicação do nutriente dentro do ano de estudo (PIMENTEL GOMES e CONAGIN, 1991), foi realizada a reaplicação da curva de resposta a P, na forma de TSP à lanço, subdividindo-se as respectivas parcelas. O delineamento experimental utilizado foi blocos completamente casualizados, com três repetições.

É importante ressaltar que, em todos os tratamentos, a quantidade aplicada de TSP foi calculada com base no teor solúvel em CNA+Água, enquanto a quantidade de FR foi determinada a partir do teor total da fonte. A caracterização química das fontes está apresentada na Tabela 2.3. O TSP utilizado consistia num produto granulado, ao passo que, o FR estava na forma farelada. Na aplicação a lanço, os fertilizantes foram distribuídos manualmente na área total da parcela, sendo incorporados ao solo a uma profundidade média de 20 cm, por meio de gradagem (discos com 32” de diâmetro) no sentido da semeadura. A aplicação localizada (sulco)

<sup>1</sup> TSP, sigla derivada do nome desta fonte em inglês, ou seja, Triple SuperPhosphate;

<sup>2</sup> Muito embora as três proporções entre TSP e FR não se caracterizem como uma mistura propriamente dita, pois, o TSP foi aplicado na forma granulada e o FR na forma farelada, este termo será utilizado (entre aspas) durante o decorrer do texto para referir à aplicação de uma dose fixa de P, sendo esta quantidade fornecida em diferentes proporções de ambas as fontes;

também foi realizada manualmente, distribuindo homogeneamente o fertilizante no fundo dos sulcos de semeadura.

Tabela 2.2 - Descrição dos tratamentos

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Doses <sup>2</sup> de Fósforo			
			2004/05	2005/06	2006/07	Total
			kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
1	—	—	0	0	0	0
2	TSP	Lanço	100	100	0; 100 <sup>3</sup>	200; 300
3	TSP	Lanço	200	200	0; 200	400; 600
4	TSP	Lanço	400	400	0; 400	800; 1200
5	FR	Lanço	100	100	0	200
6	FR	Lanço	200	200	0	400
7	FR	Lanço	400	400	0	800
8	TSP	Sulco	50	50	0	100
9	TSP	Sulco	100	100	0	300
10	TSP	Sulco	200	200	0	400
11	TSP	Sulco	400	400	0	800
12	FR	Sulco	100	100	0	200
13	FR	Sulco	200	200	0	400
14	FR	Sulco	400	400	0	800
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	100+100	0+100	0	300
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	100+200	0+200	0	500
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	200+100	0+100	0	400
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	200+200	0+200	0	600
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	400+100	0+100	0	600
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	400+200	0+200	0	800
21	FR:TSP	Lanço	50+150	50+150	0	400
22	FR:TSP	Lanço	100+100	100+100	0	400
23	FR:TSP	Lanço	150+50	150+50	0	400
24	FR:TSP	Sulco	50+150	50+150	0	400
25	FR:TSP	Sulco	100+100	100+100	0	400
26	FR:TSP	Sulco	150+50	150+50	0	400

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> As quantidades de P aplicadas nas parcelas foram calculadas com base no teor solúvel em CNA+Água, para o TSP e, no caso do FR, com base no teor total;

<sup>3</sup> Tratamentos em que as parcelas foram subdivididas para possibilitar o cálculo do efeito residual das fontes;

As doses de potássio, de enxofre e dos micronutrientes utilizadas, bem como a data de semeadura em cada safra, estão apresentadas na Tabela 2.4. O enxofre e os micronutrientes foram aplicados somente no primeiro ano de cultivo, sendo estas doses, suficientes para manutenção da adequada da disponibilidade nos cultivos seguintes (EMBRAPA, 2003; OLIVEIRA JUNIOR, 2003). Foram distribuídas cerca de 25-30 sementes por metro linear de sulco, com posterior desbaste para 10 plantas por metro. As sementes foram tratadas com inoculantes, fungicidas e inseticidas de acordo com a recomendação técnica oficial para a cultura da soja, além disso, quando necessário, os procedimentos de controle de plantas daninhas, pragas e doenças também foram realizados utilizando produtos apropriados e oficialmente recomendados em EMBRAPA, (2003).

Tabela 2.3 - Teores de fósforo total, solúvel em água, em solução de citrato neutro de amônio (CNA+Água) e em ácido cítrico a 2 %

Fontes de P <sup>VI</sup>	Teor de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			
	Total	Água	CNA+Água	Ác. Cítrico 2 %
	%			
TSP	44,1	39,9	41,5	42,8
FR	33,3	0,2	6,0	13,6

<sup>VI</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad);

O regime pluviométrico durante a condução das três safras foi suficientemente adequado para o desenvolvimento das plantas (Figura 2.1), sendo que, os valores acumulados entre dezembro e junho variaram entre 800 e 1500 mm, dependendo da safra. Apesar dessa variação no valor acumulado, a distribuição dentro de cada mês foi uniforme, não sendo observados períodos de estiagem que pudessem comprometer os resultados.

Tabela 2.4 - Datas de semeadura e adubações dos três cultivos de soja

Safra	Data de Semeadura	Adubação de Semeadura <sup>(1)</sup>							
		K <sub>2</sub> O	S	Zn	Mn	Cu	B	Mo	Co
		kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>	
2004/05	19/12/2004	100	150	5	5	5	2,5	150	15
2005/06	17/12/2005	80	0	0	0	0	0	0	0
2006/07	11/12/2006	80	0	0	0	0	0	0	0

<sup>(1)</sup> K<sub>2</sub>O: cloreto de potássio; S: enxofre elementar; Zn, Mn, Cu e Co: Sulfatos; B: ácido bórico e; Mo: molibdato de sódio;

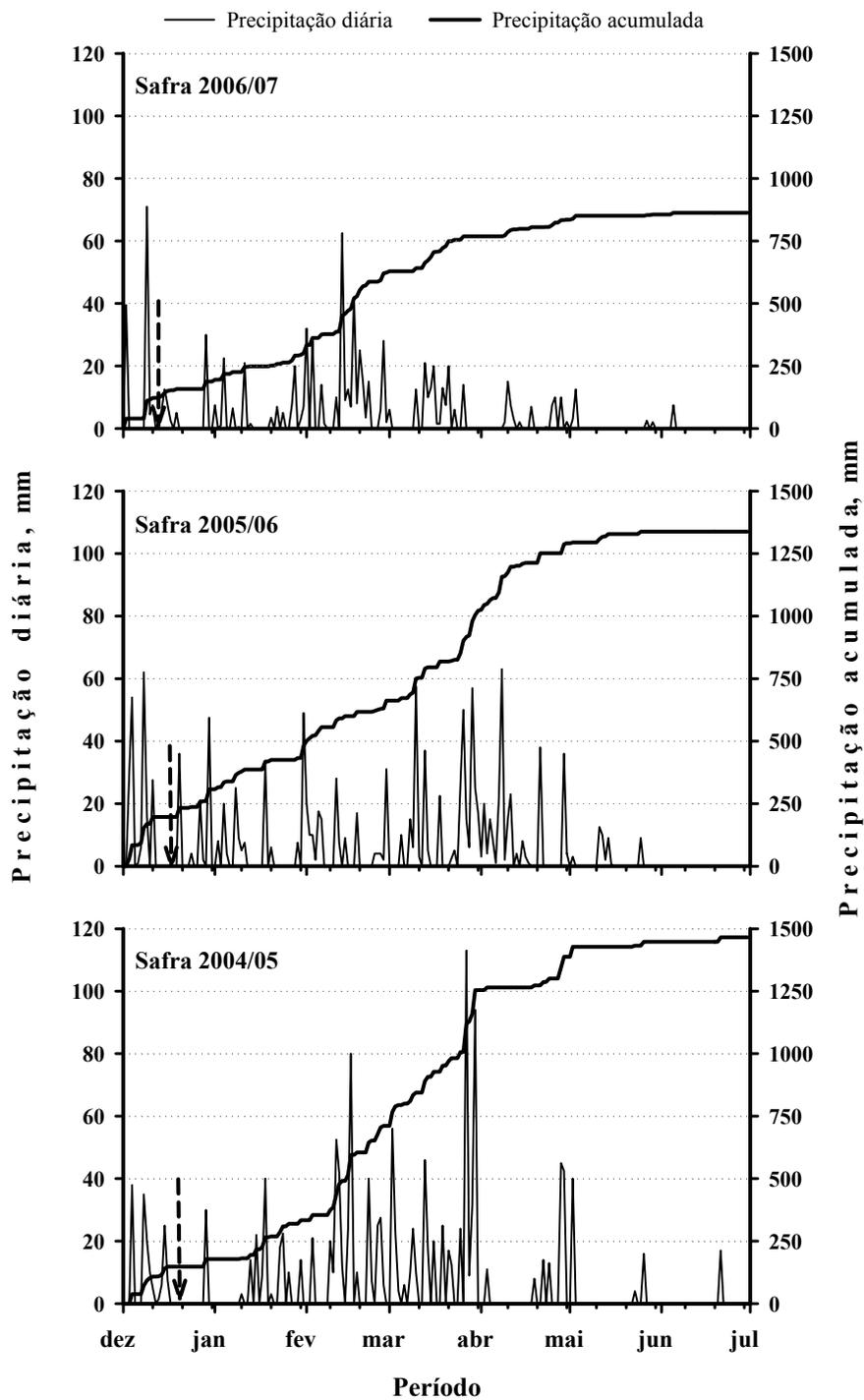


Figura 2.1 – Dados pluviométricos referentes às três safras em que o experimento foi conduzido. (As setas indicam a data de semeadura)

No primeiro cultivo (safra 2004/05), foi avaliada a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), coletando-se 15 plantas na área útil das parcelas, cortando-as rente à superfície do

solo, no estágio fenológico R<sub>2</sub> (florescimento pleno). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir massa constante, procedendo-se então a pesagem, em balança analítica com exatidão de 0,01 g, e a moagem das mesmas em moinho tipo Willey. O P das amostras foi extraído via digestão nítrico-perclórica, sendo a dosagem realizada por meio do método colorimétrico do metavanadato, seguindo os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A partir das informações de MSPA e teor de P na MSPA foi possível calcular o conteúdo de P na MSPA (P acumulado).

Para avaliar a produtividade de grãos, colheram-se seis linhas de soja com cinco metros de comprimento cada. Nas parcelas que foram divididas, colheram-se três linhas, também com cinco metros de comprimento. As amostras de grãos foram acondicionadas em sacos de pano, procedendo-se posteriormente a pesagem e a determinação da umidade dos grãos. Durante a pesagem, retirou-se uma sub-amostra para analisar o teor de P nos grãos, seguindo os mesmos procedimentos descritos para determinação dos teores de P na MSPA.

A amostragem de solo foi realizada após a colheita da soja retirando-se, de forma separada, amostras de terra na linha e na entre-linha da cultura, ambas coletadas na profundidade de 0 a 20 cm. As amostras foram secas ao ar, moídas e peneiradas a 2 mm (TFSA). Determinaram-se, então, os teores disponíveis de P por dois métodos de análise: i. resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001) e; ii. Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999).

### **2.2.1.2 Análise dos dados**

A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o pacote estatístico “Statistical Analysis System” - SAS® (SAS INSTITUTE, 1985), o SigmaPlot® versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2006) e o TableCurve 3D® versão 4.0 (SYSTAT SOFTWARE Inc, 2002). O primeiro foi utilizado para as análises de variância (ANOVA), correlações, contrastes ortogonais e regressões múltiplas com variáveis “dummy”. Os demais foram utilizados conjuntamente para as análises de regressão simples e múltiplas (superfícies de resposta). A descrição das análises será realizada separadamente para as condições em que as fontes foram aplicadas de forma isolada e para as condições em que houve utilização conjunta.

### ***Aplicação isolada das fontes***

Para calcular a Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes, preliminarmente foram ajustados modelos de regressão linear múltipla, usando variáveis “Dummy”, conforme descrito

em Prochnow et al., (2003). Esse método possibilita que o modelo ajustado apresente um intercepto ( $\beta_0$ ) comum a todas as fontes, ao passo que, os coeficientes angulares ( $\beta_1$ ) do modelo representam a resposta da planta, em função das doses de P, com uma fonte e em uma determinada forma de aplicação. Esse ajuste possibilita ainda que se obtenha um único valor de  $R^2$ , do desvio padrão da regressão, bem como do erro padrão dos estimadores do modelo de regressão.

Dessa forma, na análise de regressão relacionaram-se as variáveis dependentes (p.e. produtividade de grãos e P acumulado) em função das doses de P aplicadas na forma de FR (a lanço e no sulco) e, na forma de TSP (a lanço e no sulco), sendo a condição padrão de comparação representada pela aplicação localizada do TSP. Foram testados três modelos (linear, semi-raiz quadrático e logarítmico), optando-se por aquele que resultasse em melhor ajuste. A seguir a descrição genérica dos modelos testados:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i; X_i \geq 0$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^{0,5} + \epsilon_i; X_i \geq 0$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_i) + \epsilon_i; X_i \geq 1$$

em que:

$Y_i$ : é a variável dependente (produtividade de grãos, produção de matéria seca, P acumulado) obtidas com a aplicação da fonte  $i$ ;

$X_i$ : é a dose de P aplicada na forma da fonte  $i$ ;

$\beta_0$ : é o ponto comum de intercepção das regressões com o eixo Y e;

$\beta_1$ : é o coeficiente angular da regressão para a fonte  $i$ ;

$\epsilon_i$ : é o termo de erro para a regressão proposta.

A EAR foi obtida a partir da razão entre os valores dos  $\beta_1$ , ou seja, por meio da comparação vertical das fontes, tal como descrito por Chien, Sale e Friesen (1990). A fórmula genérica de cálculo da EAR está apresentada a seguir:

$$\text{EAR (\%)} = \frac{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}{\beta_{1 \text{ Fonte padrão}}} \times 100 \quad (1)$$

sendo:

$\beta_{1 \text{ Fonte } i}$ : é o coeficiente angular da fonte testada de P, p.e. o FR aplicado a lanço;

$\beta_{1 \text{ Fonte padrão}}$ : é o coeficiente angular da fonte padrão de P, nesse caso, o TSP aplicado no sulco de semeadura;

Sabendo-se que para 1 grau de liberdade (numerador),  $F_{\text{calculado}} = t^2$ , a comparação entre os coeficientes angulares foi realizada por meio do teste F, em que, o valor tabelado é obtido a partir do grau de liberdade do estimador (1) e do grau de liberdade do resíduo da regressão (G.L.Resíduo) e o valor calculado de F é resultante da seguinte equação:

$$t = \frac{\beta_{1 \text{ Fonte } i} - \beta_{1 \text{ Fonte } j}}{\sqrt{(EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}})^2 + (EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } j}})^2}} \quad \therefore F = t^2 \quad (2)$$

em que:

$\beta_{1 \text{ Fonte } i}$  : é o valor do coeficiente angular obtido com a aplicação da Fonte  $i$ ;

$\beta_{1 \text{ Fonte } j}$  : é o valor do coeficiente angular obtido com a aplicação da Fonte  $j$ ;

$EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}$  : é o erro padrão do estimador  $\beta_1$  da Fonte  $i$ ;

$EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } j}}$  : é o erro padrão do estimador  $\beta_1$  da Fonte  $j$ ;

Dessa forma, se o valor calculado de F for inferior ao valor tabelado (com um nível alpha de probabilidade, normalmente 0,05) têm-se que os estimadores da regressão são estatisticamente semelhantes. Consequentemente, as fontes apresentam EAR semelhantes, à 5 % probabilidade.

É importante ressaltar que durante as duas primeiras safras (2004/05 e 2005/06), o modelo de regressão foi ajustado em função de quatro parâmetros (TSP sulco, TSP lanço, FR sulco e FR lanço), sendo que o padrão de comparação foi o TSP no sulco. Em 2006/07, sob efeito residual, o modelo foi ajustado em função de cinco parâmetros, ou seja, além dos quatro anteriormente mencionados, houve um parâmetro adicional representado pela re-aplicação do TSP a lanço.

Especificamente para a safra 2006/07, a EAR também foi calculada isoladamente para cada dose de P, de acordo com a seguinte equação:

$$EAR (\%) = \frac{Y_{\text{Fonte } i} - Y_{\text{Testemunha}}}{Y_{\text{Fonte padrão}} - Y_{\text{Testemunha}}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

$Y_{\text{Fonte } i}$  : é a resposta obtida com a aplicação da Fonte<sub>i</sub>, em uma determinada dose;

$Y_{\text{Fonte padrão}}$  : é a resposta obtida com a aplicação da Fonte padrão de P (TSP lanço), em uma determinada dose;

$Y_{\text{Testemunha}}$  : é a resposta obtida sem a aplicação de P;

Esses valores de EAR foram relacionados, por meio de regressão linear simples, com as respectivas doses de P, permitindo melhor visualização da variação na EAR das fontes em função do efeito residual das doses de P, para cada fonte e forma de aplicação. Esse ajuste possibilitou interpolar a resposta, sob efeito residual, para outras doses dentro da amplitude utilizada (100 a 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

### ***Aplicação associada das fontes***

As informações geradas no primeiro cultivo (safra 2004/05) nos tratamentos com aplicação do FR a lanço em associação com a aplicação de TSP no sulco de semeadura foram avaliadas por meio de regressão múltipla, tendo como variáveis independentes do modelo, as doses de P fornecidas como FR aplicado a lanço e o TSP no sulco. Além disso, por meio de estudos de comparação horizontal, foi possível definir quais as combinações de doses de P que resultaram em um dado nível de produtividade (isolinhas).

No segundo cultivo (safra 2005/06), embora não tenha havido a aplicação do FR a lanço (Tabela 2.2), o modelo foi ajustado de forma análoga à safra anterior. Contudo, deve-se considerar durante a interpretação da equação múltipla, que uma variável independente representa a aplicação do FR em 2004/05 e a outra representa a aplicação anual de P (2004/05 e 2005/06), na forma de TSP no sulco. No terceiro cultivo, sob efeito residual para ambas as fontes, o modelo foi novamente ajustado em função das doses de P e, neste caso, deve-se considerar que uma variável independente representa a aplicação do FR em 2004/05 e, a outra, a aplicação do TSP em 2004/05 e em 2005/06. Os três modelos foram ajustados, tendo como variável resposta a produtividade de grãos. No caso da comparação vertical, foram indicadas para as três safras as isolinhas correspondentes aos valores de máxima eficiência física ( $\hat{Y}_{\text{máx}}$ ) e, para as duas primeiras safras, os valores referentes a 90 % da  $\hat{Y}_{\text{máx}}$  ( $0,9\hat{Y}_{\text{máx}}$ ).

O esquema em que os tratamentos foram arranjados possibilitou calcular a contribuição do FR no resultado final da produtividade, permitindo obter tanto o efeito imediato da aplicação do fosfato de rocha (EI<sub>FR</sub>) na presença ou não da fonte solúvel (safra 2004/05), quanto o efeito

residual do FR ( $ER_{FR}$ ) na presença da fonte solúvel (2005/06). Ou ainda, o  $ER_{FR}$ , quando a fonte solúvel também não foi aplicada (safra 2006/07). Assim sendo, os modelos genéricos onde se calculou a variação na resposta (Y) que foi devida ao FR ( $\Delta Y_{FR}$ ) estão descritos nas Tabelas 2.5 a 2.7. Com os dados de  $\Delta Y_{FR}$  foi possível, então, calcular a contribuição do FR, em percentagem, da seguinte maneira:

$$EI_{FR} (\%) \text{ ou } ER_{FR} (\%) = \left( \frac{\Delta Y_{FR}}{Y} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que:

$EI_{FR}$  ou  $ER_{FR}$ : é a contribuição do FR, expresso em percentagem, em relação ao valor final de Y

$\Delta Y_{FR}$ : é a variação na variável Y que é devida ao FR;

Y: corresponde ao valor da variável dependente ou resposta, obtida em um dado tratamento;

Tabela 2.5 - Modelo genérico utilizado no cálculo da variação na resposta (Y) devida ao FR ( $\Delta Y_{FR}$ ) em associação com a aplicação ou não de superfosfato triplo no sulco de semeadura

Doses de P no 1º cultivo		Y (1º cultivo)	$\Delta Y_{FR}$ <sup>1</sup>
FR <sub>(lanço)</sub>	TSP <sub>(sulco)</sub>		
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
0	0	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub> - Y <sub>1</sub>
0	100	Y <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>2</sub> - Y <sub>2</sub>
0	200	Y <sub>3</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>3</sub> - Y <sub>3</sub>
100	0	Y <sub>4</sub> <sup>3</sup>	Y <sub>4</sub> - Y <sub>1</sub>
100	100	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> - Y <sub>2</sub>
100	200	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub> - Y <sub>3</sub>
200	0	Y <sub>7</sub> <sup>3</sup>	Y <sub>7</sub> - Y <sub>1</sub>
200	100	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub> - Y <sub>2</sub>
200	200	Y <sub>9</sub>	Y <sub>9</sub> - Y <sub>3</sub>
400	0	Y <sub>10</sub> <sup>3</sup>	Y <sub>10</sub> - Y <sub>1</sub>
400	100	Y <sub>11</sub>	Y <sub>11</sub> - Y <sub>2</sub>
400	200	Y <sub>12</sub>	Y <sub>12</sub> - Y <sub>3</sub>

<sup>1</sup> Variação em Y devido à aplicação do FR;

<sup>2</sup> Tratamentos da curva de resposta (TSP sulco);

<sup>3</sup> Tratamentos da curva de resposta (FR lanço);

Tabela 2.6 - Modelo genérico utilizado no cálculo da variação na resposta (Y), no segundo cultivo, devida ao FR ( $\Delta Y_{FR}$ ), em associação com a aplicação de superfosfato triplo no sulco de semeadura

Doses de P no 1º cultivo		Doses de P no 2º cultivo		Y (2º cultivo)	$\Delta Y_{FR}^{11}$
FR <sub>(lanço)</sub>	TSP <sub>(sulco)</sub>	FR <sub>(lanço)</sub>	TSP <sub>(sulco)</sub>		
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
0	100	0	100	Y <sub>1</sub> <sup>12</sup>	Y <sub>1</sub> - Y <sub>1</sub>
0	200	0	200	Y <sub>2</sub> <sup>12</sup>	Y <sub>2</sub> - Y <sub>2</sub>
100	100	0	100	Y <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub> - Y <sub>1</sub>
100	200	0	200	Y <sub>4</sub>	Y <sub>4</sub> - Y <sub>2</sub>
200	100	0	100	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> - Y <sub>1</sub>
200	200	0	200	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub> - Y <sub>2</sub>
400	100	0	100	Y <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub> - Y <sub>1</sub>
400	200	0	200	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub> - Y <sub>2</sub>

<sup>11</sup> Variação em Y, no segundo cultivo, devido à aplicação do FR no primeiro cultivo;

<sup>12</sup> Tratamentos da curva de reposta (TSP sulco);

Tabela 2.7 - Modelo genérico utilizado no cálculo da variação na resposta (Y), no terceiro cultivo, devida ao FR ( $\Delta Y_{FR}$ ), em associação com a aplicação de superfosfato triplo no sulco de semeadura durante os dois primeiros cultivos

Doses de P 1º cultivo		Doses de P 2º cultivo		Doses de P 3º cultivo		Y (3º cultivo)	$\Delta Y_{FR+TSP}^{11}$	$\Delta Y_{FR}^{12}$
FR <sub>(lanço)</sub>	TSP	FR <sub>(lanço)</sub>	TSP	FR <sub>(lanço)</sub>	TSP			
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>								
0	100	0	100	0	100	Y <sub>1</sub> <sup>13</sup>	Y <sub>1</sub> -Y <sub>1</sub>	-----
0	200	0	200	0	200	Y <sub>2</sub> <sup>13</sup>	Y <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub>	-----
0	100	0	100	0	0	Y <sub>3</sub> <sup>14</sup>	Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub>	(Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub> )-(Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub> )
0	200	0	200	0	0	Y <sub>4</sub> <sup>14</sup>	Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub>	(Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> )-(Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> )
100	100	0	100	0	0	Y <sub>5</sub>	Y <sub>5</sub> -Y <sub>1</sub>	(Y <sub>5</sub> -Y <sub>1</sub> )-(Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub> )
100	200	0	200	0	0	Y <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub> -Y <sub>2</sub>	(Y <sub>6</sub> -Y <sub>2</sub> )-(Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> )
200	100	0	100	0	0	Y <sub>7</sub>	Y <sub>7</sub> -Y <sub>1</sub>	(Y <sub>7</sub> -Y <sub>1</sub> )-(Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub> )
200	200	0	200	0	0	Y <sub>8</sub>	Y <sub>8</sub> -Y <sub>2</sub>	(Y <sub>8</sub> -Y <sub>2</sub> )-(Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> )
400	100	0	100	0	0	Y <sub>9</sub>	Y <sub>9</sub> -Y <sub>1</sub>	(Y <sub>9</sub> -Y <sub>1</sub> )-(Y <sub>3</sub> -Y <sub>1</sub> )
400	200	0	200	0	0	Y <sub>10</sub>	Y <sub>10</sub> -Y <sub>2</sub>	(Y <sub>10</sub> -Y <sub>2</sub> )-(Y <sub>4</sub> -Y <sub>2</sub> )

<sup>11</sup> Variação em Y, no terceiro cultivo, devido ao efeito residual do FR aplicado no primeiro cultivo, associado também ao efeito residual do TSP aplicado no primeiro e no segundo cultivos;

<sup>12</sup> Variação em Y, no terceiro cultivo, devido ao efeito residual do FR aplicado no primeiro cultivo;

<sup>13</sup> Tratamentos da curva de reposta (TSP lanço – parcelas subdivididas com reaplicação de P no terceiro cultivo);

<sup>14</sup> Tratamentos da curva de reposta (TSP sulco – sob efeito residual no terceiro cultivo);

Os valores de  $\Delta Y_{FR}$ , no terceiro cultivo (Tabela 2.7), foram calculados em duas etapas: a primeira tendo a aplicação anual do TSP a lanço (oriundo da subdivisão das respectivas parcelas)

como referência, o que possibilitou obter a variação na produtividade em função da aplicação do FR a lanço juntamente com o TSP no sulco ( $\Delta Y_{FR+TSP}$ ); a segunda etapa foi realizada tendo como referência a aplicação do TSP no sulco durante as safras 2004/05 e 2005/06. Dessa forma, foi possível isolar a contribuição do FR no terceiro cultivo, mesmo, sob efeito residual do TSP no sulco.

As informações relacionadas ao efeito imediato e ao efeito residual do FR no segundo cultivo foram, por meio de modelos de regressão múltipla, relacionadas com as respectivas doses, possibilitando a interpolação dentro do intervalo de P aplicado, tanto de FR quanto de TSP. Também foram calculadas as isolinhas para os respectivos ajustes (comparação horizontal). No terceiro cultivo, por não ter ocorrido à aplicação das fontes, esses modelos de regressão múltipla não foram ajustados.

Por fim, foram ajustados modelo de regressão relacionando a produtividade média (três cultivos) em função das doses totais de P aplicadas no mesmo período, ou ainda, em função da “Solubilidade Relativa - SR”. No caso do ajuste em função das doses totais, foi possível visualizar em quais doses e em quais “combinações” se obtiveram produtividades médias superiores a  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ , por exemplo.

No caso das “misturas”, os resultados foram analisados por meio de contrastes ortogonais comparando grupos de fontes (maior vs menor solubilidade) e formas de aplicação (lanço vs sulco), e por modelos de regressão linear simples, em que, relacionou-se a variável dependente (produtividade) em função da “SR” das fontes/“misturas”. A aplicação das fontes em diferentes proporções, mas, mantendo a dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , resultou na obtenção de cinco níveis de “SR” (Tabela 2.8). Estes valores correspondem a porcentagem do teor total das fontes que é solúvel em água e foram utilizados nas análises de regressão como variável independente do modelo.

Para todos os modelos de regressão ajustados, avaliou-se a significância dos estimadores dos parâmetros da equação considerando-se as probabilidades de 1 %, 5 %, 10 % e não significativo representados, respectivamente, pelos símbolos \*\*, \*, ° e <sup>ns</sup>.

Tabela 2.8 - Doses de P aplicadas na forma de TSP e de FR isoladamente ou em “misturas”, quantidades adicionadas de P solúvel em água (PSA) e os respectivos valores de “Solubilidade Relativa”

Doses de P <sup>\1</sup>		Quantidade de PSA aplicada <sup>\2</sup>		Solubilidade Relativa <sup>\3</sup>
TSP	FR	TSP	FR	
		kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		%
0 (0) <sup>\4</sup>	200	0	1,2	0,6
50 (53)	150	48	0,9	24
100 (105)	100	95	0,6	47
150 (158)	50	143	0,3	69
200 (210)	0	190	0,0	91

<sup>\1</sup> Doses calculadas com base no teor total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, no caso do FR, e com base no teor solúvel em CNA+Água, no caso do TSP;

<sup>\2</sup> Valores resultantes da multiplicação entre a quantidade de P total aplicada e o fator de solubilidade da fonte, sendo esse fator obtido a partir da razão entre o teor de P solúvel em água e o teor de P total da fonte (TSP=0,905 e FR=0,006);

<sup>\3</sup> Razão entre a quantidade aplicada de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água e a quantidade total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, expressa em percentagem;

<sup>\4</sup> Valores entre parênteses correspondem às doses de P aplicadas, como TSP, considerando o teor total de P da fonte;

## 2.2.2 Resultados e Discussão

Os valores médios para a produção de matéria seca (MSPA), teor e P acumulado na MSPA, produtividade, teor e P acumulado nos grãos, bem como, o teor de P no solo (Resina e Mehlich-1), obtidos em cada tratamento, estão apresentados nas Tabelas 1 a 8 do Apêndice A. Para melhor compreensão e organização da informação, os resultados foram subdivididos e discutidos em duas partes, a primeira relacionada à utilização isolada das fontes e, a segunda, relacionada à utilização conjunta das mesmas.

### 2.2.2.1 Utilização das fontes isoladamente

#### *Safras 2004/05 e 2005/06 – fase de aplicação*

Na safra 2004/05, em que foi avaliada a MSPA e o P acumulado na MSPA, observou-se que para ambas as variáveis o modelo de regressão que melhor explicou a tendência foi o semi-raiz quadrático. Não foram observadas diferenças estatísticas entre os parâmetros da regressão para a forma de aplicação do TSP (lanço e sulco), ao passo que, para o FR, a aplicação a lanço foi estatisticamente superior à aplicação localizada (Tabela 2.9 e Figura 2.2). Por outro lado, o FR

não foi semelhante ao TSP em produzir resposta, independentemente da forma de aplicação das duas fontes.

Tabela 2.9 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>VI</sup> ajustada para as variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e fósforo acumulado na MSPA em função da doses de P aplicadas e, os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Fonte de P	Forma de Aplicação	Parâmetro	MSPA		P acumulado		
			Estimativa dos parâmetros	EAR	Estimativa dos parâmetros	EAR	
				%		%	
		$\beta_0$	199,0000			0,2500	
TSP	Sulco	$\beta_1$	77,2918** A	100	0,1531** A	100	
TSP	Lanço	$\beta_2$	70,3433** A	91	0,1659** A	108	
FR	Lanço	$\beta_3$	40,6157** B	53	0,0937** B	61	
FR	Sulco	$\beta_4$	10,7836* C	14	0,0260* C	17	
CV (%)				12,2		13,7	
R <sup>2</sup>				0,99		0,99	
Desvio padrão da regressão				106,0		0,2	
Erro padrão dos parâmetros				4,0		0,008	

<sup>VI</sup> Modelo semi-raiz quadrático para ambas as variáveis;

\*\*,\* significativo ao nível de 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente;

Em termos de EAR, calculada com base na MSPA e no P acumulado, observou-se que a aplicação a lanço do TSP resultou, respectivamente, em 91 % e em 108 % de EAR; a aplicação do FR, também a lanço, resultou em 53 % e em 61 %, enquanto os valores obtidos com a aplicação localizada do FR foram de 14 % e de 17 % somente (Tabela 2.9).

No caso da produtividade de soja, nas duas safras em que houve a aplicação das fontes, os resultados foram muito semelhantes aos obtidos com as variáveis MSPA e P acumulado. O modelo matemático que melhor explicou a relação entre a produtividade e as doses de P foi o semi-raiz quadrático (Tabela 2.10 e Figura 2.3), não sendo observado novamente, diferenças entre as formas de aplicação do TSP. Resultados semelhantes foram verificados por Motomiya et al. (2004) para a soja, cultivada em solo de textura média e por Resende et al., (2006) ao final de três cultivos consecutivos de milho em solo de textura argilosa (560 g kg<sup>-1</sup> de argila).

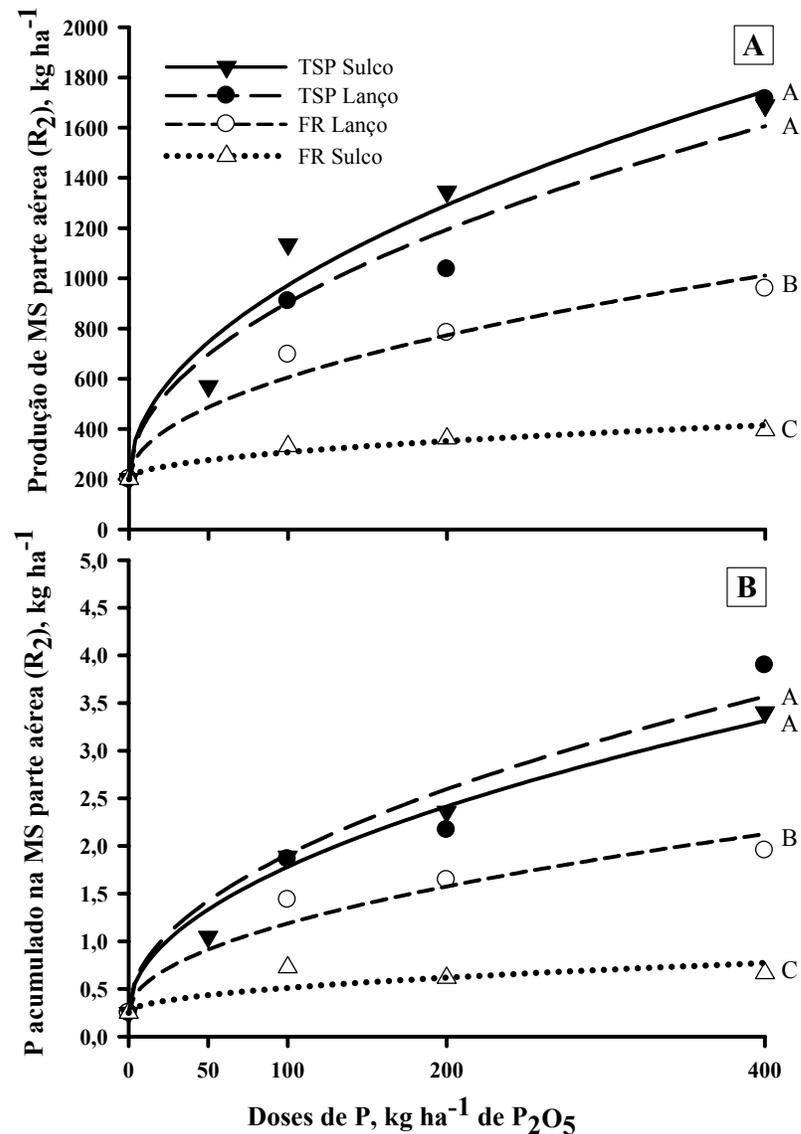


Figura 2.2 – Efeito das doses e das fontes de P, aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura, na produção de matéria seca da parte aérea (A) e no P acumulado na MSPA das plantas de soja (B). Modelos seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade

Dessa forma, com a aplicação a lanço do TSP, apesar do maior contato do fertilizante com o solo, que notadamente pode levar a maior perda do P aplicado por processos de adsorção/precipitação (SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980; NOVAIS; SMYTH, 1999), provavelmente ocorra também a maior exploração do volume de solo da camada arável pelas raízes das plantas, resultando em maior acúmulo de P por unidade de raiz, tal qual observado por

Klepker e Anghinoni (1995), o que estaria compensando os processos relacionados à formação de P-não lábil.

Tabela 2.10 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>1</sup> ajustada para a variável produtividade, nas safras 2004/05 e 2005/06, em função da doses de P aplicadas e, os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Fonte de P	Forma de Aplicação	Parâmetro	Produtividade (2004/05)		Produtividade (2005/06)	
			Estimativa dos parâmetros	EAR	Estimativa dos parâmetros	EAR
				%		%
		$\beta_0$	69,000		129,000	
TSP	Sulco	$\beta_1$	157,482** A	100	159,913** A	100
TSP	Lanço	$\beta_2$	167,623** A	106	168,180** A	105
FR	Lanço	$\beta_3$	117,943** B	75	124,989** B	78
FR	Sulco	$\beta_4$	28,681** C	17	72,531** C	45
CV (%)			11,6		13,2	
R <sup>2</sup>			0,99		0,99	
Desvio padrão da regressão			188,9		249,8	
Erro padrão dos parâmetros			7,14		9,44	

<sup>1</sup> Modelo semi-raiz quadrático, em ambas as safras;

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade;

Para o FR, a aplicação a lanço resultou em resposta estatisticamente superior à aplicação no sulco, resultados esses que, uma vez mais, comprovam a necessidade de contato entre o solo e a rocha fosfática para aumentar a taxa de dissolução da mesma e, conseqüentemente, fornecer quantidades de P adequadamente suficientes para o desenvolvimento das plantas (KHASAWNEH; DOLL 1978; CHIEN; MENON, 1995a,b; RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR 1996; HOROWITZ; MEURER, 2004). Khasawneh e Doll (1978) mencionaram que a aplicação a lanço e incorporação do FR é o método mais apropriado, pois promove a melhor distribuição dessa fonte na camada superficial do solo e, por conseqüência, o maior contato entre a superfície das raízes e as partículas do FR. Todavia, a aplicação à lanço do FR não resultou em resposta estatisticamente semelhante à obtida com o TSP, mesmo com a reaplicação das doses na safra 2005/06. Menor eficiência agronômica para a aplicação localizada de fosfatos de rocha reativos foram observadas por Resende et al. (2006) e por Motomiya et al. (2004), respectivamente para o milho (FR Arad) e para a soja (FR Gafsa).

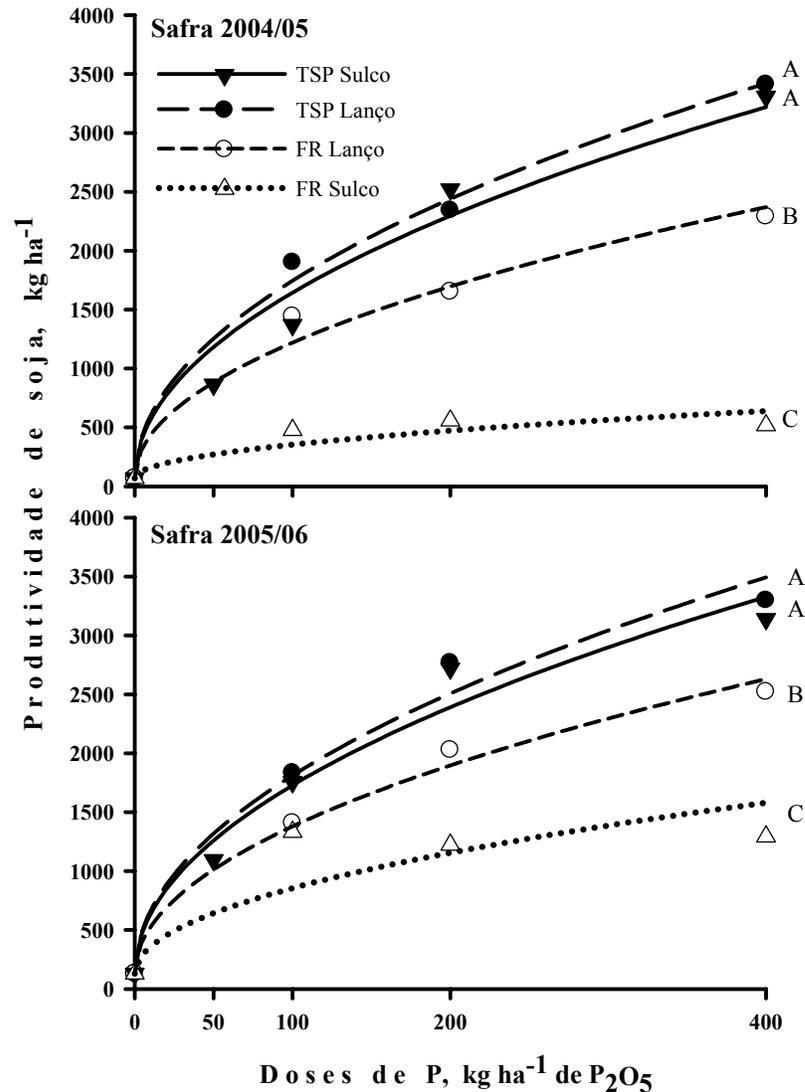


Figura 2.3 - Efeito das doses e das fontes de P, aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura, na produtividade de grãos de soja durante as safras 2004/05 e 2005/06. Modelos seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade

Em relação à EAR, foram observados valores muito próximos em ambas as safras, exceção feita à aplicação localizada do FR, que na safra 2005/06 (2º cultivo) resultou em 45 % de EAR, ao passo que, a EAR na safra anterior foi de somente 17 % (Tabela 2.10). Esse aumento se deve, provavelmente, ao efeito residual do P aplicado no ano anterior, bem como, a “incorporação” do FR ao solo com o preparo (gradagem) realizado para o segundo cultivo.

A EAR do FR quando aplicado a lanço foi de 75 e 78 % na safra 2004/05 e 2005/06, respectivamente (Tabela 2.10). Isso demonstra que os fosfatos naturais de elevada reatividade, quando utilizados sob condições que promovam sua maior eficiência, podem suprir grande parte da demanda da planta por P já no primeiro ano de cultivo. Logo, os fosfatos naturais reativos podem ser utilizados eficientemente na adubação corretiva a lanço, desde que seus preços sejam viáveis em termos econômicos com o dos fertilizantes acidulados, conforme mencionado por Sousa e Lobato (2003).

Novais e Smyth (1999) mencionaram que o maior contato entre o solo e o FR leva a maior dissolução dessa fonte, no entanto, este contato com a fração argila do solo leva, também, à maiores perdas do P disponibilizado com a dissolução do FR, por fixação (favorecimento do “dreno-solo”). Esse raciocínio é perfeitamente aceitável, desde que haja condições que favoreçam concomitantemente tanto a dissolução do FR quanto o “dreno-solo”. Porém, na grande maioria dos solos sob cerrado, o regime hídrico é caracterizado por duas estações muito bem definidas (caso da região de estudo) e, evidentemente, durante a estação seca (abril-maio a setembro-outubro) essas reações cessam, basicamente, por falta de umidade no solo. Em contra-partida, durante a estação chuvosa, as reações ou os processos se reiniciam, mas, nesse caso existe a cultura em desenvolvimento (“dreno-planta”) que certamente está sendo beneficiada com a dissolução do FR, ou seja, nessas condições a resultante do maior contato entre o solo e o FR é favorável às plantas, tanto que o FR, quando aplicado a lanço e incorporado à 20 cm, resultou em EAR de aproximadamente 80 % (Tabela 2.10).

Na Tabela 2.11, estão apresentadas as equações ajustadas para a produtividade em função do teor disponível de P (resina). Em relação às equações, nas duas safras obteve-se um bom ajuste ( $R^2$  e significância dos estimadores) entre as variáveis quando as amostras foram coletadas na linha da cultura. No entanto, a aplicação localizada das fontes resultou em teores, em geral, muito superiores ao limite inferior da faixa de adequada disponibilidade (nível crítico) sugerido por Sousa, Lobato e Rein (2002), para solos do Cerrado, que é de  $14 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 2.4 A e B). Consequentemente, apesar da boa relação entre a produtividade, obtida com as fontes aplicadas no sulco, e os respectivos teores com a amostragem na linha da cultura, esta prática não seria indicada devido à maior probabilidade de se obter teores elevados de P, não correspondentes a real disponibilidade da área como um todo. Isso porque, nessa condição, a coleta das amostras é

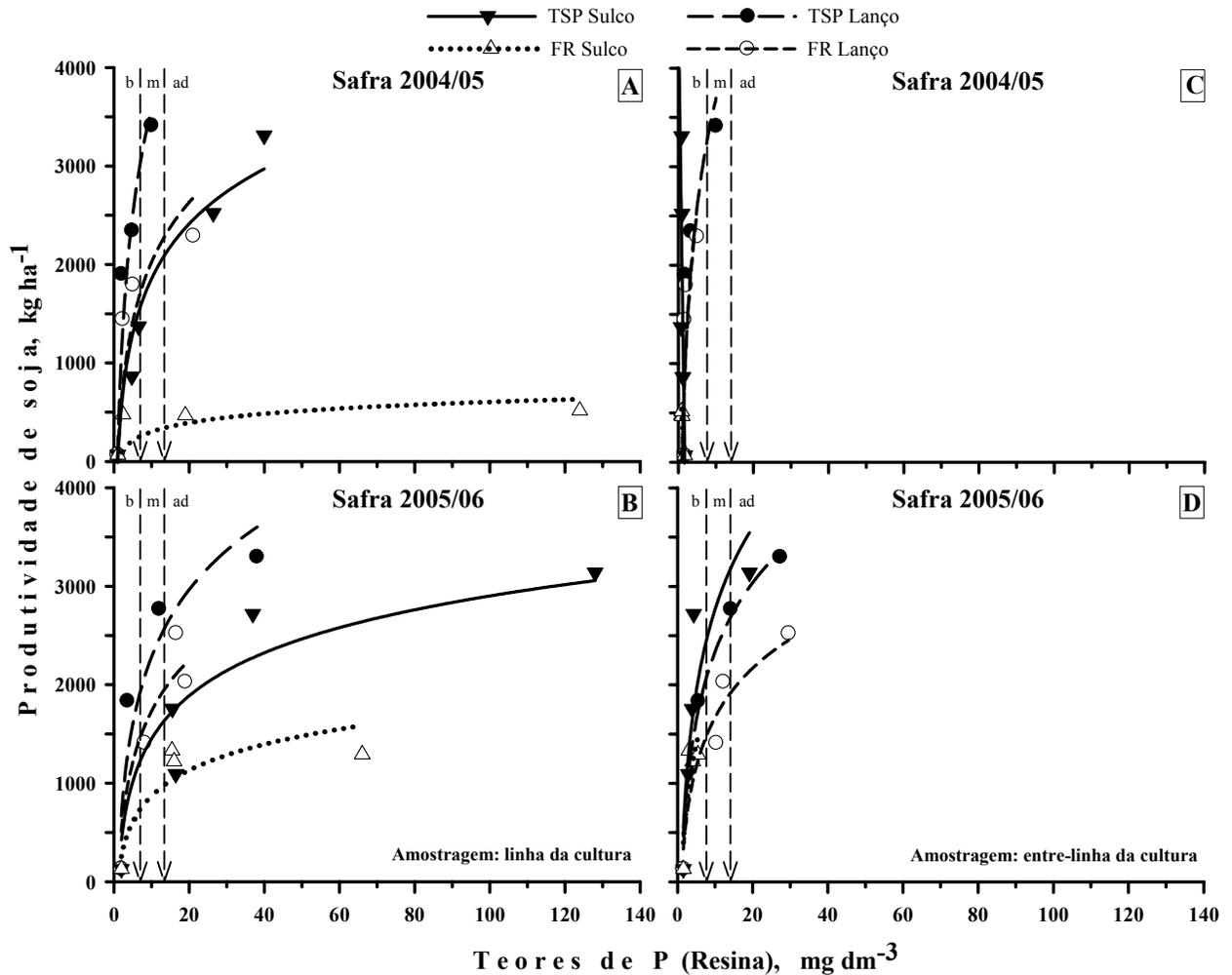
realizada em um local com grande possibilidade de se determinar o teor onde o “pool” de disponibilidade de P é elevado (p.e. região de dissolução do grânulo).

Tabela 2.11 - Equações de regressão para a produtividade de soja, nas safras 2004/05 e 2005/06, em função dos teores de P por resina de troca iônica

Fontes de P	Forma de aplicação	Safrá 2004/05		Safrá 2005/06	
		Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
<i>Amostragem na linha da cultura</i>					
TSP	Sulco	$\hat{y} = 0,00 + 805,35^{**}\ln(x)$	0,95	$\hat{y} = 0,00 + 630,12^{**}\ln(x)$	0,88
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 1552,91^{**}\ln(x)$	0,88	$\hat{y} = 0,00 + 989,47^{**}\ln(x)$	0,87
FR	Sulco	$\hat{y} = 0,00 + 131,20^{**}\ln(x)$	0,78	$\hat{y} = 0,00 + 377,85^{**}\ln(x)$	0,78
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 878,04^{**}\ln(x)$	0,72	$\hat{y} = 0,00 + 751,31^{**}\ln(x)$	0,88
<i>Amostragem na entre-linha da cultura</i>					
TSP	Sulco	$\hat{y} = 4621 - 2672^{ns}x$	0,54	$\hat{y} = 0,00 + 1200,95^{**}\ln(x)$	0,78
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 1598,83^{*}\ln(x)$	0,70	$\hat{y} = 0,00 + 1013,83^{**}\ln(x)$	0,98
FR	Sulco	$\hat{y} = 937,21 - 507,60^{*}x$	0,95	$\hat{y} = 0,00 + 867,38^{**}\ln(x)$	0,76
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 1567,30^{**}\ln(x)$	0,49	$\hat{y} = 0,00 + 724,31^{**}\ln(x)$	0,95

\*\*,\* Significativo ao nível de 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente;

O ajuste para a produtividade, na safra 2004/05, e os teores de P quando a amostragem foi realizada na entre-linha foi adequado somente para a aplicação a lanço das fontes (Tabela 2.11), ou seja, nesta safra, a coleta das amostras na entre-linha quando as fontes foram aplicadas no sulco resultou em teores baixos de P, mesmo com elevados níveis de produtividade (Figura 2.4 C). Na safra seguinte, devido ao preparo do solo, a relação entre a produtividade e os teores de P resultantes da amostragem na entre-linha foi melhor (Tabela 2.11 e Figura 2.4 D). Nas duas safras, a coleta na entre-linha quando as fontes foram aplicadas a lanço resultou em boa relação com a produtividade.



\* *b, m, ad* correspondem, respectivamente, as classes de interpretação da disponibilidade de P: baixo (<8), médio (9-14) e adequado (>14 mg dm<sup>-3</sup>) Adaptado de Sousa; Lobato; Rein, (2002)

Figura 2.4 - Relação entre a produtividade de grãos de soja, nas safras 2004/05 e 2005/06, e o teor de P, pelo método da resina trocadora de íons, quando as amostras foram coletadas na linha de semeadura (A e B) ou na entre-linha da cultura (C e D)

Na Tabela 2.12 estão apresentadas as equações de regressão entre a produtividade e os teores de P por Mehlich-1. Para a amostragem na linha da cultura, obteve-se nas duas safras, bom ajuste dos modelos. Entretanto, foram verificados com frequência, teores superiores ao nível crítico sugerido por Sousa, Lobato e Rein (2002) para solos de Cerrado com teor de argila entre 360 e 600 g kg<sup>-1</sup>, que é de 8 mg dm<sup>-3</sup>, principalmente na safra 2005/06 (Figura 2.5 A e B).

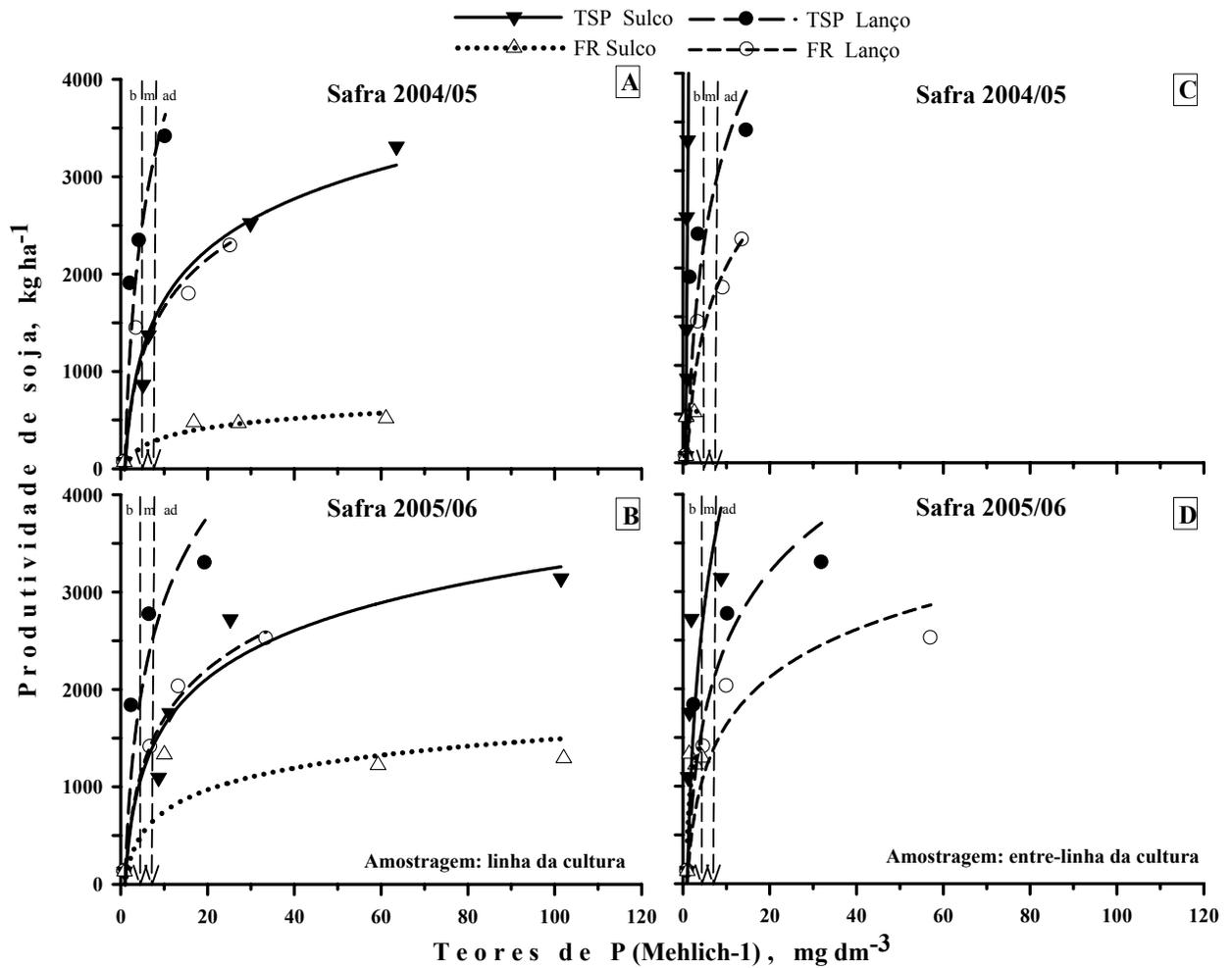
Quando a amostragem foi realizada na entre-linha obtiveram-se, de forma geral, teores baixos com produtividades elevadas (Figura 2.5 C e D), sendo essa tendência mais evidente

quando as fontes foram aplicadas localizadamente. Assim como para a resina, os modelos apresentaram melhor ajuste quando se relacionou a produtividade e os teores resultantes da aplicação a lanço das fontes (Tabela 2.12).

Tabela 2.12 - Equações de regressão para a produtividade de soja, nas safras 2004/05 e 2005/06, em função dos teores de P por Mehlich-1

Fonte de P	Forma de aplicação	Safrá 2004/05		Safrá 2005/06	
		Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
<i>Amostragem na linha da cultura</i>					
TSP	Sulco	$\hat{y} = 0,00 + 751,39^{**} \ln(x)$	0,97	$\hat{y} = 0,00 + 705,75^{**} \ln(x)$	0,92
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 1561,65^{**} \ln(x)$	0,89	$\hat{y} = 0,00 + 1259,33^{**} \ln(x)$	0,85
FR	Sulco	$\hat{y} = 0,00 + 139,68^{**} \ln(x)$	0,85	$\hat{y} = 0,00 + 232,19^* \ln(x)$	0,58
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 719,07^{**} \ln(x)$	0,87	$\hat{y} = 0,00 + 737,36^{**} \ln(x)$	0,98
<i>Amostragem na entre-linha da cultura</i>					
TSP	Sulco	$\hat{y} = -3553 + 5741^{ns}x$	0,38	$\hat{y} = 0,00 + 1775,05^* \ln(x)$	0,20
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 1421,34^* \ln(x)$	0,67	$\hat{y} = 0,00 + 1068,95^{**} \ln(x)$	0,84
FR	Sulco	$\hat{y} = 584,56 - 179,07^{ns}(1/x)$	0,18	$\hat{y} = 1729 - 1289,5^{ns}(1/x)$	0,62
	Lanço	$\hat{y} = 0,00 + 873,27^{**} \ln(x)$	0,91	$\hat{y} = 0,00 + 707,77^{**} \ln(x)$	0,88

\*\*, \* Significativo ao nível de 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente;



\* *b, m, ad* correspondem, respectivamente, as classes de interpretação da disponibilidade de P: baixo ( $\leq 5,0$ ), médio (5,1-8,0) e adequado ( $\geq 8 \text{ mg dm}^{-3}$ ), considerando o teor de argila entre 360 e 600  $\text{g kg}^{-1}$ . Adaptado de Sousa; Lobato; Rein, (2002)

Figura 2.5 - Relação entre a produtividade de grãos de soja, nas safras 2004/05 e 2005/06, e o teor de P, pelo método Mehlich-1, quando as amostras foram coletadas na linha de semeadura (A e B) ou na entre-linha da cultura (C e D)

#### Safra 2006/07 - Efeito Residual

O modelo que melhor explicou a relação entre a produtividade e as doses de P foi, mais uma vez, o semi-raiz quadrático (Tabela 2.13 e Figura 2.6). A aplicação localizada do TSP resultou em 92 % de Eficiência Agrônômica Relativa sob efeito residual (EARr), não diferindo estatisticamente ( $P \leq 0,05$ ) da reaplicação de P em 2006/07. Quando o TSP foi aplicado a lanço, a EARr foi de 77 %, ou seja, o maior contato entre o solo e o fertilizante levou a diminuição de 15

% na EARr do TSP, muito embora, não haja diferença estatística entre as formas de aplicação dessa fonte.

Tabela 2.13 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>1</sup> ajustada para a variável produtividade, na safra 2006/07, em função da doses de P aplicadas nas safras anteriores, e os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa sob efeito residual (EARr)

Fonte de P	Forma de aplicação	Histórico de aplicação	Parâmetro	Produtividade (2006/07)	
				Estimativa dos parâmetros	EARr
					%
			$\beta_0$	147,000	
TSP	Lanço	2004, 2005, 2006	$\beta_1$	189,387** A	100
TSP	Sulco	2004, 2005	$\beta_2$	174,226** AB	92
TSP	Lanço	2004, 2005	$\beta_3$	145,116** BC	77
FR	Lanço	2004, 2005	$\beta_4$	148,540** BC	78
FR	Sulco	2004, 2005	$\beta_5$	133,593** C	71
CV (%)				13,4	
R <sup>2</sup>				0,99	
Desvio padrão da regressão				308,3	
Erro padrão dos parâmetros				11,65	

<sup>1</sup> Modelo semi-raiz quadrático;

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade;

A EARr do FR, por sua vez, foi de 71 % e de 78 %, respectivamente para a aplicação no sulco e a lanço, não havendo diferença estatística entre esses valores (Tabela 2.13). Isso indica que, com os cultivos, a eficiência agronômica do FR aplicado de forma localizada pode ser semelhante à obtida com a aplicação a lanço, desde que seja realizado o preparo do solo (sistema convencional de cultivo). Apesar de ter havido diferença estatística entre a reaplicação do TSP em 2006/07 e o efeito residual do FR, a obtenção de valores de EARr entre 70 e 80 % indica a viabilidade de utilização desta fonte para a cultura da soja, considerando que a diferença mínima entre o custo dessas fontes esteja entre 20 e 30 %, a favor do FR.

Na Figura 2.7 pode-se visualizar os modelos ajustados para a EARr das fontes, calculada dentro de cada dose (Eq. 3), em função das respectivas doses aplicadas. Na prática, esses modelos possibilitaram avaliar a variação da EARr com as doses aplicadas nas duas safras anteriores. Dessa forma, para a aplicação localizada do FR, que na média das doses resultou em 71 % de EARr (Tabela 2.13), observou-se ao desdobrar o efeito das doses, o aumento da EARr até

aproximadamente  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Essa tendência de estabilização da EARr a partir de uma dada dose de P não foi observada nem para a aplicação a lanço do FR, nem para o TSP independentemente da forma de aplicação, visto que, nos três casos foram ajustados modelos lineares.

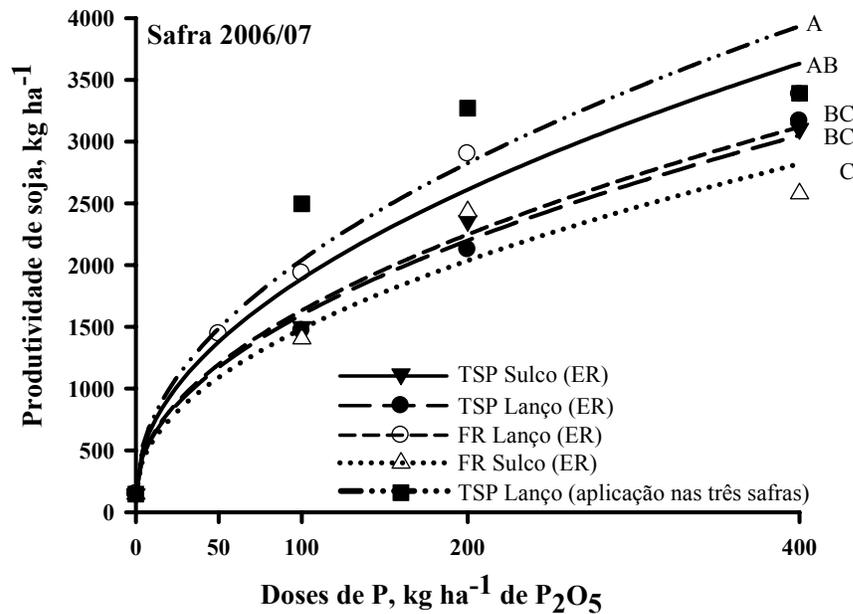


Figura 2.6 - Efeito residual (ER) das doses e das fontes de P, aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura durante as safras 2004/05 e 2005/06, na produtividade de grãos de soja na safra 2006/07. Modelos seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade

Interpretando as equações lineares (Figura 2.7) pode-se dizer que, a aplicação do TSP no sulco resultou no menor incremento na EARr com as doses, ou seja, menor declividade da reta ( $\beta_1 = 0,082$  que corresponde a 8,2 % de aumento na EARr para cada  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), ao passo que, as taxas obtidas com a aplicação a lanço do FR e do TSP foram respectivamente de 10,5 % e 12,1 %. Maiores valores na declividade da reta quando as fontes foram aplicadas a lanço se devem a menor EARr na dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (55 e 59 %, respectivamente para o TSP e para o FR), fato esse, que não foi observado na aplicação localizada do TSP que, para essa mesma dose, resultou em 80 % de EARr.

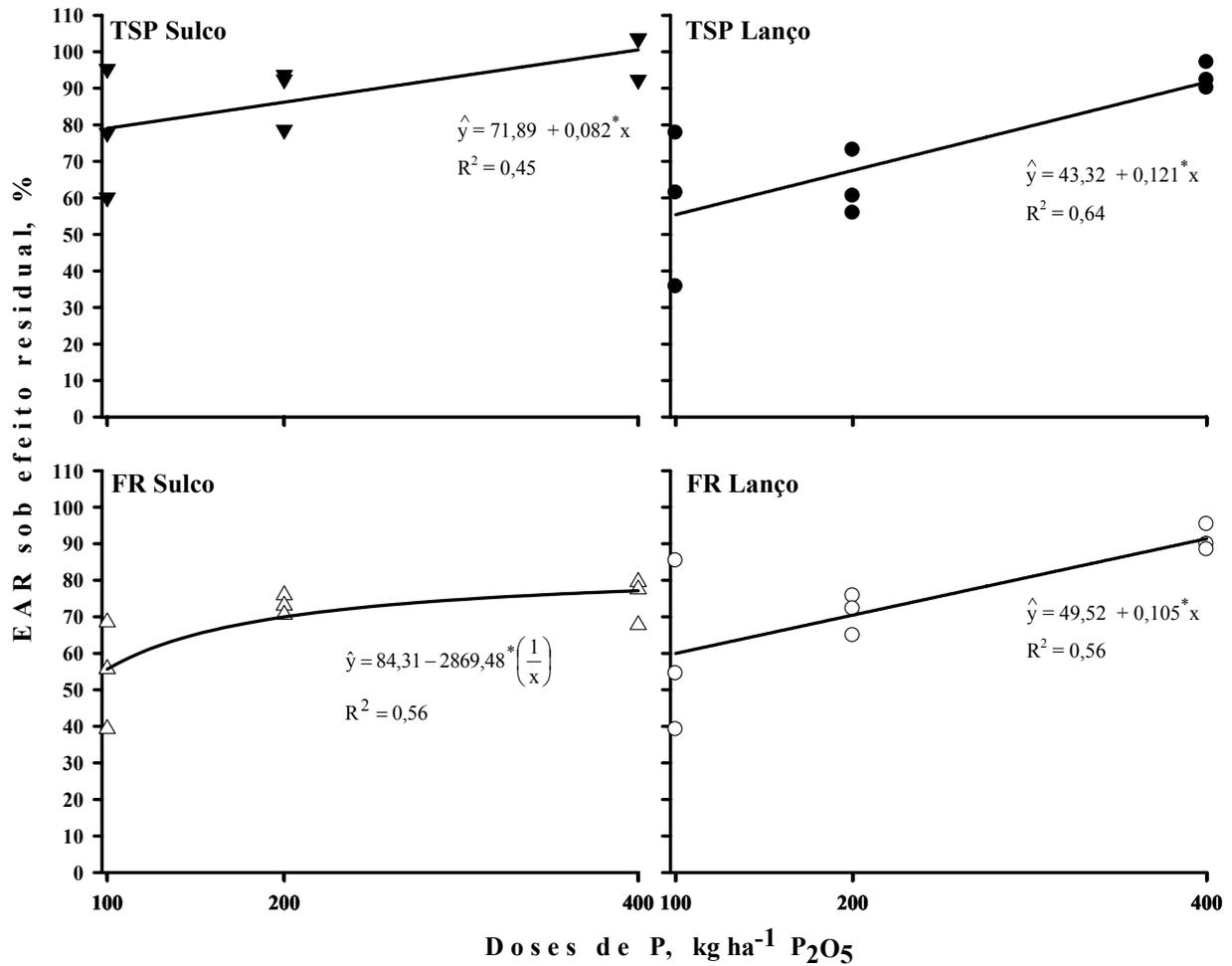


Figura 2.7 - Eficiência agrônômica relativa (EAR) residual das fontes de P, na safra 2006/07, em função das doses de P aplicadas nas safras 2004/05 e 2005/06. EAR calculada dentro de cada dose

### 2.2.3.2 Utilização das fontes em conjunto

#### *Aplicação de FR a Lanço e TSP no Sulco*

A relação entre a produtividade de soja e a aplicação conjunta de TSP e de FR está apresentada na Figura 2.8. A partir das isolinhas do modelo observou-se que as duas variáveis independentes influenciaram positivamente a resposta da planta, no entanto, a aplicação isolada de ambas as fontes resulta em valores de produtividades inferiores a 2500 kg ha<sup>-1</sup>, ao passo que, produtividades superiores a 3000 kg ha<sup>-1</sup> foram obtidas com diversas combinações entre as fontes. Logo, é possível obter altos níveis de produtividade manejando adequadamente as fontes

de P. Em virtude de não ter sido realizado a análise econômica, foi traçada a isolinha para o valor de 2820 kg ha<sup>-1</sup> que corresponde a 90 % da produtividade máxima (3130 kg ha<sup>-1</sup>).

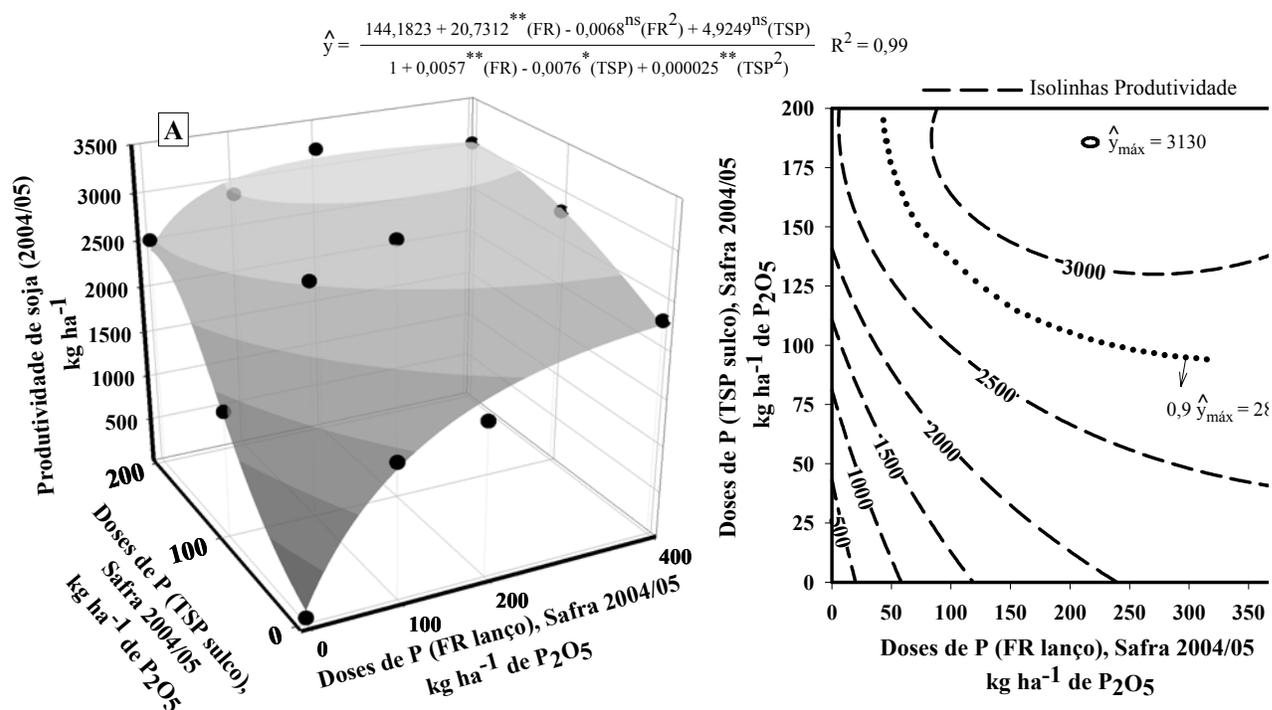


Figura 2.8 - Produtividade de soja, na safra 2004/05, em função das doses de P aplicadas na forma de FR a lanço e na forma de TSP no sulco de semeadura (A), e as respectivas isolinhas para o modelo ajustado (B)

A partir dos valores de produtividade foi possível separar matematicamente a contribuição do FR no valor final de produtividade (Tabela 2.14), denominado de efeito imediato (EI<sub>FR</sub>), quando aplicado em associação ou não com o TSP. Pode-se observar que a medida que aumenta a participação da fonte de elevada solubilidade, a contribuição do FR diminui exponencialmente, independentemente da dose de FR utilizada (Figura 2.9).

Ainda assim, na maior dose de P no sulco (200 kg ha<sup>-1</sup>), a aplicação do FR nas doses 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> resultou em aumento de produtividade da ordem de 12 %, 22 % e de 17 %, respectivamente (Tabela 2.14). É interessante ressaltar, também, que o EI<sub>FR</sub> mantém-se estável a partir de doses entre 150-200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, independentemente da quantidade de TSP utilizada (Figura 2.9 B). Esses resultados indicam que as reações de dissolução do FR atingiram

valor máximo com doses próximas a 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ou seja, pensando em efeito imediato, doses superiores a esta não seria viável.

Tabela 2.14 - Efeito imediato do fosfato de rocha (EI<sub>FR</sub>), calculado com base na produtividade de soja na safra 2004/05, quando utilizado em conjunto ou não, com a aplicação de TSP no sulco de semeadura

Doses de P no 1º cultivo		Produtividade (Y) (2004/05)	$\Delta Y_{FR}^{1}$	EI <sub>FR</sub> <sup>2</sup>
FR <sub>(Lanço)</sub>	TSP <sub>(Sulco)</sub>			
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		kg ha <sup>-1</sup>		%
0	0	69	0	0
0	100	1370 <sup>3</sup>	0	0
0	200	2521 <sup>3</sup>	0	0
100	0	1443	1374	95
100	100	2545	1174	46
100	200	2866	345	12
200	0	1794	1725	96
200	100	2811	1441	51
200	200	3213	693	22
400	0	2290	2221	97
400	100	2807	1437	51
400	200	3029	508	17

<sup>1</sup> Variação na produtividade, no primeiro cultivo, devido ao efeito imediato da aplicação do FR a lanço;

<sup>2</sup>  $EI_{FR} = (\Delta Y_{FR} / Y) \times 100$

<sup>3</sup> Valores médios de produtividade retirados da curva de resposta a P, na forma de TSP e aplicado no sulco de semeadura;

$$\hat{y} = -0,3341 * \exp(-FR/32,256) + 98,4412 * \exp(-TSP/131,9512) + (-97,9960 \exp(-FR/32,256) * \exp(-TSP/131,9512))$$

$$R^2 = 0,99$$

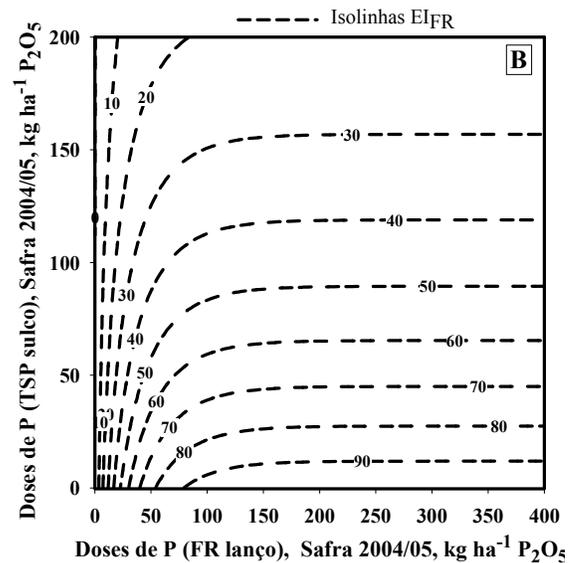
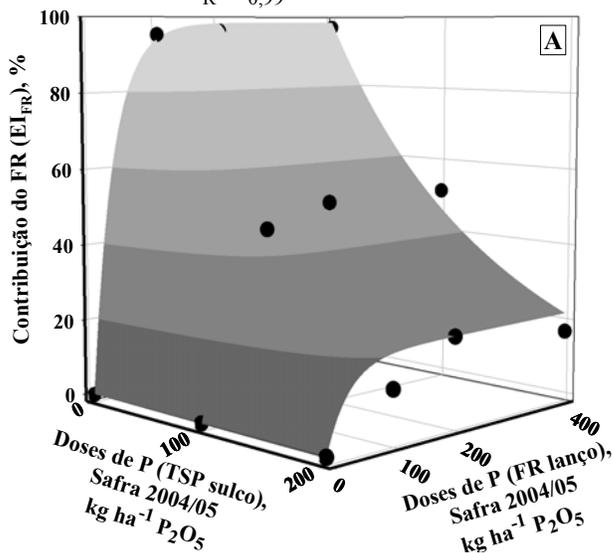


Figura 2.9 - Contribuição relativa do FR ( $EI_{FR}$ ) na produtividade de soja, na safra 2004/05, em função das doses de P aplicadas na forma de FR a lanço e na forma de TSP no sulco de semeadura (A), e as respectivas isolinhas para o modelo ajustado (B)

Na safra 2005/06, a resposta da soja foi avaliada em função da aplicação anual de TSP no sulco e do efeito residual da aplicação do FR no ano anterior (Figura 2.10). A aplicação isolada do TSP resultou em valores de produtividades que variaram de 2000 até no máximo 2700 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que, valores superiores a este só foram obtidos quando considerada a contribuição do FR aplicado no ano anterior (Figura 2.10 B), evidenciando, mais uma vez, a interação positiva entre as fontes. Além da maior dose final de P, outra provável explicação para essa interação é o “priming effect”, ou seja, o P solúvel em água estaria levando a maior absorção, pelas plantas, do P proveniente do FR, por meio do maior desenvolvimento do sistema radicular (CHIEN et al., 1987).

A produtividade máxima estimada a partir da equação do modelo foi de 3203 kg ha<sup>-1</sup>, sendo este valor obtido com doses de P (FR Lanço) entre 320 e 330 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e com a aplicação anual de 158 a 165 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (TSP, localizado no sulco de semeadura). A isolinha referente a 90 % da produtividade máxima ( $0,9\hat{Y}_{\text{máx}}$ ), cujo valor foi de aproximadamente 2880 kg ha<sup>-1</sup>, foi obtida com combinações entre FR e TSP que variaram, respectivamente, de 100 a 350 e de 90 a 182 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

$$\hat{y} = 2160,9963 + 2,1544FR + 224627,018/TSP - 0,0057FR^2 - 25305801,23/TSP^2 + 260.6286(FR/TSP); \quad R^2 = 0,95$$

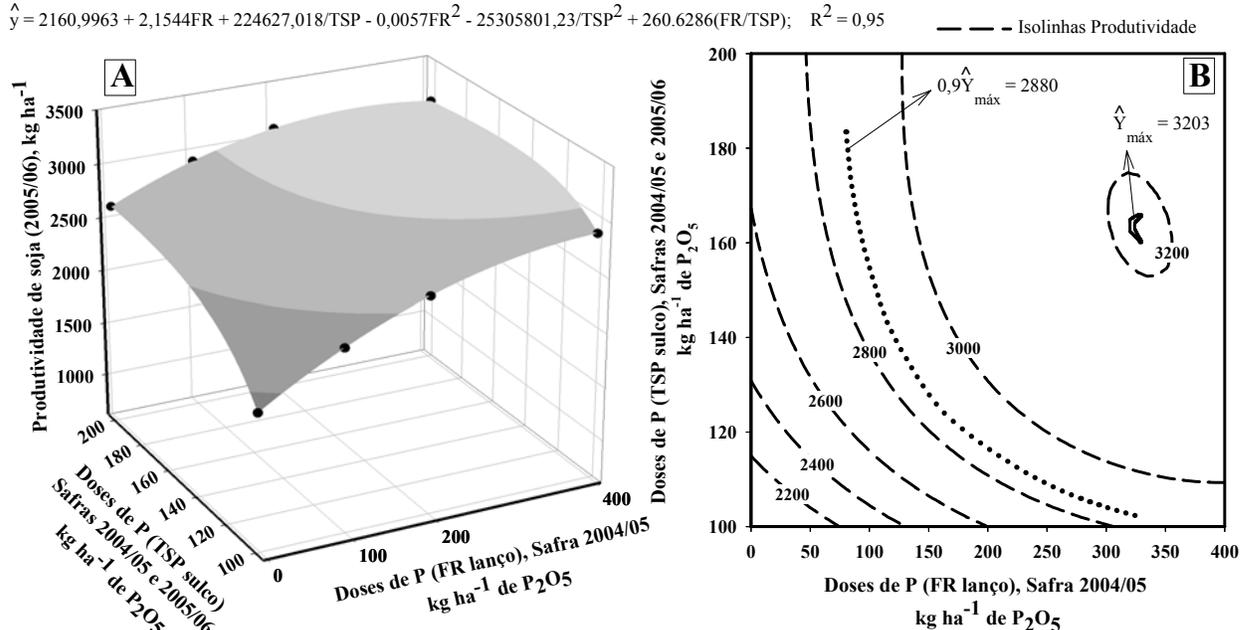


Figura 2.10 - Produtividade de soja, na safra 2005/06, em função das doses de P aplicadas na forma de FR a lanço na safra 2004/05 e em função da aplicação anual de P (Safras 2004/05 e 2005/06), na forma de TSP localizado no sulco de semeadura (A), além das respectivas isolinhas para o modelo ajustado (B)

O efeito residual do FR ( $ER_{FR}$ ), na safra 2005/06, foi calculado em conjunto com a aplicação anual de 100 e de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de TSP (Tabela 2.15 e Figura 2.11). Isso porque, não foi previsto no planejamento inicial do experimento, a alocação dos tratamentos referentes à aplicação do FR somente no primeiro ano e sem a aplicação conjunta de TSP (100+0; 200+0 e 400+0).

Tabela 2.15 - Efeito residual do fosfato de rocha ( $ER_{FR}$ ), calculado com base na produtividade de soja na safra 2005/06, quando utilizado em associação com a aplicação de TSP no sulco de semeadura

Doses de P no 1º cultivo		Doses de P no 2º cultivo		Produtividade (Y) (2005/06)	$\Delta Y_{FR}$ <sup>1</sup>	$ER_{FR}$ <sup>2</sup>
FR <sub>(lanço)</sub>	TSP <sub>(sulco)</sub>	FR <sub>(lanço)</sub>	TSP <sub>(sulco)</sub>			
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				kg ha <sup>-1</sup>		%
0	100	0	100	1756 <sup>3</sup>	0	0
0	200	0	200	2720 <sup>3</sup>	0	0
100	100	0	100	2479	723	29
100	200	0	200	2896	176	6
200	100	0	100	2567	811	32
200	200	0	200	3044	324	11
400	100	0	100	2839	1083	38
400	200	0	200	3168	448	14

<sup>1</sup> Variação na produtividade, no segundo cultivo, devido ao efeito residual da aplicação do FR no cultivo anterior;

<sup>2</sup>  $ER_{FR} = (\Delta Y_{FR} / Y) \times 100$ . Pode ser entendido como a “contribuição”, em percentagem, do P aplicado no 1º cultivo (na forma de FR a lanço) na produtividade do segundo cultivo;

<sup>3</sup> Valores médios de produtividade retirados da curva de resposta a P, aplicado anualmente como TSP no sulco;

Observou-se que o  $ER_{FR}$  também diminuiu sensivelmente com as doses de P no sulco (TSP), logo, com o aumento da quantidade aplicada na forma de TSP, observou-se a redução na  $ER_{FR}$  da ordem de 23, 21 e 24 %, respectivamente, para as doses 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FR lanço) (Tabela 2.15). Além disso, diferentemente do observado para o  $EI_{FR}$ , sob efeito residual não foi obtido “plateau” para as doses de P, na forma de FR (Figura 2.11), ou seja, nessa condição a aplicação de doses superiores a 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, na forma de FR a lanço no primeiro ano, resultou em maior  $ER_{FR}$ , na safra seguinte. Vale ressaltar ainda, que a aplicação do FR apresentou excelente efeito residual, principalmente quando associada a menor dose de P no

sulco. Por exemplo, o residual da aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (FR lanço), em conjunto com a aplicação anual de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (TSP sulco), contribuiu com praticamente 40 % do valor final de produtividade (2839 kg ha<sup>-1</sup>), ou seja, nessa condição em torno de 1100 kg ha<sup>-1</sup> de soja foi produzido em função do FR (Tabela 2.15).

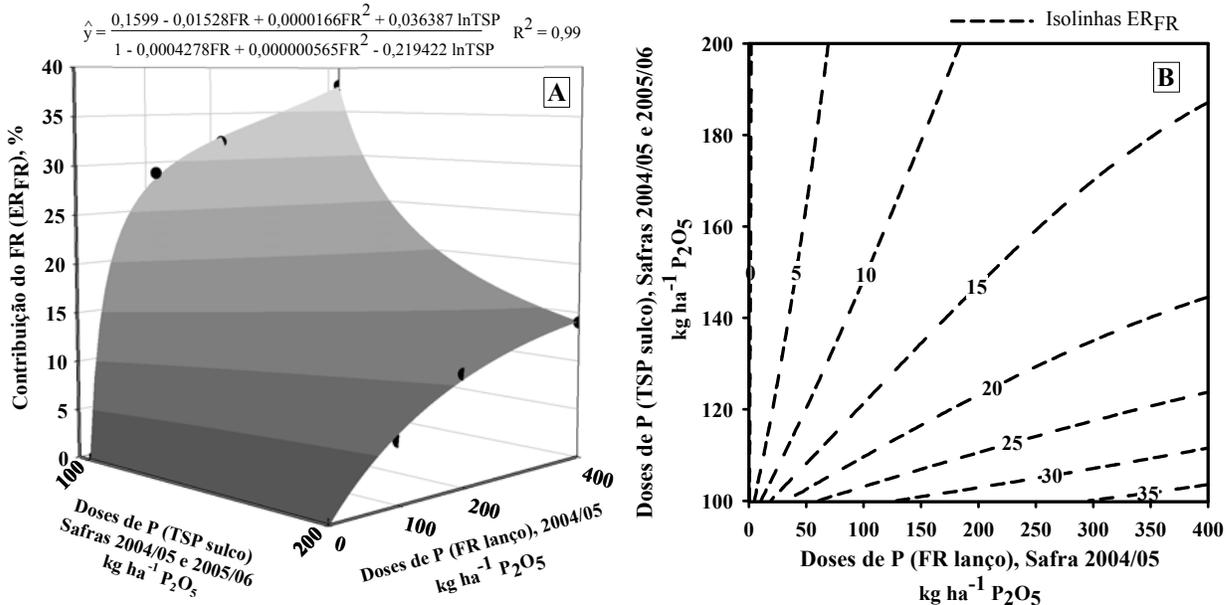


Figura 2.11 - Contribuição relativa do FR sob efeito residual (ER<sub>FR</sub>) na produtividade de soja na safra 2005/06, em função das doses de P aplicadas na forma de FR a lanço na safra 2004/05 e em função da aplicação anual de TSP no sulco de semeadura (A), e as respectivas isolinhas para o modelo ajustado (B)

Na safra 2006/07, a produtividade de soja foi avaliada em função do residual tanto da aplicação de TSP no sulco (safras 2004/05 e 2005/06), quanto da aplicação a lanço do FR (safra 2004/05) (Figura 2.12). A produtividade máxima foi de 3290 kg ha<sup>-1</sup>, sendo este valor resultado da aplicação de P nas maiores doses, independentemente da fonte (Figura 2.12 B). Produtividades superiores a 3000 kg ha<sup>-1</sup> foram obtidas com diversas combinações entre FR e TSP, sendo que as combinações extremas foram 0+200 e 400+150, ou seja, o “input” anual mínimo da fonte solúvel, para que no terceiro cultivo, sob efeito residual, obtenha-se pelo menos 3000 kg ha<sup>-1</sup> de soja foi de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, independentemente da aplicação ou não de FR.

Os valores do ER<sub>FR</sub>, na safra 2006/07 (Tabela 2.16), variaram entre 5 e 13 % em associação com 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco (Safras 2004/05 e 2006/07) e entre 28 e 31 % quando a dose da fonte solúvel foi de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. É importante destacar que mesmo sob efeito residual do TSP, as produtividades “bases” para o cálculo do ER<sub>FR</sub> não foram muito baixas

(em torno de 1900 kg ha<sup>-1</sup> na dose 100 e de 2900 kg ha<sup>-1</sup> na dose 200), evidenciando que o residual do FR aplicado a duas safras é expressivo e consistente, principalmente, quando associado à aplicação da menor dose de P no sulco.

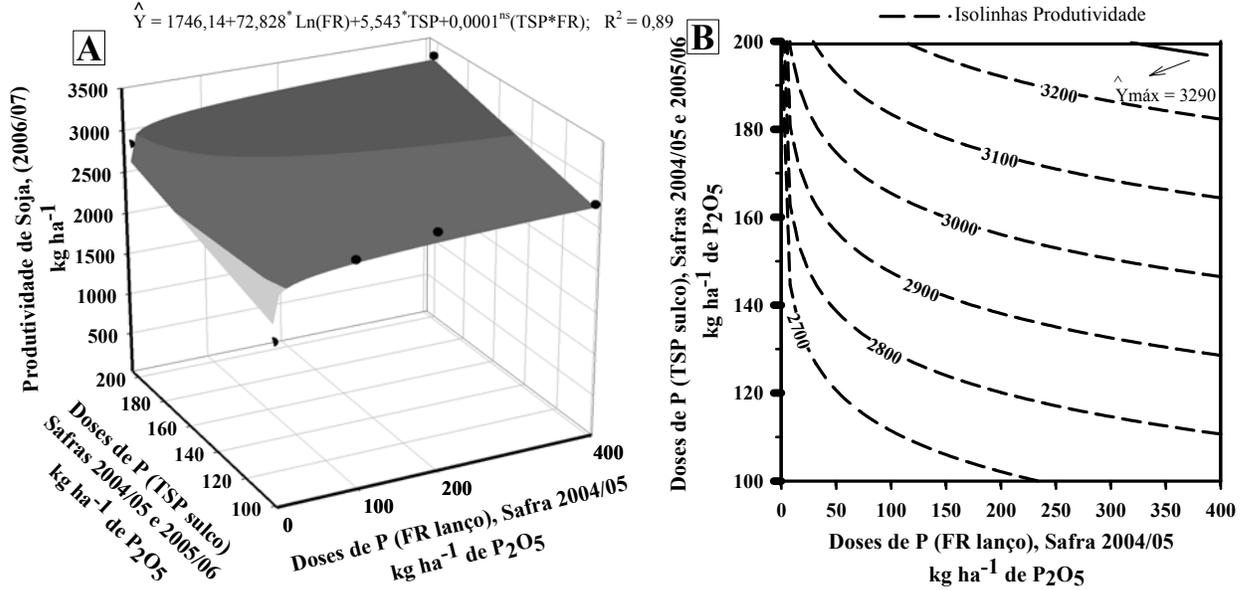


Figura 2.12 - Produtividade de soja, na safra 2006/07, em função das doses de P aplicadas na forma de FR a lanço na safra 2004/05 e em função da aplicação anual de P (safras 2004/05 e 2006/07), na forma de TSP, no sulco de semeadura (A), e as respectivas isolinhas para o modelo ajustado (B)

Tabela 2.16 - Efeito residual do fosfato de rocha (ER<sub>FR</sub>), calculado com base na produtividade de soja na safra 2006/07, quando utilizado em associação com a aplicação de TSP (safras 2004/05 e 2005/06) no sulco de semeadura

Doses de P 1º cultivo		Doses de P 2º cultivo		Doses de P 3º cultivo		Produtivi- dade (Y) (2006/07)	$\Delta Y_{FR+TSP}^{1}$	$\Delta Y_{FR}^{2}$	ER <sub>FR</sub> <sup>3</sup>
FR(lanço)	TSP	FR(lanço)	TSP	FR(lanço)	TSP				
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						kg ha <sup>-1</sup>			
0	100	0	100	0	100	2497 <sup>4</sup>	0	---	---
0	200	0	200	0	200	3271 <sup>4</sup>	0	---	---
0	100	0	100	0	0	1934	-563	0	0
0	200	0	200	0	0	2900	-370	0	0
100	100	0	100	0	0	2678	181	744	28
100	200	0	200	0	0	3063	-208	163	5
200	100	0	100	0	0	2813	316	878	31
200	200	0	200	0	0	3120	-150	220	7
400	100	0	100	0	0	2776	279	842	30
400	200	0	200	0	0	3345	74	445	13

- <sup>11</sup> Variação na produtividade, no terceiro cultivo (2006/07), devido ao efeito residual da aplicação do FR no 1º cultivo (2004/05) associado também ao efeito residual do TSP aplicado durante os dois primeiros cultivos (2004/05 e 2005/06);
- <sup>12</sup> Variação na produtividade, no terceiro cultivo (2006/07), devido ao efeito residual da aplicação do FR no 1º cultivo (2004/05);
- <sup>13</sup>  $ER_{FR} = (\Delta Y_{FR} / Y) \times 100$ . Pode ser entendido como a “contribuição”, em percentagem, do P aplicado no 1º cultivo (na forma de FR a lanço) na produtividade do terceiro cultivo;
- <sup>14</sup> Valores de produtividade retirados da curva de resposta a P, aplicado anualmente como TSP a lanço;

Não foram encontrados na literatura trabalhos relacionados à utilização conjunta de fontes de P, tal qual, apresentando neste trabalho. Algumas informações isoladas foram apresentadas por Kaminski e Peruzzo (1997), mas, os resultados foram trabalhados por meio de testes de médias, o que limita a comparação com as informações aqui apresentadas. A Fundação Mato Grosso (Fundação MT), por meio do Boletim Técnico nº 8, apresentou resultados de um experimento com delineamento muito semelhante ao deste estudo e, embora na publicação não tenha resultados da análise estatística, observa-se claramente a interação positiva entre a aplicação do FR a lanço e a aplicação da fonte solúvel no sulco, durante os três cultivos de soja. Por exemplo, a aplicação de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  a lanço no primeiro cultivo, na forma de Fosfato Natural Reativo, associado à aplicação localizada de P (doses anuais variando entre  $74$  e  $83 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de TSP) resultou em produtividade média, no terceiro cultivo, de  $3342 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $55,7$  sacas por hectare), ao passo que a aplicação somente do FR resultou em  $1206 \text{ kg ha}^{-1}$  e, a aplicação anual somente do TSP, nas doses mencionadas, em  $2976 \text{ kg ha}^{-1}$  (FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT, 2004). Ou seja, seguindo o mesmo procedimento de cálculo utilizado para estimar o  $ER_{FR}$ , verifica-se que a contribuição do FR no valor final da produtividade do terceiro cultivo foi de  $11 \%$ , valor este, muito semelhante aos desse trabalho.

Na Figura 2.13 pode-se visualizar a curva de resposta relacionando a produtividade média de soja (três safras) e as doses totais de P aplicadas, incluindo no ajuste os dados da aplicação isolada do FR (lanço) e do TSP (lanço e sulco). Especificamente no caso do TSP, quando aplicado a lanço, foram consideradas separadamente as informações relacionadas ao efeito residual (TSP Lanço residual) e à aplicação em 2006/07 (TSP lanço reaplicação). Analisando a equação do modelo ajustado, para todas as fontes de P, pode-se dizer que produtividades médias superiores a  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$  foram obtidas com a aplicação de  $700 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . No entanto, quando se considera as fontes de P, verifica-se que produtividades semelhantes ou até superiores à mencionada anteriormente foram alcançadas com a aplicação de menores quantidades de P quando, por exemplo, o TSP foi utilizado em conjunto com o FR.

Interpretando essas informações por meio de teste de médias (Tabela 2.17) pode-se observar, por exemplo, que o tratamento referente a aplicação de  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ , na forma de FR a lanço, em associação com aplicação anual de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de TSP no sulco (Trat. 6) não diferiu estatisticamente da aplicação de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de TSP a lanço durante as três safras (Trat. 1). Dessa forma, ao manejar as fontes de P foi possível obter produtividades médias elevadas e estatisticamente semelhantes, todavia, aplicando-se metade da dose de P ( $600$  vs  $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

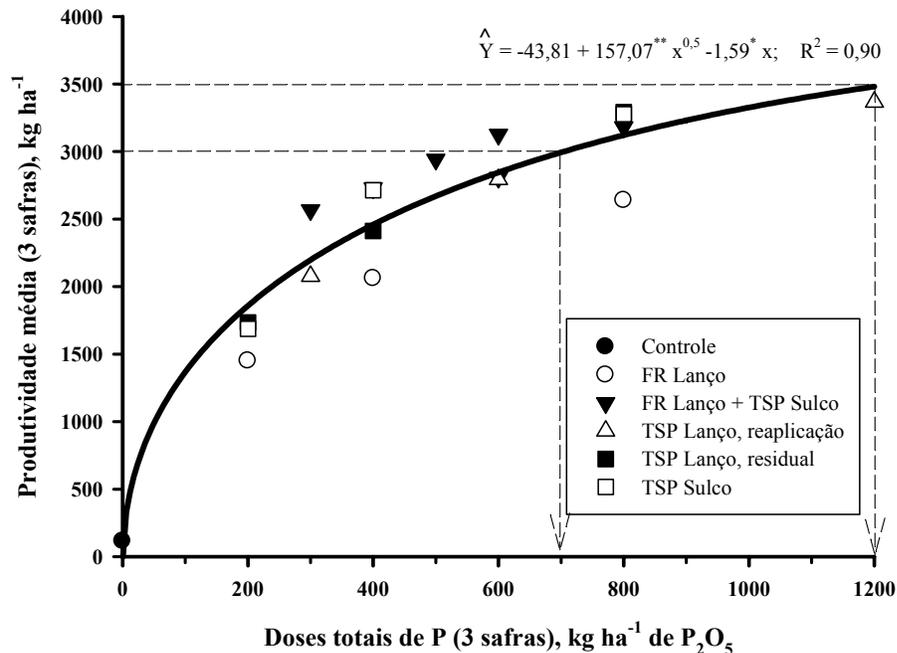


Figura 2.13 - Produtividade média de soja, calculada com os resultados das três safras, em função das doses totais de P aplicadas no mesmo período

Comparando as produtividades médias dentro da mesma dose de P (Tabela 2.17), no caso da aplicação de  $800 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tratamentos 2, 3 e 4), novamente a aplicação em conjunto das fontes não diferiu da aplicação isolada do TSP (tanto a lanço quanto no sulco). Nesse sentido, resposta estatisticamente semelhante ou superior para a aplicação conjunta das fontes, em comparação ao uso isolado das mesmas, foi verificada tanto em doses intermediárias de P ( $400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), quanto nas menores doses ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Por exemplo, a aplicação a lanço de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , na forma de TSP (Trat. 15) resultou em produtividade média de  $2077 \text{ kg ha}^{-1}$ , valor este estatisticamente inferior ao obtido com a aplicação de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{P}_2\text{O}_5$

(FR lanço) em associação com a aplicação anual de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (TSP sulco, safras 2004/05 e 2005/06), que foi de 2567 kg ha<sup>-1</sup> (Trat. 14). Esses resultados indicam que associar a utilização de fontes pode se caracterizar como uma prática agronomicamente viável e interessante, muito embora, estudos complementares sejam necessários.

Tabela 2.17 - Produtividade média de soja (três safras) em função das doses totais e das fontes de P aplicadas

Trat. n°	Fontes de P	Forma de Aplicação	Doses aplicadas	Dose total	Produtividade Média <sup>1</sup>
			(3 safras)		
			kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg ha <sup>-1</sup>	
1	TSP	Lanço	400+400+400	1200	3367 a
2	TSP	Lanço	400+400+0	800	3291 a
3	TSP	Sulco	400+400+0	800	3276 a
4	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(400+200)+(0+200)+(0+0)	800	3181 a b
5	FR	Lanço	400+400+0	800	2638 d e f
6	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(200+200)+(0+200)+(0+0)	600	3126 a b c
7	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(400+100)+(0+100)+(0+0)	600	2807 c d e
8	TSP	Lanço	200+200+200	600	2794 d e
9	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(100+200)+(0+200)+(0+0)	500	2942 b c d
10	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(200+100)+(0+100)+(0+0)	400	2730 d e f
11	TSP	Sulco	200+200+0	400	2714 d e f
12	TSP	Lanço	200+200+0	400	2412 f
13	FR	Lanço	200+200+0	400	2061 g h
14	FR+TSP	(Lanço + Sulco)	(100+100)+(0+100)+(0+0)	300	2567 e f
15	TSP	Lanço	100+100+100	300	2077 g
16	TSP	Lanço	100+100+0	200	1735 h i
17	TSP	Sulco	100+100+0	200	1687 i
18	FR	Lanço	100+100+0	200	1450 i
19	Ctrl	-----	0+0+0	0	115 j

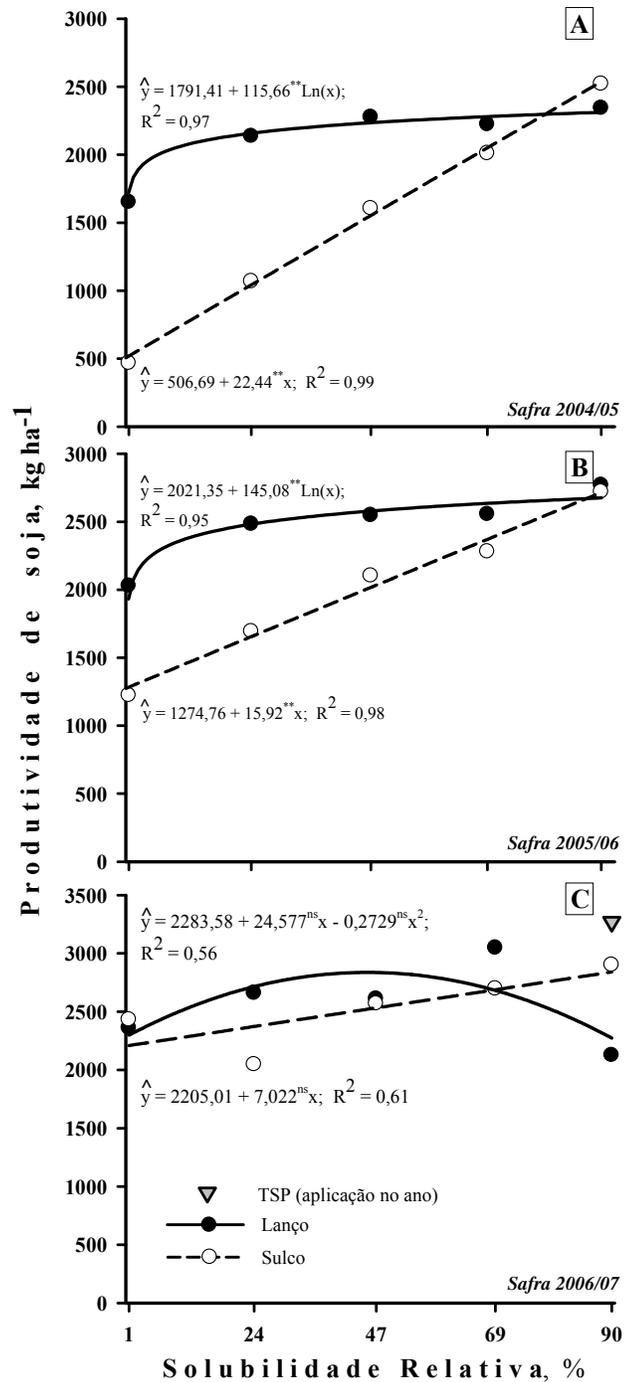
<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

DMS<sub>(5%)</sub> = 327 kg ha<sup>-1</sup>

#### Utilização de “misturas” entre FR e TSP

Na Figura 2.14 pode-se visualizar a resposta da soja, nas três safras, à aplicação das “misturas”, expressas em termos de “solubilidade relativa - SR”, tanto a lanço quanto no sulco de semeadura. Nas safras 2004/05 e 2005/06, quando as “misturas” foram aplicadas no sulco de semeadura, a resposta à solubilidade das mesmas foi linear e, muito provavelmente, esse

relacionamento direto entre a produtividade e a solubilidade se deve em parte ao favorecimento da utilização da fração solúvel pelas plantas (menores perdas com a localização do fertilizante) e, principalmente, a menor eficiência agrônômica da fração não-solúvel (FR) quando se reduz o contato entre o solo e o fertilizante (KHASAWNEH; DOLL, 1978; CHIEN; MENON, 1995a,b; RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996).



*\* Valores extremos de solubilidade (1 e 90 %) correspondem a aplicação isolada do FR e do TSP, respectivamente; Dose de P: 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*

Figura 2.14 - Produtividade de soja, nas safras 2004/05 (A), 2005/06 (B) e 2006/07 (C) em função da solubilidade relativa das fontes e “misturas”

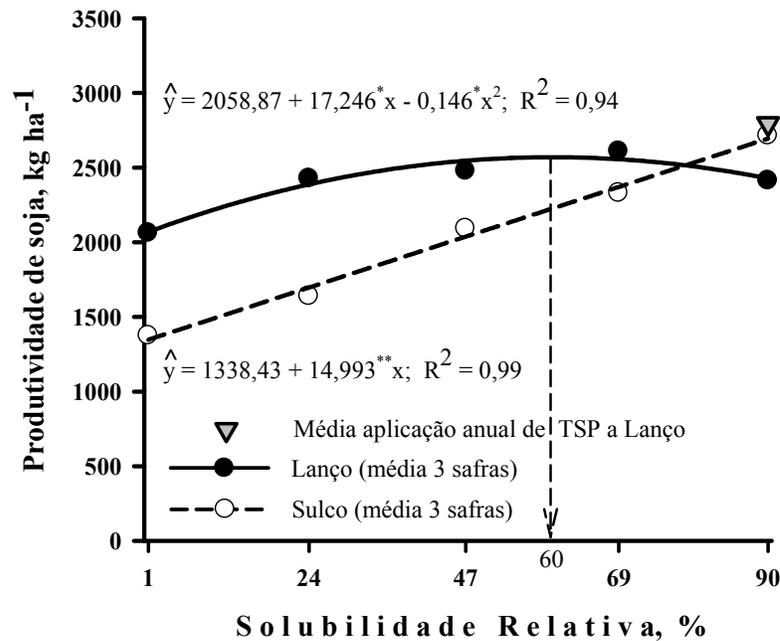
Por outro lado, quando as “misturas” foram aplicadas a lanço foi possível observar a tendência de “plateau” em função da solubilidade, ou seja, nas duas safras não foi verificado aumento importante na produtividade a partir de aproximadamente 50 % de “SR” (Figura 2.14 A e B). Nesse caso, a maior dissolução da fração não solúvel da “mistura” contribuiu para o aumento da produtividade e, conseqüentemente, para a obtenção do “plateau”. Concomitantemente, a aplicação a lanço da fonte solúvel não resultou, necessariamente, em menor eficiência agrônômica (Figura 2.3), contribuindo também com essa tendência. Nessa mesma linha de pesquisa, Motomiya et al., (2004) também obtiveram aumento linear na produtividade de soja à medida que a proporção de TSP aumentava na mistura com o FR Gafsa, quando esta foi aplicada no sulco. Quando as fontes ou as misturas foram aplicadas a lanço, os autores não verificaram diferenças estatísticas entre a aplicação das misturas quando comparadas com a utilização isolada do TSP. Esses resultados reforçam a necessidade de contato com o solo para que haja maior dreno para os produtos da dissolução da fração não solúvel (RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996), o que leva por conseqüência à maior eficiência agrônômica das misturas, quando utilizadas nestas condições.

Na safra 2006/07, sob efeito residual (Figura 2.14 C), a relação entre a produtividade e a solubilidade manteve-se linear para a aplicação no sulco, embora, o coeficiente de determinação do modelo tenha sido menor do que o obtido durante os anos de aplicação (maior variação na resposta). A aplicação a lanço, por sua vez, resultou em resposta quadrática, sendo essa tendência explicada pelo decréscimo na produtividade obtida com a aplicação isolada do TSP. A aplicação das fontes/“misturas”, independentemente da forma de aplicação, resultou em produtividades que variaram em torno de 2500 kg ha<sup>-1</sup>, valor esse próximo a média brasileira na mesma safra (2823 kg ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2007), indicando que em longo prazo, a aplicação dessas fontes e/ou “misturas” podem resultar em valores de produtividade economicamente aceitáveis, principalmente, por não ter sido aplicado P.

É importante destacar que, apesar da resposta à solubilidade ter sido linear quando as fontes/“misturas” foram aplicadas localizadamente, ao se comparar as equações ajustadas para os três anos de cultivo (Figura 2.14), observa-se que a declividade da reta diminui (22,44 em

2004/05; 15,92 em 2005/06 e; 7,02 em 2006/07), indicando que com o tempo a fração não solúvel das “misturas” e o próprio FR aplicado isoladamente contribuem de forma mais efetiva no resultado final de produtividade (aumento nos valores do intercepto das equações). Vale ressaltar que o preparo do solo contribuiu significativamente para o aumento na eficiência das misturas e do FR, aplicado isoladamente. Nesse sentido, Sousa e Lobato (2003) mencionaram a importância do preparo do solo no aumento da EAR do FR, com os cultivos, quando esta fonte foi aplicada localizadamente.

Na média das três safras (Figura 2.15), observou-se novamente, de forma muito clara a resposta linear para a solubilidade, quando as fontes/“misturas” foram aplicadas no sulco de semeadura e a resposta quadrática quando estas foram aplicadas a lanço. Ou seja, quando se localiza as fontes/“misturas” quanto maior a solubilidade em água, melhor a resposta em produtividade, ao passo que, com a aplicação a lanço foi possível estimar o ponto de máxima produtividade, que foi obtido com 60 % de “SR”.



\* Valores extremos de solubilidade (1 e 90 %) correspondem a aplicação isolada do FR e do TSP, respectivamente; Dose de P: 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Figura 2.15 - Produtividade média de soja (três safras) em função da solubilidade relativa das fontes/“misturas”

Ao se comparar as fontes/“misturas” de maior “SR” (TSP:FR, 200:0 e 150:50) com as de menor “SR” (100:100; 150:50 e 0:200), por meio dos contrastes ortogonais (Tabela 2.18), foi

possível verificar que, durante o período em que houve a aplicação de P, as fontes/“misturas” de maior “SR” resultaram em resposta estatisticamente superior ( $p \leq 0,05$ ) à obtida com as de menor “SR”, independentemente da forma de aplicação. No entanto, sob efeito residual, essa diferença foi obtida somente para a aplicação no sulco de semeadura, ou seja, quando as fontes/“misturas” foram aplicadas a lanço, evidenciando mais uma vez, a importância tanto do contato com o solo, quanto do tempo (nº de cultivos) para que ocorra maior dissolução da fração não-solúvel.

Tabela 2.18 - Contrastes ortogonais para a variável produtividade de soja, nas três safras estudadas

Contrastes	Produtividade								
	2004/05			2005/06			2006/07		
	$\bar{X}_1$ <sup>1</sup>	$\bar{X}_2$ <sup>2</sup>	F <sup>3</sup>	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	F	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	F
	— kg ha <sup>-1</sup> —			— kg ha <sup>-1</sup> —			— kg ha <sup>-1</sup> —		
(0:200+50:150) vs (100:100+50:150+200:0) d/ Lanço	2283	2069	3,8*	2662	2353	34,9**	2587	2544	3,9 <sup>ns</sup>
(0:200+50:150) vs (100:100+50:150+200:0) d/ Sulco	2266	1047	123,6**	2500	1673	250,2**	2799	2349	15,2**
(Lanço) vs (Sulco) d/ todas as fontes/“misturas”	2154	1534	66,6**	2477	2004	170,4**	2561	2529	1,8 <sup>ns</sup>
(Lanço) vs (Sulco) d/ 0:200	2343	2521	1,1 <sup>ns</sup>	2768	2720	0,4 <sup>ns</sup>	2125	2900	5,1*
(Lanço) vs (Sulco) d/ 50:150	2223	2010	1,6 <sup>ns</sup>	2556	2280	11,6**	3048	2697	3,8 <sup>ns</sup>
(Lanço) vs (Sulco) d/ 100:100	2276	1605	15,6**	2548	2102	30,3**	2611	2568	0,1 <sup>ns</sup>
(Lanço) vs (Sulco) d/ 150:50	2136	1068	39,5**	2483	1693	95,0**	2661	2046	11,8**
(Lanço) vs (Sulco) d/ 200:0	1794	467	61,1**	2029	1223	98,9**	2361	2432	0,2 <sup>ns</sup>

<sup>1</sup>  $\bar{X}_1$  = média das fontes ou “misturas” de maior solubilidade relativa “SR” (FR:TSP: 0:200 e 50:150); Ou ainda, média dos tratamentos aplicados a lanço;

<sup>2</sup>  $\bar{X}_2$  = média das fontes ou “misturas” de menor solubilidade relativa “SR” (FR:TSP: 100:100; 150:50 e 200:0); Ou ainda, média dos tratamentos aplicados no sulco de semeadura;

<sup>3</sup> ns, \*\*, \*: não significativo, significativo a 1 e 5 %, respectivamente;

Comparando as formas de aplicação (Tabela 2.18), na média das fontes/“misturas”, foi possível observar diferenças estatísticas nas duas primeiras safras, sendo que, durante este período a aplicação a lanço resultou em maiores valores de produtividade (Figura 2.14 A e B). Em 2006/07 essa diferença não foi verificada, isso porque, a aplicação localizada das misturas de menor “SR” resultou em melhor resposta, quando comparada aos dois cultivos anteriores (Figura 2.14 C).

Os contrastes dentro de cada fonte e/ou “mistura” (Tabela 2.18) diferiram muito pouco do que foi obtido com a média das mesmas, salvo algumas exceções. Ou seja, nas safras 2004/05 e 2005/06 verificaram-se diferenças estatísticas entre as formas de aplicação para as “misturas” com menor “SR”, ao passo que, nas de maior “SR”, a aplicação a lanço ou no sulco resultou em

resposta semelhante. Na safra 2006/07, também não foi observada diferença entre as formas de aplicação para a maioria das fontes e “misturas”, exceção feita para a proporção 150:50 (FR:TSP) e para a aplicação isolada do TSP.

Muito provavelmente, a não obtenção de “nível crítico” para a solubilidade relativa, quando as fontes foram aplicadas no sulco de semeadura, está associada ao fato do TSP ter sido aplicado na forma granulada, o que resultaria em menores perdas ou maior eficiência de recuperação, pelas plantas, do P aplicado. Concomitantemente, o FR apresenta menor eficiência quando localizado e, em conjunto, esses dois fatores contribuiriam para a resposta linear em função da “SR”. Dessa forma, o ideal seria que ambas as fontes (TSP e FR) fossem moídas, misturadas nas respectivas proporções e aplicadas na mesma granulometria (pó ou grânulos). No capítulo seguinte, as misturas foram preparadas e granuladas, logo, as variações resultantes da granulometria diferenciada entre a fração solúvel e não-solúvel das misturas foram contornadas.

### **2.3 Considerações finais**

Não houve diferença estatística para a localização do TSP nos anos em que esta fonte foi aplicada. Logo, para a condição de solo estudada, a localização desta fonte não resulta necessariamente em maior eficiência agrônômica. Por outro lado, sob efeito residual, a redução na produtividade é menor quando o TSP é aplicado no sulco de semeadura indicando que nessa condição o menor contato entre o solo e o fertilizante solúvel resulta em maior produtividade. Muito provavelmente, em solos com maiores teores de argila, ou melhor, em solos com maior capacidade de fixação de P, a localização da fonte solúvel resultará em maior eficiência agrônômica.

Durante as duas primeiras safras, a EAR do FR aplicado a lanço foi estatisticamente superior à obtida com a aplicação localizada, assim sendo, pode-se afirmar que o contato entre o solo e a fonte é fundamental para a maior dissolução do FR, tendo em vista que, nesta condição, obtiveram-se elevados valores de EAR (75 e 78 %). Com o tempo e, principalmente, com o preparo do solo, no caso do sistema convencional de cultivo, a aplicação localizada do FR pode resultar em EAR semelhante à das demais fontes;

A utilização conjunta de fontes aparenta ser uma alternativa muito viável sob os aspectos agrônômicos, pois o efeito residual do FR persiste por no mínimo dois cultivos. A interpretação dos resultados por meio de superfície de resposta possibilita a identificação das diversas

combinações entre as fontes que resulta em um mesmo valor de produtividade, permitindo assim, a definição das doses de P não somente em função da produtividade esperada ou obtida, mas também em função de aspectos relacionados ao custo de cada fonte e ao efeito residual do FR, permitindo melhor planejamento da adubação fosfatada da soja.

A aplicação das fontes na forma de “misturas” também aparenta ser agronomicamente viável, desde que, haja condições favoráveis à dissolução da fração com menor solubilidade em água. Especificamente para a aplicação a lanço, estimou-se o ponto em que a solubilidade em água deixa de influenciar diretamente a produtividade de soja, sendo esse valor de 60 % (considerando a média das três safras). Logo, em determinadas condições seria perfeitamente possível aumentar a eficiência da adubação fosfatada trabalhando com a solubilidade das fontes e, além disso, reduzindo os custos e os aspectos ambientais relacionados à acidulação das rochas fosfáticas.

Evidentemente que estudos complementares são necessários, tanto relacionados a eficiência agrônômica dessas fontes em outras condições de solo (pH, textura e capacidade de fixação de P, principalmente) e em outras culturas. Além disso, estudos relacionados também à viabilidade econômica dessas fontes possibilitariam melhor definição das doses buscando-se atingir a máxima eficiência econômica.

## Referências

BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R.; RAIJ, B. van. Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, p. 36-39, 1980.

BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; BULISANI, E.A.; RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. Eficiência agrônômica de nove fosfatos em quatro cultivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 315-319, 1991.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G. Agronomic evaluation of modified phosphate rock products. IFDC's experience. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, p. 197-209 1995a.

\_\_\_\_\_. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.41, p. 227-234, 1995b.

CHIEN, S.H.; SALE, P.W.G.; FRIESEN, D.K. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in solubility. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 24, p. 149-157, 1990.

CHIEN, S.H.; ADAMS, F.; KHASAWNEH, F.E.; HENAO, J. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 51, p. 1656-1658, 1987.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos Safra 2006/2007**. 12º levantamento, setembro de 2007. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12\\_levantamento\\_set2007.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12_levantamento_set2007.pdf). Acesso em: 23 out. 2007.

COUTINHO, E.L.M.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A.S.; SITTA, D.S.X. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1393-1399, 1991.

EMBRAPA. **Manual de análise do solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, 1999. 370p.

\_\_\_\_\_. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil**, 2004. Londrina. Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste: EPAMIG: Fundação Triângulo. 2003. 237 p. (Sistemas de Produção, 4).

FUNDAÇÃO MATO GROSSO – FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa de soja nº 8**. Rondonópolis, 2004. 231 p.

GOEDERT; W.J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, p. 311-318, 1980.

HOROWITZ, N; MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFÓS. 2004. p. 665-687.

HORST, W.J.; KAMH, M.; JIBRIN, J.M.; CHUDE, V.O. Agronomic measures for increasing P availability to crops. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, p. 211-223, 2001.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim Técnico)

KHASAWNEH; F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 159-207, 1978.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 403-408, 1995.

LEAL, J.R.; VELLOSO, A.C.X. Adsorção de fosfato em latossolos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, p. 81-88, 1973.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.

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**, Brasília, v. 39, p. 307-312, 2004.

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

OLIVEIRA JUNIOR, A. de **Disponibilidade de zinco, manganês, cobre e boro para a cultura da soja na região de Balsas (MA)**. 2003. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003

PIMENTEL GOMES, F.; CONAGIN, A. Experimentos de adubação: planejamento e análise estatística. In: OLIVEIRA, A.J. de; GARRIDO, W.E; ARAUJO, J.D. de; LOURENÇO, S. (Ed). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa. 1991, p. 103-188.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; TAYLOR, R.W.; CARMONA, G.; HENAO, J.; DILLARD, E.F. Characterization and agronomic evaluation of single superphosphates varying in iron phosphate impurities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 293-302, 2003.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 284 p.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 57, p. 77-159, 1996.

RESENDE, A.V. de; FURTINI NETO, A.E.; ALVES, V.M.C.; MUNIZ, J.A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D.I.; SANTOS, J.Z.L.; CARNEIRO, L.F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy. 1980. p. 263-310.

SAS Institute. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary, 1985

SFREDO, G.J.; PALUDZYSZYN FILHO, E; GOMES, E.R; Resposta da soja a potássio e a fósforo em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1359-1364, 1994.

SFREDO, G.J.; PALUDZYSZYN FILHO, E; GOMES, E.R; OLIVEIRA, M.C.N. de. Resposta da soja a fósforo e a calcário em Podzólico Vermelho-Amarelo de Balsas, MA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 429-432, 1996.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Informações Agronômicas Potafos**, Piracicaba, n. 102, p. 1-16, jun, 2003.

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

SYSSTAT SOFTWARE Inc - SSI. **TableCurve 3D, version 4**. 2002. Disponível em: <http://www.systat.com/products/TableCurve3D/>. Acesso em: 22 Oct. 2007.

\_\_\_\_\_. **Sigmaplot for Windows, version 10**. 2006. Disponível em: <http://www.systat.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 22 Oct. 2007.

### 3 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES DE P, OBTIDAS COM A GRANULAÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FERTILIZANTES ACIDULADOS E FOSFATO DE ROCHA, PARA A CULTURA DA SOJA NA REGIÃO DE ASSIS, SP

#### Resumo

Para a maioria dos solos brasileiros, principalmente naqueles de exploração recente, a disponibilidade natural de fósforo (P) é o principal fator limitante para que se atinjam elevados níveis de produtividade. Além das práticas notadamente já conhecidas para aumentar a eficiência da adubação fosfatada (p.e. calagem e a localização dos fertilizantes fosfatados com alta solubilidade), a utilização de fontes com menor solubilidade em água pode se consolidar como alternativa viável. Dessa forma, foi instalado, em outubro de 2005, um ensaio a campo com o objetivo de avaliar a eficiência agronômica relativa (EAR) de fontes granuladas de P. Estas fontes foram obtidas a partir da granulação em diferentes proporções, de fertilizantes fosfatados acidulados e fosfato de rocha reativo (FR). Os teores de P solúvel em água obtidos variaram entre 14 e 72 % do teor total de P, sendo esses valores denominados de “Solubilidade Relativa - SR”. Como fonte padrão de elevada solubilidade foi utilizado o superfosfato triplo (TSP). As fontes foram aplicadas de forma localizada em três doses (50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Também foi realizada a aplicação a lanço das fontes na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, além dos tratamentos sem a aplicação de P. O experimento foi instalado em Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) localizado em Palmital, SP, na área experimental da Apta Regional – Pólo Médio Paranapanema, Assis, SP. A textura do solo é muito argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila), com teor de P disponível (resina) de 10 mg dm<sup>-3</sup>, na camada superficial (0-20 cm). O ensaio foi cultivado por duas safras com soja (cv. IAC 23) sendo os tratamentos aplicados em ambos os cultivos. Apesar dos problemas climáticos ocorridos na área experimental durante os dois anos de cultivo, verificou-se resposta significativa tanto para as fontes quanto para as doses de P. De forma geral as fontes com 62 e 71 % de “SR” apresentaram EAR muito semelhantes à do TSP, independentemente da forma de aplicação, indicando que essas fontes podem apresentar viabilidade agronômica. O ajuste dos modelos de regressão relacionando a produtividade em função da solubilidade das fontes também possibilitou estimar o ponto em que a “SR” deixou de influenciar diretamente a resposta das plantas, sendo este valor de aproximadamente 65 %.

Palavras-chave: Solubilidade de fontes de P; Glycine max; Latossolos; Formas de aplicação

## **Agronomic effectiveness of P sources obtained by granulation of different proportions of acidulated fertilizers and phosphate rock for soybean crop in Assis region, SP, Brazil**

### **Abstract**

In most Brazilian soils, mainly in those of recent exploration, the natural availability of P is limiting for productivity. Besides the well-known practices to increase the efficiency of P fertilizers (e.g. liming and localized application of high solubility P sources), the use of sources with less water solubility can be a viable alternative. In order to evaluate the relative agronomic effectiveness (RAE) of P granulated sources, a field essay was carried out in 2005. These sources were obtained by granulation of different proportions of acidulated P fertilizers (triple superphosphate – TSP) and reactive phosphate rock (Algeria PR). The content of water soluble P ranged from 14 to 72% of the total P and these values were named “Relative Solubility - RS”. TSP was used as a standard of high solubility. The P sources were banded in three rates (50, 100 and 200 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Broadcast application was carried out in a rate of 100 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Control treatments (no P applied) were included for both methods of application. The experiment was carried out in a Rhodic Hapludox, in Palmital, SP, in Apta Médio Paranapanema experimental area, Assis, SP. The soil texture was highly clayey and available P (resin) of 10 mg dm<sup>-3</sup> in the superficial layer (0-20 cm). The experiment comprised two harvests of soybean (cv. IAC 23) and the treatments were applied in both of them. Although weather problems occurred in the two years of cultivation, there was a significant response for both P sources and P rates. The P sources with 62 and 71% of “RS” presented RAE similar to TSP, regarding the application form, showing that these sources can present agronomic viability. The regression models, which related soybean yield to P source solubility estimated no response to water soluble P after “RS” of 65%.

Keywords: P sources solubility; Glycine max; Oxisols; Methods of application.

### **3.1 Introdução**

Em escala global, o P é considerado um nutriente limitante a produção em aproximadamente 5,7 bilhões de hectares de terras agricultáveis (HINSINGER, 2001). No Brasil, particularmente na região dos Cerrados, em 92 % das amostras coletadas o teor de P disponível (Mehlich-1) foi inferior a 2 mg dm<sup>-3</sup> (LOPES; COX, 1977). Para o estado de São Paulo, em 2004 aproximadamente em 60 % das amostras analisadas no laboratório do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP, os teores de P disponível (Resina) foram inferiores a 5 mg dm<sup>-3</sup> (PROCHNOW et al, 2005).

Concomitantemente à baixa disponibilidade natural de fósforo (P), a forte interação deste nutriente com a fração argila dos solos muito intemperizados, resulta na baixa eficiência da

adubação fosfatada. O principal processo que leva à baixa eficiência de recuperação do P pelas plantas é a transformação do P lábil para P não-lábil (fixação) que, por sua vez, é resultado dos processos de adsorção específica e de formação de compostos de baixa solubilidade (precipitação), em especial, P-Fe e P-Al (PARFITT, 1978; SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980; NOVAIS; SMYTH, 1999).

A eficiência da adubação fosfatada depende de diversos fatores relacionados ao solo, à planta, ao manejo e à própria fonte de P. Um dos principais fatores relacionado à eficiência agrônômica das fontes é o teor de P solúvel nas diferentes frações ou soluções extratoras (água, citrato neutro de amônio e ácido cítrico) (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004a). Tanto as fontes totalmente aciduladas quanto os fosfatos de rocha apresentam vantagens e desvantagens quanto à utilização. Por exemplo, a aplicação localizada dos superfosfatos é facilitada por se tratar de produtos granulados, mas, a elevada solubilidade em água dessas fontes pode aumentar demasiadamente a concentração de  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$  na solução do solo em um momento de baixa demanda pela planta, resultando na perda de P por processos de adsorção específica e/ou formação de compostos de baixa solubilidade (precipitados) (SAMPLE; SOPER; RACZ, 1980).

Por outro lado, a eficiência agrônômica dos fosfatos naturais, também denominados como fosfatos de rocha (FR), é fortemente influenciada por vários fatores, tais como: (i) características químicas e físicas da rocha; (ii) propriedades do solo; (iii) clima e; (iv) cultura (CHIEN; MENON, 1995). Com isso, dependendo da origem e da reatividade do fosfato, bem como, das condições de clima e solo, a liberação de P proveniente da dissolução do FR pode ser suficientemente adequada ou não, para suprir a demanda da cultura por este nutriente.

Assim, em termos de eficiência agrônômica, o ideal seria a obtenção de uma fonte que agregasse as vantagens dos fertilizantes acidulados e dos fosfatos de rocha com elevada reatividade, ou seja, um produto preferencialmente granulado e que tenha solubilidade em água intermediária entre a dos superfosfatos e a dos FRs. Teoricamente, isso possibilitaria a liberação imediata de parte do P, sendo o restante liberado de acordo com a taxa de dissolução do FR. Teria-se, então, um produto similar aos fertilizantes parcialmente acidulados, mas, sem as limitações oriundas da acidulação parcial, tais como, a formação de fosfato dicálcico ou o recobrimento com  $\text{CaSO}_4$ . Possivelmente, um fertilizante com esse mecanismo de liberação do P apresente maior eficiência agrônômica em relação aos superfosfatos devido a melhor “sincronia” entre a demanda da planta e o fornecimento de P, resultando em menores perdas do P aplicado.

O objetivo do trabalho foi verificar a eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados granulados obtidos com diferentes proporções de fosfatos acidulados e de rocha para a cultura da soja, bem como, estimar, quando existente, o valor em que a solubilidade das fontes deixa de influenciar diretamente a resposta das plantas.

## 3.2 Desenvolvimento

### 3.2.1 Material e Métodos

#### *Descrição das Fontes de Fósforo*

As fontes com diferentes teores de P solúvel em água foram obtidas a partir da granulação com diferentes proporções de fertilizante fosfatado totalmente acidulado e de fosfato de rocha reativo, buscando-se assim, obter teores de P solúvel em água que fossem equivalentes a 20, 40, 60 e 80 % do teor total de P, valores estes que foram denominados de “solubilidade relativa - SR”. No entanto, os valores reais<sup>13</sup> obtidos, após o processo de granulação foram: 24 %; 54 %; 62 % e 71 %, respectivamente. A diferença entre os valores planejados e os obtidos se deve as variações que ocorreram durante o processo de granulação das misturas. Os resultados da análise química dessas fontes de P, com os quatro métodos de extração, bem como, os valores de “SR” estão apresentados na Tabela 3.1.

A fonte padrão de elevada solubilidade em água utilizada foi o Superfosfato Triplo (TSP), com 92 % de “SR” e a fonte padrão de baixa solubilidade utilizada o Fosfato Natural Reativo Argélia, com 0,6 % de “SR”. Para a granulação do FR, teoricamente denominado como “Fosf. 0 %” foi necessário adicionar pequena quantidade de ácido sulfúrico, fato esse, que proporcionou o incremento no teor de  $P_2O_5$  solúvel em água dessa fonte, obtendo-se assim produto com 14 % de “SR” (Tabela 3.1).

É importante ressaltar que, diferentemente do capítulo anterior em que as fontes foram aplicadas separadamente em proporções que resultassem na mesma dose final de P, neste caso as fontes (FR e fosfato acidulado) foram misturadas nas respectivas proporções e granuladas.

---

<sup>13</sup> As amostras foram analisadas em duplicata no Laboratório de Análise de Fertilizantes, do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP

Tabela 3.1 - Teores de fósforo total, solúvel em água e em solução de citrato neutro de amônio (CNA+Água) e de ácido cítrico a 2 %, além dos respectivos índices de solubilidade das fontes e os teores de enxofre

Fontes de P <sup>1</sup>	Teor de Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )				Solubilidade Relativa <sup>2</sup>	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	Total	Água	CNA+Água	Ác. Cítrico		
	%					
TSP	43,1	39,7	40,2	41,8	92	2,2
Fosf. 71 %	27,1	19,3	21,1	24,4	71	8,4
Fosf. 62 %	25,9	16,2	17,4	21,2	62	8,2
Fosf. 54 %	24,1	12,9	13,8	18,3	54	8,6
Fosf. 24 %	24,9	6,0	8,9	15,0	24	5,4
Fosf. 14 %	25,6	3,6	7,0	14,5	14	4,8
FR	28,9	0,2	2,9	9,6	0,6	1,2

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada.

<sup>2</sup> Relação entre o teor de P solúvel em água e o teor total:  $[(P_{2O_{5\text{água}}}/P_{2O_{5\text{total}}}) \times 100]$

### Descrição do experimento

O experimento foi instalado em outubro de 2005 em área pertencente à APTA Regional – Pólo Médio Paranapanema e está localizado no município de Palmital, SP, (Figura 1, Apêndice B) sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), de textura muito argilosa (860 g kg<sup>-1</sup> de argila), com teor de P disponível (resina) de 10 mg dm<sup>-3</sup>, na camada superficial (0 - 20 cm) e com elevada capacidade máxima de fixação de P (1,238 mg g<sup>-1</sup>) (Figura 2, Apêndice B). Na Tabela 3.2, estão apresentados os resultados da caracterização física e química da área, sendo os resultados correspondentes à amostragem realizada 30 dias após a calagem. As determinações químicas foram realizadas seguindo os procedimentos descritos por Raij et al., (2001) e as determinações físicas de acordo com os procedimentos descritos em Embrapa, (1997). A calagem foi realizada aplicando-se 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, visando atingir 70 % de saturação por bases, sendo o corretivo incorporado à 20 cm de profundidade por meio de gradagem.

Tabela 3.2 - Caracterização química<sup>1</sup> e física dos solos

Prof.	Argila	Silte	Areia	pH <sub>CaCl2</sub>	C.O.	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	m
cm	g kg <sup>-1</sup>				g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>							— % —	
0-20	860	120	20	5,0	20	10	2,2	31	25	0	38	58,2	96,2	60	0
20-40	870	120	10	4,8	14	4	1,4	12	9	2	38	22,4	60,4	37	8

<sup>1</sup> pH: CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; C.O.: Dicromato de potássio; P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>: Resina de troca iônica; Al<sup>3+</sup>: KCl 1 mol L<sup>-1</sup>;

As sete fontes de P foram aplicadas no sulco de semeadura em três doses (50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), calculadas com base no teor total de P das fontes (Tabela 3.1). As fontes também foram aplicadas a lanço em área total das parcelas, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Foram, ainda, incluídos dois tratamentos adicionais sem a aplicação de P (testemunhas), sendo um para os tratamentos aplicados no sulco e o outro para os tratamentos a lanço (Tabela 3.3). Dessa forma, obteve-se o seguinte esquema experimental: {[ (7x3)+1 ] + [ (7x1)+1 ]}, totalizando assim, 30 tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso com quatro repetições. A área total da parcela foi de 28 m<sup>2</sup> (4 m x 7 m) e a área útil de colheita, foi de 10 m<sup>2</sup> (2 m x 5 m).

No primeiro cultivo, por ocasião do preparo do solo visando a incorporação do calcário, o ensaio foi conduzido no sistema convencional, sendo que, durante a aplicação dos tratamentos, a área foi sulcada (espaçamento 0,5 m entre-sulcos) e os fertilizantes correspondentes aos tratamentos com aplicação localizada foram então distribuídos uniformemente nos sulcos. Os fertilizantes correspondentes à aplicação a lanço também foram distribuídos manualmente na área total das respectivas parcelas, sendo incorporados superficialmente ao solo (aproximadamente 5 cm), utilizando enxadas. Após a aplicação dos fertilizantes a área foi semeada mecanicamente. No ano seguinte, os fertilizantes foram aplicados seguindo os mesmos procedimentos anteriormente descritos, no entanto, a área foi sulcada sem o preparo do solo (sistema de semeadura direta) e, no caso dos tratamentos a lanço não foi realizada a incorporação dos fertilizantes ao solo. Em ambas as safras, o cultivar de soja semeado foi o IAC-23, com o espaçamento entre-linhas de 0,50 m.

Tabela 3.3 - Descrição dos tratamentos

Trat. n°	Fonte de P <sup>1</sup>	Forma de aplicação	Doses de Fósforo <sup>12</sup>	
			Safra 2005/2006	Safra 2006/2007
			kg ha <sup>-1</sup> de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1	Testemunha	Sulco	0	0
2	Fosf. 14 %	Sulco	50	50
3	Fosf. 24 %	Sulco	50	50
4	Fosf. 54 %	Sulco	50	50
5	Fosf. 62 %	Sulco	50	50
6	Fosf. 71 %	Sulco	50	50
7	TSP	Sulco	50	50
8	FR	Sulco	50	50
9	Fosf. 14 %	Sulco	100	100
10	Fosf. 24 %	Sulco	100	100
11	Fosf. 54 %	Sulco	100	100
12	Fosf. 62 %	Sulco	100	100
13	Fosf. 71 %	Sulco	100	100
14	TSP	Sulco	100	100
15	FR	Sulco	100	100
16	Fosf. 14 %	Sulco	200	200
17	Fosf. 24 %	Sulco	200	200
18	Fosf. 54 %	Sulco	200	200
19	Fosf. 62 %	Sulco	200	200
20	Fosf. 71 %	Sulco	200	200
21	TSP	Sulco	200	200
22	FR	Sulco	200	200
23	Fosf. 14 %	Lanço	100	100
24	Fosf. 24 %	Lanço	100	100
25	Fosf. 54 %	Lanço	100	100
26	Fosf. 62 %	Lanço	100	100
27	Fosf. 71 %	Lanço	100	100
28	TSP	Lanço	100	100
29	FR	Lanço	100	100
30	Testemunha	Lanço	0	0

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

Na safra 2005/06 (1º cultivo) foi aplicado 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl), sendo 60 kg ha<sup>-1</sup> na semeadura e o restante em cobertura aos 30 dias após a emergência, 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn e de Mn, 1 kg ha<sup>-1</sup> de Cu (todos na forma de sulfato) e 0,5 kg ha<sup>-1</sup> de B, na forma de ácido bórico. Como as fontes de P apresentam enxofre na composição (Tabela 3.1), a quantidade de S foi equilibrada com gesso granulado, sendo que, a dose final de S aplicada (fonte de P + gesso) foi de 72 kg ha<sup>-1</sup> de S, quantidade esta correspondente à adicionada com a fonte “Fosf. 24 %”, na maior dose aplicada de P. Em 2006/07 (2º cultivo), novamente foi aplicado 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, bem como, as doses de S necessárias para equilibrar a quantidade de S adicionada com os fertilizantes fosfatados. Os micronutrientes não foram aplicados, pois, considerou-se adequado o residual da aplicação do ano anterior (EMBRAPA, 2003). Também foi realizada, em ambos os anos, a inoculação das sementes de soja com *Bradyrhizobium*, via inoculante líquido.

O regime pluviométrico durante as duas safras não foi suficientemente adequado para o perfeito desenvolvimento das plantas (Figura 3.1), principalmente na safra 2005/06, em que longos períodos sem precipitação adequada foram verificados. Na safra seguinte, o volume total acumulado foi maior, no entanto, ocorreu logo após a semeadura um período relativamente longo sem precipitação, que prejudicou o desenvolvimento inicial das plantas, principalmente em relação à estatura. Após esse período, a precipitação foi adequada para o desenvolvimento das plantas.

A produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) foi obtida coletando-se 10 plantas na área útil das parcelas, cortando-as rente à superfície do solo. Na safra 2005/06 as plantas foram coletadas no estágio fenológico R<sub>2</sub> (florescimento pleno), ao passo que, na safra seguinte a coleta foi realizada no estágio R<sub>5</sub> (grãos completamente formados). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir massa constante, procedendo-se então a pesagem, em balança analítica com exatidão de 0,01 g, e a moagem das mesmas em moinho tipo Willey. O P das amostras foi extraído via digestão nítrico-perclórica, sendo a dosagem realizada por meio do método colorimétrico do metavanadato, seguindo os procedimentos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A massa das 10 plantas foi relacionada com os dados de população de plantas das parcelas, possibilitando a apresentação dos resultados de MSPA, em kg ha<sup>-1</sup>. A partir das informações de MSPA e teor de P na MSPA foi possível calcular o conteúdo de P na MSPA (P acumulado).

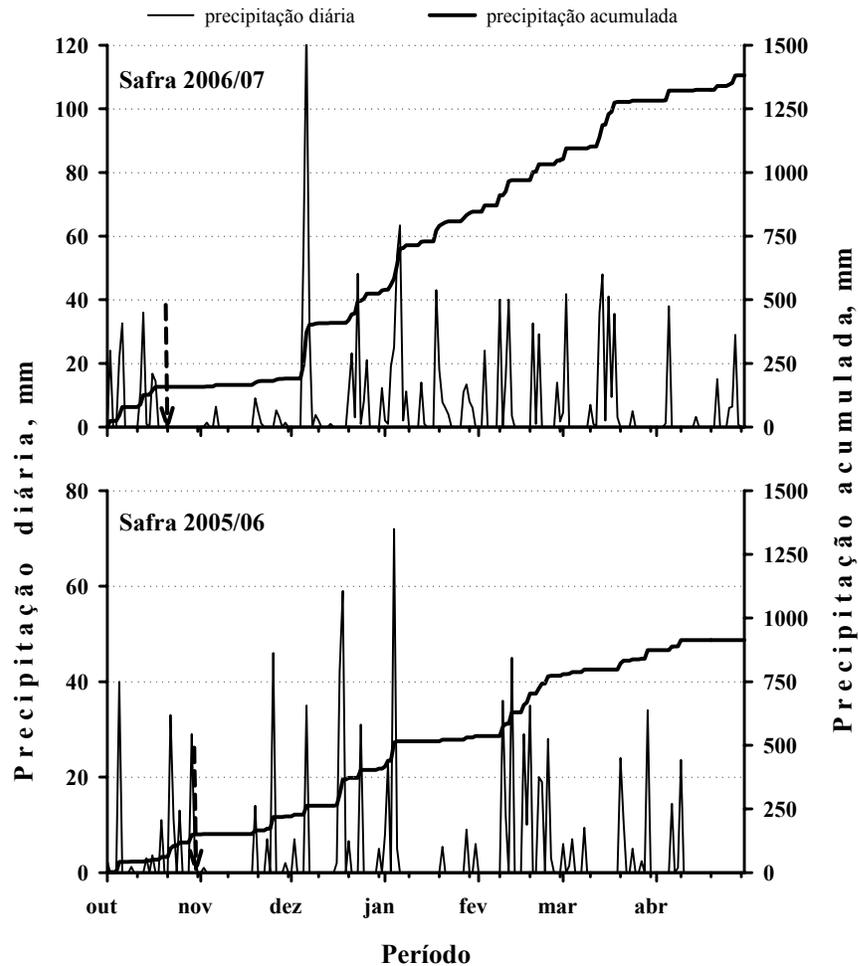


Figura 3.1 – Dados pluviométricos referentes às duas safras em que o experimento foi conduzido. (As setas indicam a data de semeadura)

Para avaliar a produtividade de grãos, colheram-se quatro linhas de soja com cinco metros de comprimento cada. As amostras de grãos foram acondicionadas em sacos de papel, procedendo-se posteriormente a pesagem e a determinação da umidade dos grãos.

Na primeira safra, a amostragem de solo foi realizada retirando-se amostras de terra na linha da cultura. Na safra seguinte, a coleta foi realizada tanto na linha quanto na entre-linha e, em ambos os casos, a profundidade amostrada foi de 20 cm. As amostras foram secas à 50 °C em estufa de circulação forçada de ar, moídas e peneiradas a 2 mm. Determinaram-se, então, os teores disponíveis de P por dois métodos de análise: i. resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001) e; ii. Mehlich-1 (EMBRAPA, 1999).

### Análise dos dados

Os resultados foram analisados por meio de ANOVA, testes de médias e por regressão linear simples e múltipla. A ANOVA foi realizada seguindo dois esquemas experimentais (Esquemas 1 e 2). O primeiro esquema foi utilizado para verificar o efeito das fontes de P, nas três doses aplicadas no sulco de semeadura, ou seja, desconsiderando-se os tratamentos aplicados em área total. Dessa forma, obtêm-se um fatorial 4 x 7, sendo quatro doses (testemunha incluída como dose) e as sete fontes de P. Pelo fato do fator dose ser uma variável quantitativa, a interpretação desse efeito, isoladamente ou em interação significativa com as fontes, foi realizada por meio de regressões lineares simples e múltiplas utilizando-se o software “Statistical Analysis System – SAS” (SAS INSTITUTE, 1985), considerando o nível de significância de 5 %.

No Esquema 2 foi considerado o efeito das “doses de P” e das “fontes de P”, sendo que, o fator “forma de aplicação” foi agrupado ao fator “dose de P” e, a testemunha também foi considerada como uma fonte de P, obtendo-se assim, um fatorial completo 4 x 8. Esse esquema possibilita a comparação, por meio do teste de Tukey, dos tratamentos aplicados no sulco e em área total. Essas análises foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico SANEST (ZONTA; MACHADO, 1984), considerando o nível de significância de 5 % de probabilidade ( $P < 0,05$ ), tanto na ANOVA quanto no teste de médias. Na Tabela 1 do Apêndice B, estão detalhados os esquemas utilizados na análise de variância.

O cálculo da EAR, para as fontes aplicadas no sulco de semeadura, foi realizado a partir da relação entre os estimadores do modelo de regressão ajustado para cada fonte, conforme descrito por Chien, Sale e Friesen (1990). Dessa forma, a EAR é obtida da seguinte maneira:

$$\text{EAR (\%)} = \frac{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}{\beta_{1 \text{ Fonte padrão}}} \times 100 \quad (1)$$

sendo:

$\beta_{1 \text{ Fonte } i}$ : é coeficiente angular da fonte testada de P;

$\beta_{1 \text{ Fonte padrão}}$ : é coeficiente angular da fonte padrão de P, nesse caso, o TSP aplicado no sulco de semeadura;

Foram testados três modelos (linear, semi-raiz quadrático e logarítmico), escolhendo-se aquele que resultassem em melhor ajuste (maior  $R^2$  e menor desvio padrão da regressão):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i; X_i \geq 0$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^{0,5} + \epsilon_i; X_i \geq 0$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln(X_i) + \epsilon_i; X_i \geq 1$$

em que:

$Y_i$ : é a variável dependente (produção de matéria seca, P acumulado, produtividade de grãos) obtidas com a aplicação da fonte  $i$ ;

$X_i$ : é a dose de P aplicada na forma da fonte  $i$ ;

$\beta_0$ : é o ponto comum de intercepção das regressões com o eixo Y,

$\beta_1$ : é o coeficiente angular da regressão para a fonte  $i$ ; e

$\epsilon_i$ : é o termo de erro para a regressão proposta.

Sabendo-se que para 1 grau de liberdade (numerador),  $F_{\text{calculado}} = t^2$ , a comparação entre os coeficientes angulares foi realizada por meio do teste F, em que o valor tabelado é obtido a partir do grau de liberdade do estimador (1) e do grau de liberdade do resíduo da regressão (G.L.Resíduo) e o valor calculado de F é resultado da seguinte equação:

$$t = \frac{\beta_{1 \text{ Fonte } i} - \beta_{1 \text{ Fonte } j}}{\sqrt{(EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}})^2 + (EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } j}})^2}} \quad \therefore F = t^2 \quad (2)$$

em que:

$\beta_{1 \text{ Fonte } i}$ : é o valor do coeficiente angular obtido com a aplicação da Fonte  $i$ ;

$\beta_{1 \text{ Fonte } j}$ : é o valor do coeficiente angular obtido com a aplicação da Fonte  $j$ ;

$EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } i}}$ : é o erro padrão do estimador  $\beta_1$  da Fonte  $i$ ;

$EP_{\beta_{1 \text{ Fonte } j}}$ : é o erro padrão do estimador  $\beta_1$  da Fonte  $j$ ;

Dessa forma, se o valor calculado de F for inferior ao valor tabelado (com um nível alpha de probabilidade, normalmente 5 %) têm-se que os estimadores da regressão são estatisticamente idênticos. Conseqüentemente, as fontes apresentam EAR semelhantes, à 5 % probabilidade.

Para a aplicação das fontes a lanço, por haver somente uma dose de P, a EAR foi calculada da seguinte maneira:

$$EAR (\%) = \frac{Y_{\text{Fonte } i} - Y_{\text{Testemunha}}}{Y_{\text{Fonte padrão}} - Y_{\text{Testemunha}}} \times 100 \quad (3)$$

em que:

$Y_{\text{Fonte } i}$  = é a resposta obtida com a aplicação da Fonte  $i$ ;

$Y_{\text{Fonte padrão}}$  = é a resposta obtida com a aplicação da Fonte padrão (TSP aplicado no sulco);

$Y_{\text{Testemunha}}$  = é a resposta obtida sem a aplicação de P (Testemunha sulco ou lanço);

Em virtude de haver curvas de resposta para a “SR” e também para as doses de P, quando aplicadas no sulco de semeadura, foi possível relacionar por meio de análise de regressão múltipla a resposta da planta em termos de produtividade relativa (PR) ou ainda os teores disponíveis de P no solo com esses dois fatores (“SR” e dose). Esses modelos de regressão múltipla foram ajustados utilizando o software SigmaPlot® versão 10 (SYSTAT SOFTWARE Inc., 2006). Os valores relativos de produtividade foram calculados com base na resposta da planta com a maior dose de P, na forma de TSP. Foram traçadas as isolinhas a partir da equação ajustada, para melhor demonstrar as possíveis combinações entre as variáveis independentes que resultam em um dado nível de PR.

Também foram ajustados modelos de regressão linear procurando modelar a resposta da planta em função da “SR” das fontes. Quando possível, procurou-se ajustar o modelo “linear-plateau” descrito em Alvarez V., (1991), com o objetivo de definir o valor no qual a solubilidade deixa de influenciar a resposta das plantas.

### 3.2.2 Resultados e Discussão

Os dados originais referentes às variáveis produção de MSPA, teor e P acumulado na MSPA, Produtividade, Teor disponível de P no solo (Resina e Mehlich-1), em ambas as safras, estão apresentados nas Tabelas 2 a 13 do Apêndice B. Os resultados da análise de variância para essas mesmas variáveis, seguindo os dois esquemas de análise utilizados, podem ser visualizados nas Tabelas 14 a 17 do Apêndice B.

#### *Eficiência Agronômica das fontes aplicadas no sulco de semeadura*

A relação entre a MSPA e as doses de P, aplicadas no sulco foi melhor explicada pelo ajuste dos modelos linear e semi-raiz quadrático, respectivamente para as safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 3.4 e Figura 3.2.A e B). Na primeira safra, em função tanto do estágio das plantas na coleta ( $R_2$ ), quanto das condições climáticas adversas, os valores de MSPA foram bem

menores do que os valores obtidos na safra seguinte, cujas condições climáticas foram melhores (Figura 3.1). Além disso, a coleta foi realizada em um estádio de maior acúmulo de matéria seca ( $R_5$ ). Certamente, o clima e o estádio fisiológico das plantas na coleta das amostras contribuíram para a resposta linear em uma safra e raiz quadrática na outra. Resultados semelhantes foram verificados para o P acumulado na MSPA (Tabela 3.5 e Figura 3.2 C e D)

Tabela 3.4 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>1</sup> ajustada para a variável Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA), nas safras 2005/06 e 2006/07, em função da doses de P aplicadas no sulco de semeadura e, os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Fontes de P	Parâmetro	MSPA (2005/06)		MSPA (2006/07)	
		Estimativa dos parâmetros	EAR	Estimativa dos parâmetros	EAR
			%		%
	$\beta_0$	885,0000		1947,0000	
TSP	$\beta_1$	6,2298** AB	100	357,0775** A	100
Fosf.71 %	$\beta_2$	7,1474** A	115	278,9736** B	78
Fosf.62 %	$\beta_3$	5,9505** AB	96	295,2039** B	83
Fosf.54 %	$\beta_4$	5,2448** B	84	198,7278** C	56
Fosf.24 %	$\beta_5$	3,2807** C	53	216,2417** C	61
Fosf.14 %	$\beta_6$	2,0407** C	33	140,2787** D	39
FR	$\beta_7$	0,3426 <sup>ns</sup> D	6	100,6575** D	28
CV (%)		8,5		8,9	
R <sup>2</sup>		0,99		0,99	
Desvio padrão da regressão		107,9		328,5	
Erro padrão dos parâmetros		0,47		17,56	

<sup>1</sup> Modelo linear em 2005/06 e semi-raiz quadrático em 2006/07;

<sup>ns, \*\*</sup> Não significativo e significativo ao nível de 1 % de probabilidade, respectivamente;

A resposta das plantas em termos de produção de MSPA (Tabela 3.4) e P acumulado (Tabela 3.5) possibilitou classificar, com base na EAR, as fontes em três grupos: i. fontes com EAR semelhante ou muito próxima à do padrão (Fosf. 62 % e Fosf 71 %); ii. fontes com desempenho intermediário, com EAR que variaram entre 50 e 80 % (Fosf. 24 % e Fosf. 54 %) e; iii. fontes com resultado agrônômico baixo, ou seja, com EAR inferior a 50 % (Fosf. 14 % e FR).

Logo, ficou evidente que a EAR das fontes foi diretamente proporcional à fração solúvel em água das mesmas.

Tabela 3.5 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>1</sup> ajustada para a variável P acumulado na matéria seca da parte aérea de soja, nas safras 2005/06 e 2006/07, em função da doses de P aplicadas no sulco de semeadura e, os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Fontes de P	Parâmetro	P acumulado (2005/06)		P acumulado (2006/07)	
		Estimativa dos parâmetros	EAR	Estimativa dos parâmetros	EAR
			%		%
	$\beta_0$	0,9900		2,4100	
TSP	$\beta_1$	0,0118** AB	100	0,9044** A	100
Fosf.71 %	$\beta_2$	0,0120** A	102	0,6827** B	75
Fosf.62 %	$\beta_3$	0,0107** AB	91	0,7711** AB	85
Fosf.54 %	$\beta_4$	0,0094** B	80	0,5189** C	57
Fosf.24 %	$\beta_5$	0,0060** C	51	0,4517** C	50
Fosf.14 %	$\beta_6$	0,0032** D	27	0,2867** D	32
FR	$\beta_7$	0,0011 <sup>ns</sup> D	9	0,2267** D	25
CV (%)			10,9		15,9
R <sup>2</sup>			0,99		0,98
Desvio padrão da regressão			0,18		1,03
Erro padrão dos parâmetros			0,0008		0,055

<sup>1</sup> Modelo linear em 2005/06 e semi-raiz quadrático em 2006/07;

<sup>ns, \*\*</sup> Não significativo e significativo ao nível de 1 % de probabilidade, respectivamente;

Considerando que nas plantas o P está diretamente envolvido na transferência de energia (ATP), a baixa disponibilidade desse nutriente leva a redução na taxa de crescimento, diminuindo, por exemplo, a área foliar tanto pelo menor número de folhas quanto pela menor expansão das mesmas, ou ainda, a formação dos órgãos reprodutivos (ARAÚJO; MACHADO, 2006). Logo, a disponibilidade de P no solo influencia diretamente a produção de MSPA (Figura 3.2) e, conseqüentemente, a produtividade da soja (Figura 3.3), pois, a EAR das fontes calculada com base na produtividade (Tabela 3.6), variou muito pouco em relação aos valores obtidos com a MSPA.

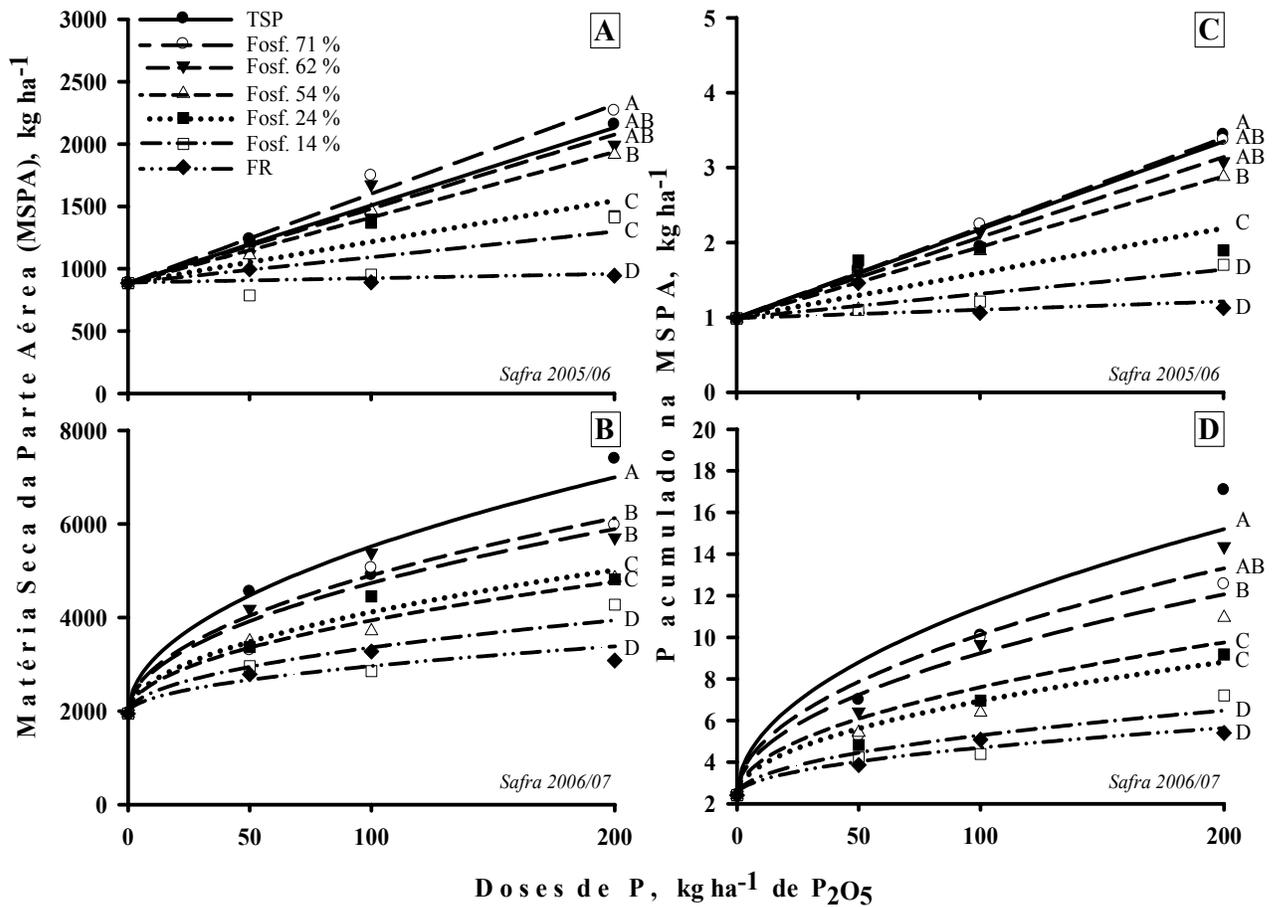


Figura 3.2 - Produção de Matéria Seca na Parte Aérea (MSPA) e P acumulado na MSPA, nas safras 2005/06 (A e C) e 2006/07 (B e D) em função das doses de P aplicadas no sulco de semeadura

Em função dos problemas climáticos, os valores de produtividade na safra 2005/06 foram muito baixos, mesmo assim, observou-se tendência de aumento na EAR em função do aumento da fração solúvel (Tabela 3.6), sendo que, nesse ano a fonte com 62 % de solubilidade relativa (Fosf. 62 %) apresentou maior valor de EAR, diferindo estatisticamente das demais. No ano seguinte, os valores de produtividade foram maiores e foi possível separar os três grupos de fontes anteriormente mencionados, não havendo diferenças estatísticas entre as fontes de maior solubilidade.

Tabela 3.6 - Estimativas dos parâmetros da equação de regressão<sup>1</sup> ajustada para a variável produtividade de soja, nas safras 2005/06 e 2006/07, em função da doses de P aplicadas no sulco de semeadura e, os respectivos valores de Eficiência Agronômica Relativa (EAR)

Fontes de P	Parâmetro	Produtividade (2005/06)		Produtividade (2006/07)	
		Estimativa dos parâmetros	EAR	Estimativa dos parâmetros	EAR
			%		%
	$\beta_0$	523,0000		589,0000	
TSP	$\beta_1$	62,4363** B	100	108,9617** A	100
Fosf.71 %	$\beta_2$	54,7755** C	88	102,6204** A	94
Fosf.62 %	$\beta_3$	70,6413** A	113	113,7144** A	104
Fosf.54 %	$\beta_4$	45,2336** D	72	72,2056** B	66
Fosf.24 %	$\beta_5$	35,8918** E	57	64,2668** BC	59
Fosf.14 %	$\beta_6$	27,7022** F	44	51,3793** C	47
FR	$\beta_7$	9,1908** G	15	22,5401** D	21
CV (%)			5,2		9,5
R <sup>2</sup>			0,99		0,99
Desvio padrão da regressão			45,16		111,29
Erro padrão dos parâmetros			2,41		5,95

<sup>1</sup> Modelo semi-raiz quadrático em ambas as safras;

\*\* Significativo ao nível de 1 % de probabilidade;

Resultados provenientes de ensaios de campo com misturas de fontes no mesmo grânulo ainda são escassos, no entanto, em condições controladas existem na literatura vários trabalhos comprovando ou não a eficiência dessas misturas. Por exemplo, Prochnow et al., 2004b verificaram que a mistura de SSP com FR Patos de Minas (baixa reatividade), na proporção 1:1, resultou em EAR semelhante (99 %) a do padrão, para o trigo, sendo esse valor de EAR consequência da maior eficiência agronômica do FR Patos quando na presença do SSP.

Villanueva et al., (2006), avaliando a EAR da mistura de TSP com FR Patos de Minas, em mudas de Eucaliptos verificaram, por meio de traçador (<sup>32</sup>P), que a presença do TSP na mistura levou ao aumento de 217 % na absorção de P proveniente do FR para a espécie *E. urophylla* e de 236 % para *E. grandis*. Resultados confirmando esse efeito sinérgico, ou seja, a fração solúvel da mistura contribuindo para o aumento da eficiência do FR também foram obtidos por Chien et

al., (1987); Menon e Chien, (1990); Chien, Menon e Billingham (1996); Zapata e Zaharah, (2002); Begum, Narayanasamy e Biswas, (2004).

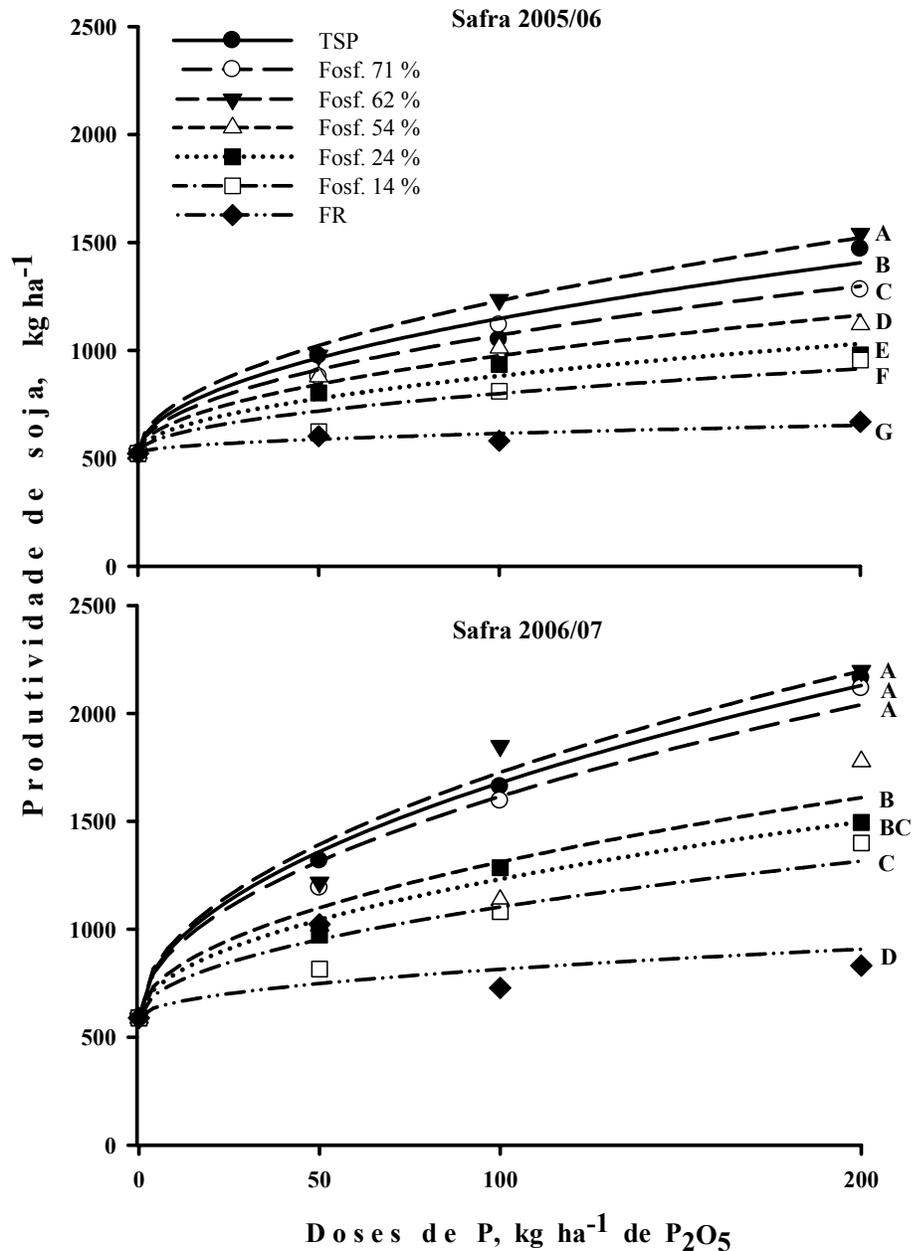


Figura 3.3 - Produtividade de grãos de soja (safra 2005/06 e 2006/07) em função das doses de P aplicadas na linha de semeadura.

Analisando os modelos de regressão múltipla (superfícies de resposta) que relacionaram a produtividade relativa (PR) de soja em função das doses e da solubilidade relativa das fontes (Figura 3.4), foi possível observar a importância de ambos os fatores (dose e solubilidade) para a

obtenção de produtividades relativa elevadas, uma vez que, doses altas associadas à fontes com baixa “SR” ou doses baixas associadas a fontes de elevada “SR” resultaram em aproximadamente 50 % de PR, somente.

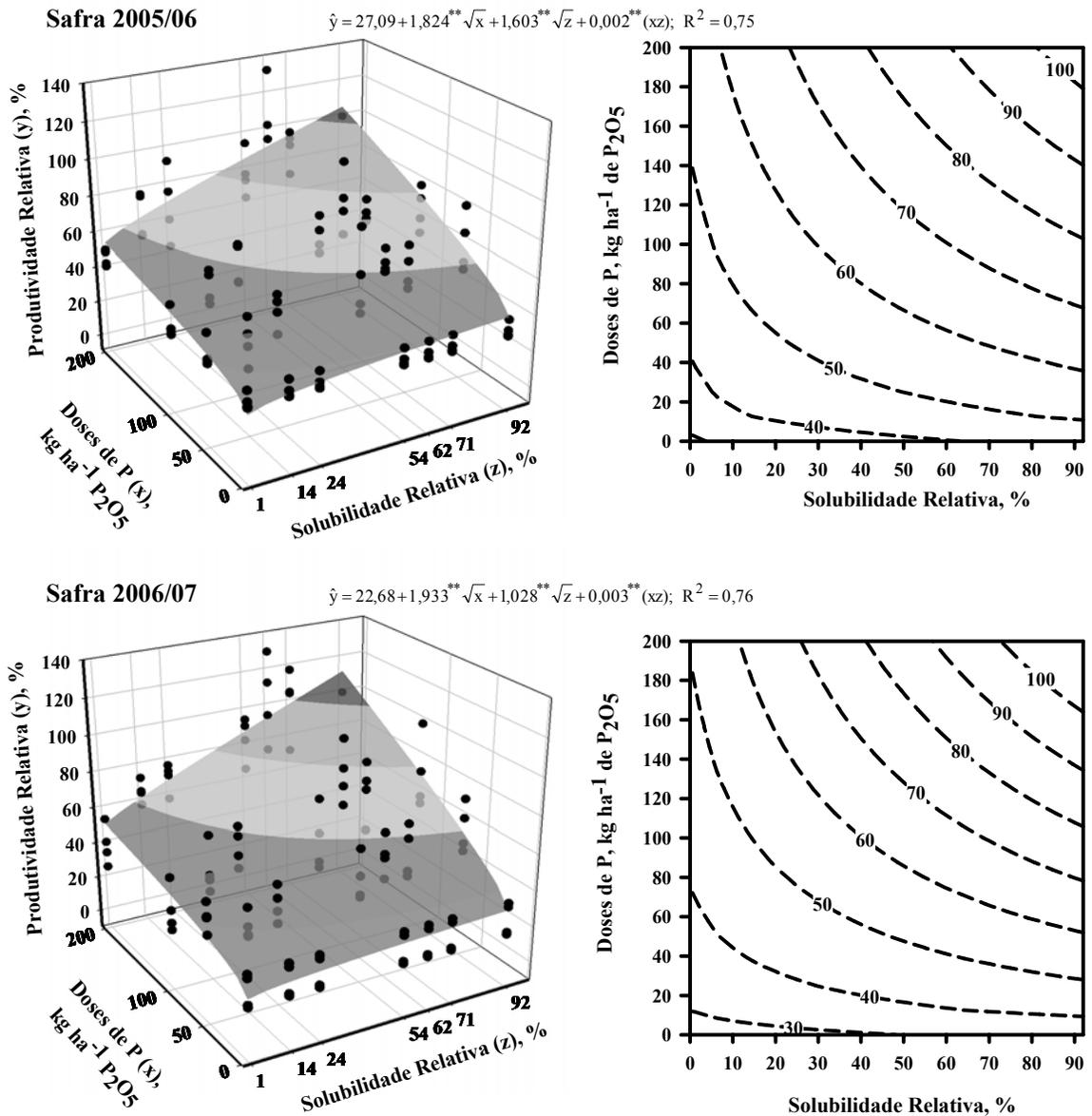


Figura 3.4 - Produtividade relativa de soja (safras 2005/06 e 2006/07) em função das doses de P e da solubilidade relativa das fontes e as respectivas isolinhas para os modelos ajustados

Em virtude de ter se trabalhado com valores relativos de produtividade (que minimiza a influência da variação anual) e, ainda tendo em vista que em ambas as safras o modelo ajustado

foi o mesmo e que as estimativas dos parâmetros foram muito semelhantes, a interpretação dos resultados foi realizada conjuntamente para as duas safras.

Assim sendo, embora o modelo de regressão ajustado não tenha possibilitado a obtenção de uma região na superfície em forma de “plateau”, por meio das isolinhas do modelo verificou-se que produtividades relativas superiores a 80 % foram obtidas com aproximadamente 50 % de “SR” quando associada a maior dose de P. Em contra-partida, a dose de P mínima para se obter o mesmo valor de PR, considerando 92 % de “SR”, foi de aproximadamente 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 3.4). Isso demonstra a viabilidade agrônômica da mistura entre fontes solúveis e fosfato de rocha, desde que, a proporção da fração não-solúvel da mistura (FR) não exceda 50 % (1:1).

Se por meio de regressão linear múltipla não foi possível encontrar uma região de plateau na superfície, ao se relacionar a produtividade de soja em função da solubilidade relativa, para cada dose isoladamente, foi possível estimar, por meio do modelo “linear-plateau”, o ponto em que a solubilidade deixou de influenciar a produtividade de soja (Figura 3.5), sendo que, as equações estão apresentadas na Tabela 3.7. Dessa forma, na safra 2005/06, os valores que delimitaram, o início do plateau foram 56, 50 e 60 %, respectivamente para as doses 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Na safra seguinte, esses valores foram de 79, 64 e 64 %.

Tabela 3.7 - Equações<sup>\1</sup> de regressão ajustadas para a variável Produtividade de grãos, nas safras 2005/06 e 2006/07, em função da solubilidade das fontes de P, dentro de cada dose de P aplicada no sulco de semeadura

Doses de P	Produtividade (Safra 2005/06)		Produtividade (Safra 2006/07)	
	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
50	$\hat{y}_{50} = 593,26 + 5,915^*X;$	p/ X ≤ 56	$\hat{y}_{50} = 777,58 + 6,0196^*X;$	p/ X ≤ 79
	$\hat{y}_{50} = 925,54;$	p/ X > 56		
100	$\hat{y}_{100} = 643,37 + 8,737^*X;$	p/ X ≤ 50	$\hat{y}_{100} = 824,07 + 12,6217^*X;$	p/ X ≤ 64
	$\hat{y}_{100} = 1083,35;$	p/ X > 50		
200	$\hat{y}_{200} = 707,23 + 11,143^*X;$	p/ X ≤ 60	$\hat{y}_{200} = 973,25 + 18,2692^*X;$	p/ X ≤ 64
	$\hat{y}_{200} = 1375,81;$	p/ X > 60		

<sup>\1</sup> Para ambas as variáveis:  $\hat{y}$ , está expresso em kg ha<sup>-1</sup> e X, em porcentagem;

\* Significativo a 5 % de probabilidade;

Comparando relação entre a produtividade e os valores de “SR” a partir do qual a resposta para esta variável foi nula (nível crítico de “SR”) verificou-se que, na primeira safra, os valores para o “nível crítico de SR” foram menores do que os obtidos na safra seguinte, quando as produtividades foram maiores. Em outras palavras, o nível crítico para solubilidade, quando existente, variou não só com as doses de P, mas, parece estar relacionado também ao potencial produtivo da cultura. Por isso, os resultados indicam preliminarmente que existe, para a soja, um determinado ponto a partir do qual a resposta a solubilidade é nula, no entanto, estudos em outras condições quanto a solo (textura, mineralogia, P disponível e pH) e quanto potencial de resposta da cultura são necessários e fundamentais para que se defina esse ponto com maior segurança e exatidão.

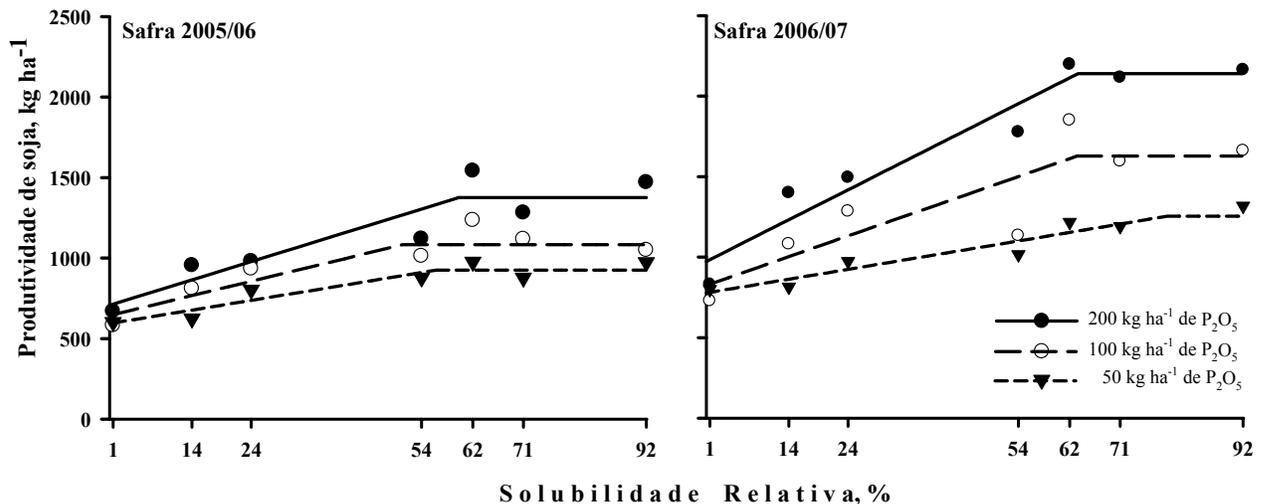


Figura 3.5 - Efeito da solubilidade relativa das fontes de P na produtividade de soja, nas safras 2005/06 e 2006/07, dentro de cada dose de P

Os teores de P no solo, tanto por Resina quanto por Mehlich-1, também foram relacionados com as doses de P e com a solubilidade das fontes (Figura 3.6). As equações estão apresentadas na Tabela 18 do Apêndice B. De forma geral, teores mais elevados foram observados após o primeiro cultivo e, provavelmente, isso se deve à amostragem que nesse ano foi realizada somente na linha da cultura. Em relação aos métodos de extração, observou-se que para a resina, na safra 2005/06, os teores variaram de forma quadrática em função da solubilidade e, provavelmente, essa tendência se deve às perdas do P, por fixação, nas fontes de maior “SR”, enquanto que as fontes de “SR” intermediárias estariam em uma fase de maior liberação de P. Na

safrá seguinte, os maiores teores foram observados nos menores valores de “SR” (FR principalmente) indicando, possivelmente, o maior potencial de resposta com esta fonte para os próximos cultivos. É importante destacar que, nesta safrá, a amplitude dos teores foi muito menor e a variação nos valores ocorreu em níveis inferiores a 15 mg dm<sup>-3</sup>, sendo este o valor que delimita as classes de disponibilidade “Baixo” e “Adequado” para solos do Estado de São Paulo (RAIJ et al., 1987).

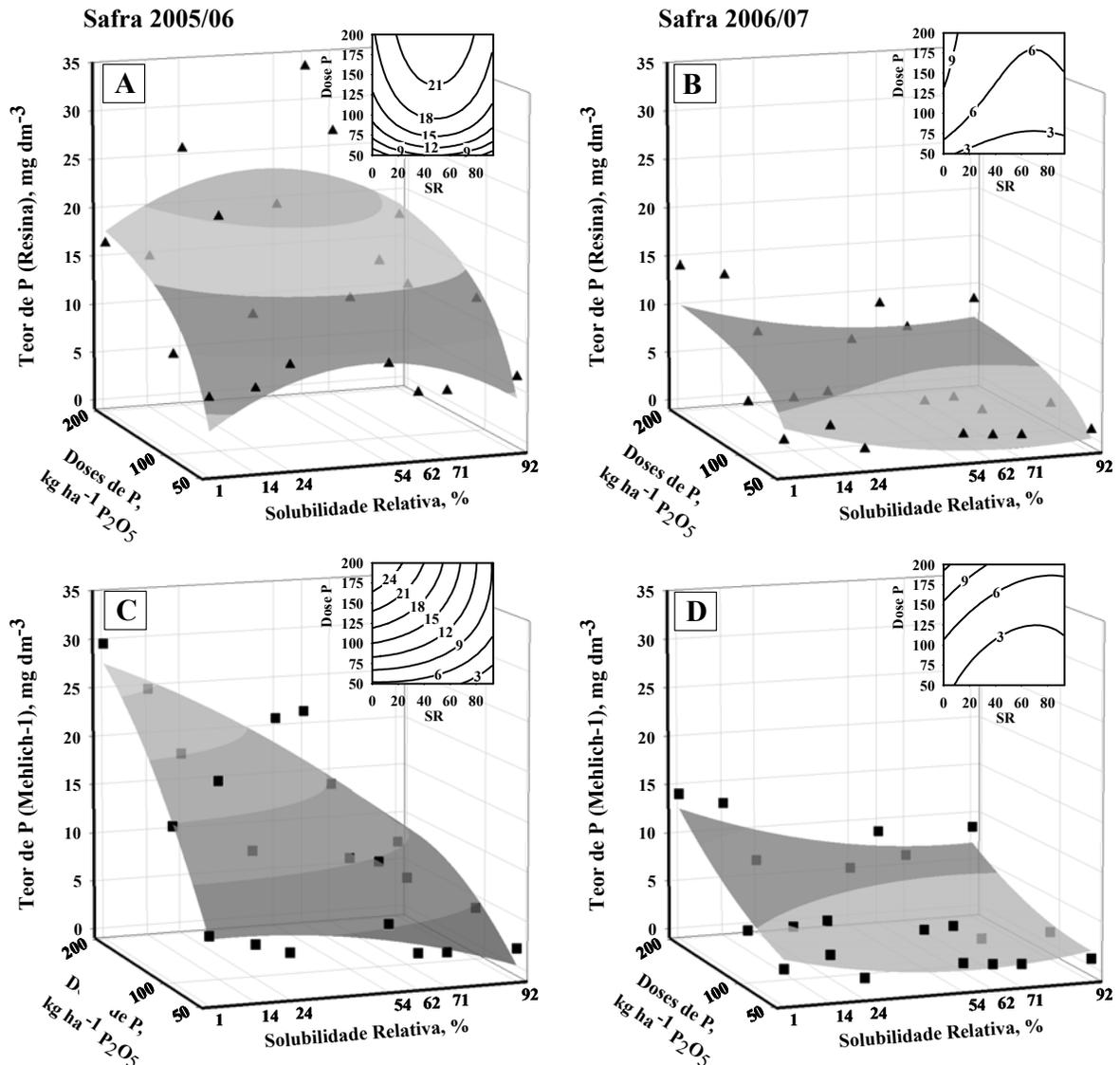


Figura 3.6 - Teores disponíveis de P no solo (safras 2005/06 e 2006/07) em função das doses de P e da solubilidade relativa das fontes. A e B. Resina de troca iônica; C e D. Mehlich-1

Para o Mehlich-1, principalmente na safra 2005/06 (Figura 3.6 C), os elevados teores de P foram obtidos em menores valores de “SR” e, certamente, isso se deve a conhecida capacidade desse extrator em avaliar formas de P, principalmente P-Ca (NOVAIS; SMYTH, 1999), que não estão imediatamente disponíveis para as plantas, resultando assim, em teores superestimados. Na safra seguinte, essa mesma tendência foi observada, mas, em menor magnitude (Figura 3.6 D).

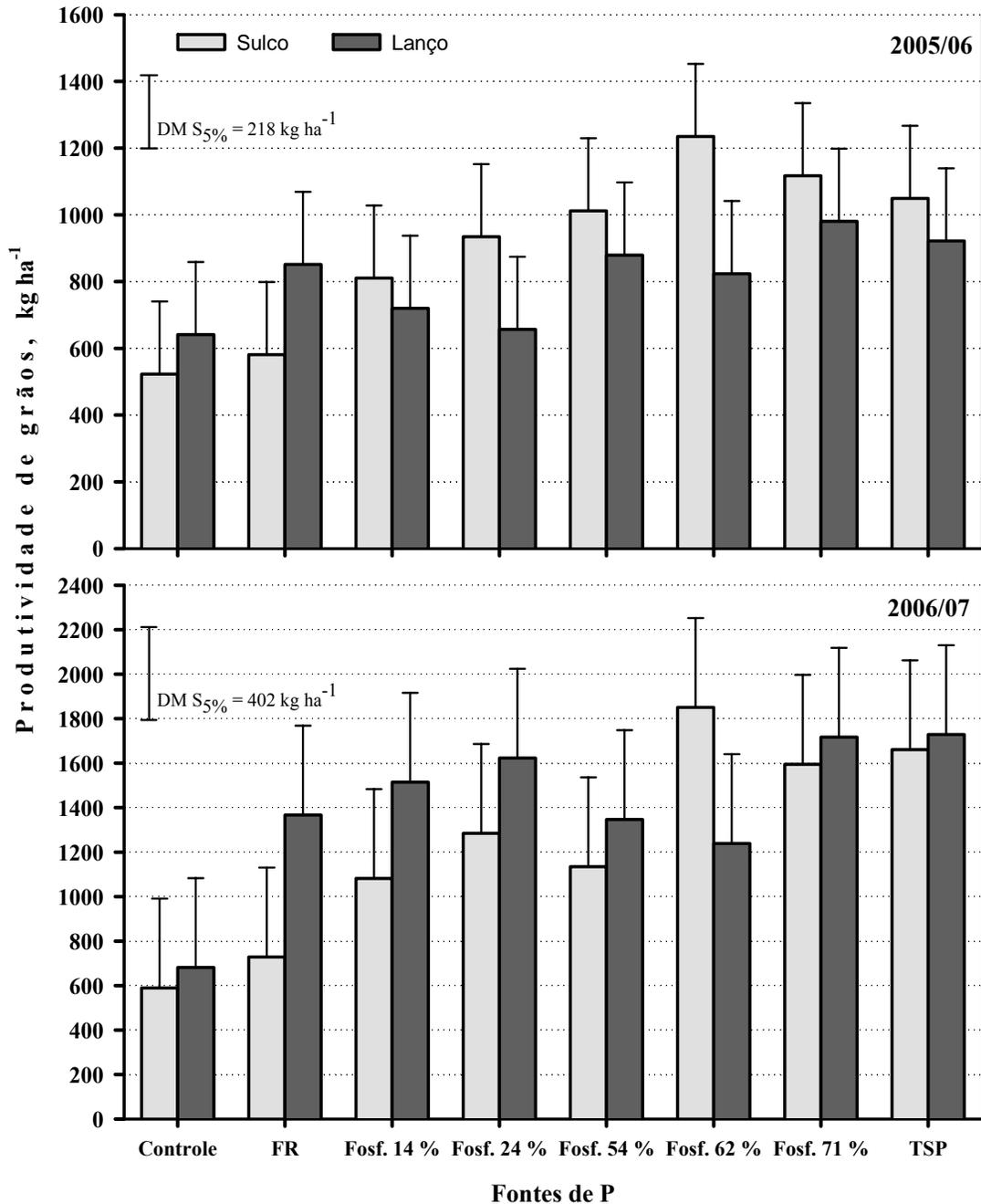
#### *Eficiência Agronômica das fontes aplicadas a Lanço*

Tendo em vista que a aplicação localizada limita a eficiência da fração não-solúvel das misturas (CHIEN; MENON, 1995; MOTOMIYA et al., 2004), as fontes também foram aplicadas a lanço, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com o objetivo de avaliar a EAR em uma condição favorável à dissolução da fração não solúvel das misturas. Dessa forma, na Figura 3.7 pode-se visualizar a resposta da soja, em termos de produtividade de grãos, em função das formas de aplicação das fontes. Em 2005/06, a aplicação a lanço resultou em menores valores médios de produtividade, exceção feita, para a aplicação do FR. Estatisticamente, houve diferença entre as formas de aplicação para as fontes FR, Fosf. 24 % e Fosf. 62 %, sendo que para estas duas a aplicação no sulco resultou em maiores produtividades.

Na safra seguinte, a produtividade com a aplicação a lanço das fontes com menor solubilidade (FR e Fosf. 14 %) foi estatisticamente superior à obtida com a aplicação localizada, enfatizando a importância do contato solo-fertilizante para dissolução dessas fontes (KHASAWNEH; DOLL, 1978; CHIEN; MENON, 1995, HOROWITZ; MEURER, 2004) e concordando com os resultados obtidos por Motomiya et al., (2004), que também verificaram diferença estatística entre as formas de aplicação (favorável a aplicação a lanço) somente para a mistura com maior proporção de FR Gafsa e para o uso isolado deste FR. Exceção feita para o Fosf. 62 %, cuja produtividade com a aplicação no sulco foi superior à obtida com a aplicação a lanço, para as demais fontes não foi observada diferença estatística entre as formas de aplicação, sendo que, em valores absolutos a aplicação a lanço resultou em maiores produtividades para as fontes com até 54 % de “SR”.

Em termos de EAR (Tabela 3.8), na safra 2005/06 observou-se maior EAR para a aplicação no sulco de semeadura, exceção feita somente para o FR que resultou em 11 e 40 % de EAR, respectivamente para a aplicação no sulco e a lanço. Na safra seguinte, excluindo o Fosf. 62 % com apenas 54 % de EAR na aplicação a lanço, a EAR das demais fontes ou foi

semelhante à obtida na condição de aplicação localizada (fontes de maior “SR”), ou foi muito superior à condição mencionada anteriormente (fontes de menor “SR”).



\* Barras de erros correspondem ao valor da Diferença Mínima Significativa (DMS), pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, para a comparação entre as formas de aplicação do fertilizante, dentro de cada fonte de P

Figura 3.7 - Produtividade de grãos de soja, nas safras 2005/06 e 2006/07, em função da aplicação das fontes a lanço ou no sulco de semeadura, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Tabela 3.8 - Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de fósforo calculadas com base na produtividade de grãos de soja, em função da aplicação localizada ou à lanço, nas safras 2005/06 e 2006/07

Fontes de P	Eficiência Agronômica Relativa - EAR			
	Safrá 2005/06		Safrá 2006/07	
	Sulco	Lanço	Sulco	Lanço
	%			
TSP	100	53	100	98
Fosf. 71 %	113	64	94	97
Fosf. 62 %	135	35	118	52
Fosf. 54 %	93	45	51	62
Fosf. 24 %	78	3	65	88
Fosf. 14 %	55	15	46	78
FR	11	40	13	64

Relacionando a EAR calculada com os dados de produtividade na safra 2006/07, em função da solubilidade das fontes ajustou-se o modelo linear-plateau para a aplicação das fontes no sulco de semeadura, sendo que, pelo modelo ajustado, o ponto de intersecção dos modelos ocorreu com 66 % de SR”. Em contrapartida, a EAR das fontes aplicadas a lanço não foi significativamente alterada em função da solubilidade das fontes (Figura 3.8). Tendência semelhante foi verificada por Motomiya et al, (2004), no entanto, os autores interpretaram a resposta da soja obtida com a aplicação das misturas de FR gafsa e TSP por meio de testes de comparação de médias.

O fato de ter sido observado na safra 2006/07 tendência de igualdade entre as formas de aplicação das fontes, principalmente as de “SR” intermediária e elevada, deve ser interpretado com cuidado, pois os valores de produtividade ainda foram aquém do que se poderia obter em anos sem limitações hídricas, por exemplo. Logo, é necessário cautela quanto a possibilidade de extrapolação desses resultados, necessitando ainda a comparação das formas de aplicação dessas fontes em altas produtividades.

Em relação aos teores disponíveis no solo, verificou-se para o Mehlich-1 a clara redução nos teores com o incremento da solubilidade relativa das fontes, enquanto que para a resina essa tendência não foi observada (Figura 3.9). Interpretando as equações ajustadas a partir das

informações da safra 2005/06, pode-se observar que o teor médio com a resina foi de 14,8 e de 7,8 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente para a aplicação no sulco e a lanço. Na safra seguinte, esses teores foram, respectivamente de 4,9 e 6,9 mg dm<sup>-3</sup>. Esse decréscimo pode, em parte, ser devido aos processos relacionados a fixação de P e, também à amostragem, que nesta safra foi realizada coletando-se sub-amostras na linha e na entre-linha da cultura.

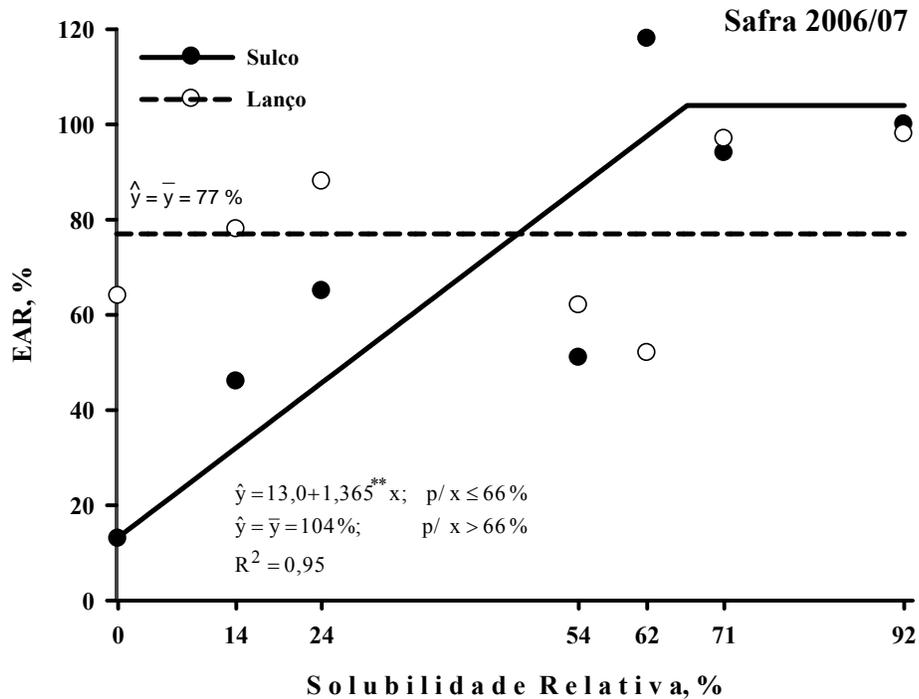


Figura 3.8 - Efeito da solubilidade relativa na EAR das fontes de P, quando as mesmas foram aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura. Safra 2006/07

Para o Mehlich-1, na safra 2005/06 (Figura 3.9), teores elevados foram verificados somente quando as fontes foram aplicadas no sulco de semeadura. Por exemplo, para o FR (SR = 0,6%), os teores observados quando essa fonte foi aplicada no sulco foi três vezes superior ao obtido com a aplicação a lanço (15 e 5 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente). Contudo, a EAR do FR nessa mesma safra foi de 11 e 40%, quando aplicado no sulco e a lanço, o que indica claramente a obtenção de valores superestimados com esse extrator, principalmente, quando a coleta das amostras é realizada somente na linha da cultura. Em 2006/07, tanto a amplitude dos teores quanto a variação entre as formas de aplicação foram menores. No entanto, novamente a declividade da reta que relaciona o teor e a “SR” foi negativa indicando que esse extrator estaria determinando formas de P no solo que não estariam imediatamente disponíveis para as plantas.

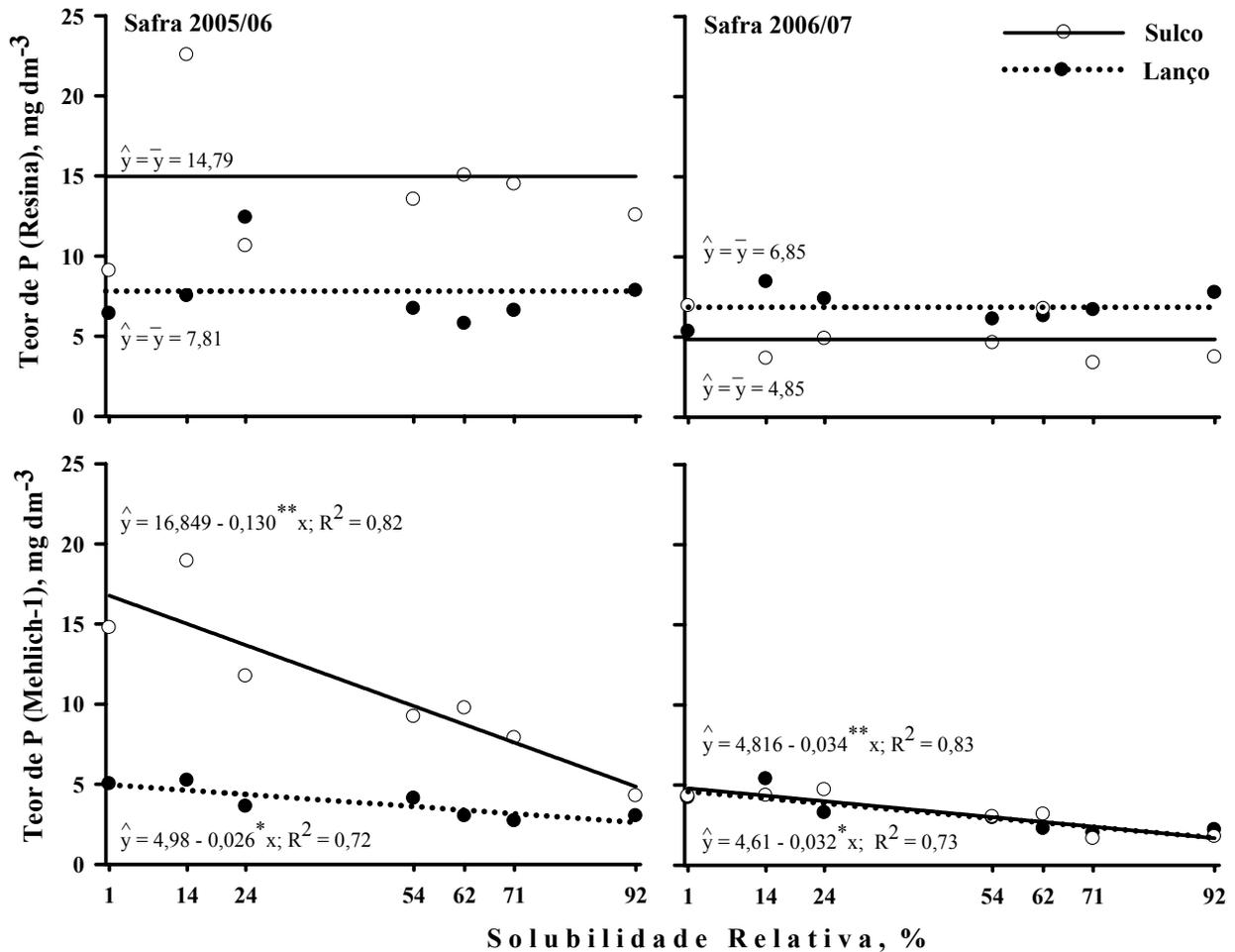


Figura 3.9 - Efeito da solubilidade relativa nos teores de P no solo, por Resina e por Mehlich-1, quando as fontes foram aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura

### 3.3 Considerações finais

As fontes com “SR” superior a 60 % apresentaram em ambas as safras e para a maioria das variáveis respostas avaliadas EAR semelhante a do TSP. O valor de solubilidade a partir do qual a resposta a essa variável é nula varia entre 64 e 79 %. Essa amplitude ocorre, principalmente, em função da produtividade e da dose de P. É importante destacar, também, que os dois fatores testados (doses e solubilidade das fontes) são fundamentais para a obtenção de níveis aceitáveis de produtividade, tendo em vista que, ao limitar qualquer um dos fatores, obtém-se aproximadamente 50 % de produtividade relativa.

Ao comparar as formas de aplicação dos fertilizantes verifica-se que a aplicação a lanço resulta em melhor desempenho agronômico das fontes de menor solubilidade, principalmente do fosfato de rocha. No entanto, a EAR das fontes quando aplicadas a lanço não apresenta relação com a solubilidade das mesmas, ao passo que, quando as fontes são aplicadas localizadamente a EAR aumenta até aproximadamente 65 % de SR.

Dessa forma, com base nos resultados pode-se sugerir que, para a soja não seria necessário utilizar fontes de P com níveis de solubilidade dentro do que é exigido pela legislação brasileira de fertilizantes. Nesse sentido a mistura entre o FR, usado neste trabalho, e o concentrado acidulado, em proporções que resultem em pelo menos 60 % do teor total sendo solúvel em água, é uma alternativa agronomicamente viável, com possibilidade de aumentar também o efeito residual dessa prática e ainda minimizar os custos e os problemas ambientais decorrentes da acidulação da apatita. Evidentemente que estudos adicionais relacionados aos aspectos econômicos (custo/benefício) e agronômicos (quanto a solos, principalmente) são necessários.

## Referências

ALVAREZ V., V.H. **Avaliação da fertilidade do solo:** superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991. (Reimpressão)

ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed). **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa: SBCS, 2006. p. 253-280.

BEGUM, M.; NARAYANASAMY, G.; BISWAS, D.R. Phosphorus supplying capacity of phosphate rocks as influenced by compaction with water-soluble P fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.68, p.73-84, 2004.

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

CHIEN, S.H.; SALE, P.W.G.; FRIESEN, D.K. A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in solubility. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 24, p. 149-157, 1990.

CHIEN, S.H.; MENON, R.G.; BILLINGHAM, K.S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 60, p. 1173-1177, 1996.

CHIEN, S.H.; ADAMS, F.; KHASAWNEH, F.E.; HENAO, J. Effects of combinations of triple superphosphate and a reactive phosphate rock on yield and phosphorus uptake by corn. **Soil Science of American Journal**, Madison, v. 51, p. 1656-1658, 1987.

EMBRAPA. **Manual de análise do solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, 1999. 370p.

\_\_\_\_\_. **Tecnologias de produção de soja:** região central do Brasil, 2004. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste; EPAMIG; Fundação Triângulo. 2003. 237 p. (Sistemas de Produção, 4).

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, p. 173-195, 2001.

HOROWITZ, N; MEURER, E.J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS. 2004. p. 665-687.

KHASAWNEH; F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 159-207, 1978.

LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “Cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201p.

MENON, R.G.; CHIEN, S.H. Phosphorus availability to maize from partially acidulated phosphate rocks and phosphate rocks compacted with triple superphosphate. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 127, p. 123-128, 1990.

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**, Brasília, v. 39, p. 307-312, 2004.

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

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soils materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-50, 1978.

PROCHNOW, L.I.; ALCARDE, J.C.; CHIEN, S.H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004a. p. 605-663.

PROCHNOW, L.I.; CHIEN, S.H.; CARMONA, G.; HENAO, J. Greenhouse evaluation of phosphorus sources produced from a low-reactive brazilian phosphate rock. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p.761-768, 2004b.

PROCHNOW; L.I.; COOPER, M; CAIRES, E.F.; BENEDITO, D.; MAZZA, J.A. Fertilidade dos solos dos planaltos interiores do estado de São Paulo e norte do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. 2005, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, SBSCS, 2005. CD ROM.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1987. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 284 p.

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.

SAS INSTITUTE. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary, 1985

SYSTAT SOFTWARE Inc. - SSI. **Sigmaplot for Windows, version 10**. 2006. Disponível em: <http://www.systat.com/products/sigmaplot/>. Acesso em: 22 Oct. 2007.

VILLANUEVA, F.C.A.; MURAOKA, T.; TREVIZAM, A.R.; FRANZINI, V.I.; ROCHA, A.P. Improving phosphorus availability from Patos phosphate rock for *Eucalyptus*: A study with  $^{32}\text{P}$  radiotracer. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 65-69, 2006

ZAPATA, F.; ZAHARAH, A.R. Phosphorus availability from phosphate rock and sewage sludge as influenced by addition of water soluble phosphate fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.63, p.43-48, 2002.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **SANEST: sistema de análises estatísticas para microcomputadores**. Pelotas: UFPel, 1984. 75 p.

**APÊNDICES**

## APÊNDICE A

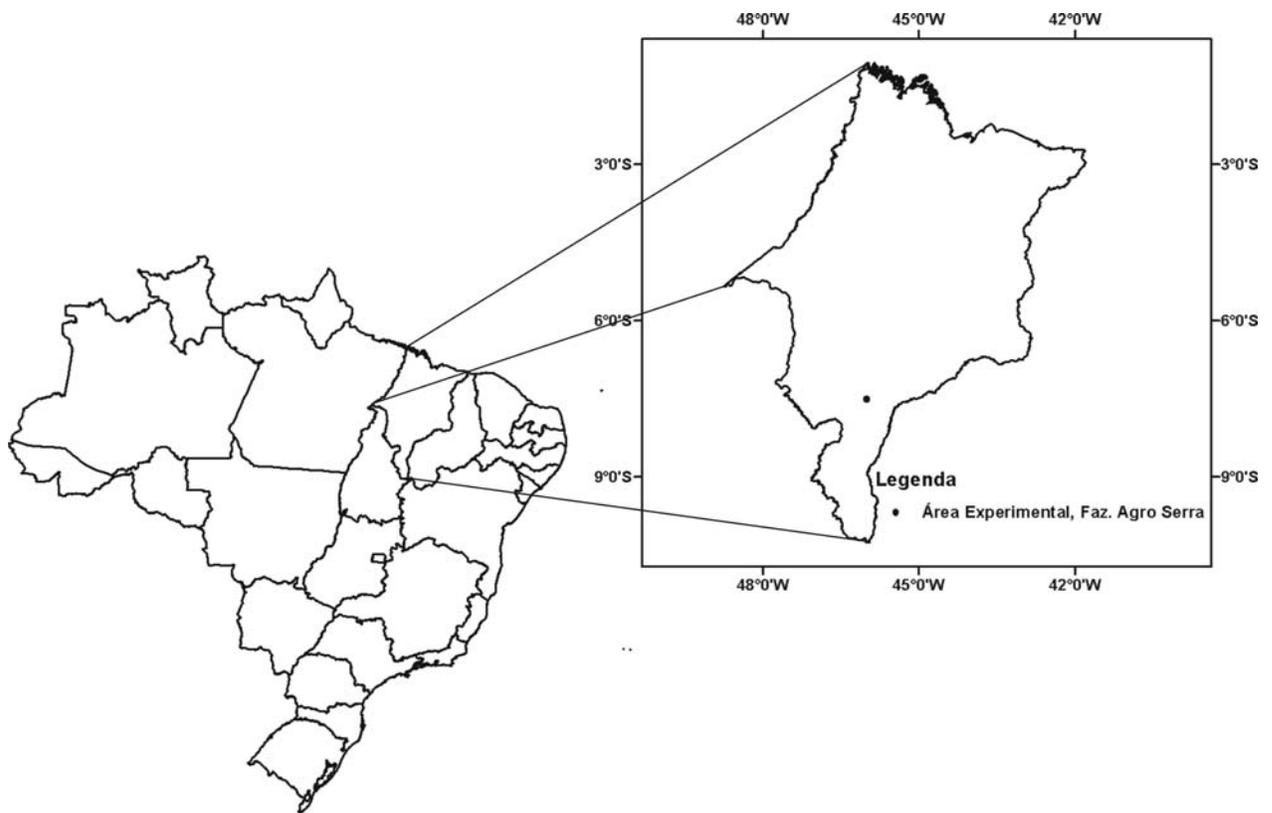


Figura 1 - Localização geográfica da área experimental. Fazenda Agroserra, S. R. Mangabeiras, MA

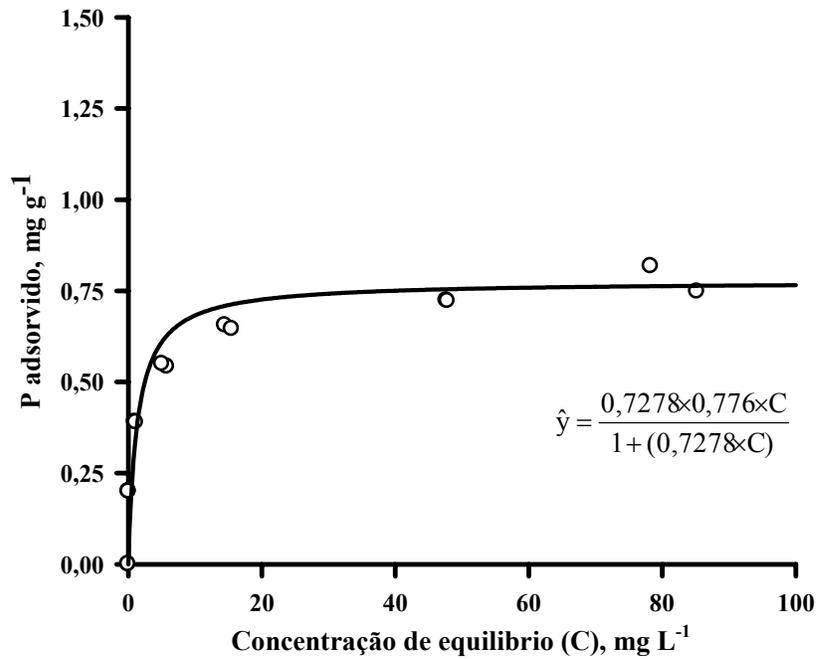


Figura 2 - Representação gráfica da capacidade de adsorção de fósforo do solo onde foi instalado o experimento de campo, avaliada por meio das curvas de adsorção de P e ajuste da equação da isoterma de Langmuir

Tabela 1 - Produção de matéria seca na parte aérea (MSPA) avaliada no estágio R<sub>2</sub> (florescimento pleno), teor de P na MSPA e P acumulado na MSPA em função dos tratamentos. Safra 2004/05, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	MPSA	Teor P na MSPA	P acumulado na MSPA
			— kg ha <sup>-1</sup> —	— g kg <sup>-1</sup> —	— kg ha <sup>-1</sup> —
1	Controle	—	199 (42) <sup>2</sup>	1,2 (0,10)	0,2 (0,07)
2	TSP	Lanço	909 (108)	2,0 (0,16)	1,9 (0,31)
3	TSP	Lanço	1036 (43)	2,1 (0,05)	2,2 (0,12)
4	TSP	Lanço	1714 (156)	2,3 (0,17)	3,9 (0,52)
5	FR	Lanço	696 (103)	2,1 (0,28)	1,4 (0,09)
6	FR	Lanço	783 (52)	2,1 (0,14)	1,6 (0,07)
7	FR	Lanço	959 (60)	2,0 (0,39)	2,0 (0,48)
8	TSP	Sulco	570 (40)	1,8 (0,27)	1,0 (0,20)
9	TSP	Sulco	1135 (103)	1,7 (0,15)	1,9 (0,22)
10	TSP	Sulco	1345 (42)	1,8 (0,18)	2,4 (0,32)
11	TSP	Sulco	1688 (136)	2,0 (0,14)	3,4 (0,50)
12	FR	Sulco	331 (32)	2,3 (1,18)	0,7 (0,30)
13	FR	Sulco	362 (88)	1,7 (0,18)	0,6 (0,21)
14	FR	Sulco	395 (84)	1,7 (0,16)	0,7 (0,16)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	1367 (209)	2,0 (0,14)	2,7 (0,40)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	1527 (228)	2,0 (0,11)	3,1 (0,29)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	1310 (131)	2,1 (0,10)	2,7 (0,20)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	1557 (205)	2,2 (0,11)	3,4 (0,41)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	1455 (162)	2,1 (0,12)	3,0 (0,46)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	1739 (186)	2,1 (0,16)	3,6 (0,33)
21	FR:TSP	Lanço	1073 (181)	2,2 (0,05)	2,4 (0,41)
22	FR:TSP	Lanço	1209 (154)	2,0 (0,15)	2,4 (0,19)
23	FR:TSP	Lanço	916 (185)	2,0 (0,24)	1,8 (0,19)
24	FR:TSP	Sulco	1042 (166)	1,7 (0,12)	1,8 (0,26)
25	FR:TSP	Sulco	1035 (101)	1,7 (0,12)	1,7 (0,04)
26	FR:TSP	Sulco	777 (114)	1,6 (0,08)	1,2 (0,12)
<b>Média geral</b>			<b>1043 (453)</b>	<b>1,9 (0,34)</b>	<b>2,1 (1,00)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

<sup>3</sup> L+S: FR a lanço + TSP no sulco

Tabela 2 - Produtividade média de soja, nas três safras de condução do experimento, em função dos tratamentos

Trat. nº	Fontes <sup>1</sup>	Formas de Aplicação	Produtividade de grãos		
			2004/05	2005/06	2006/07
		kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg ha <sup>-1</sup>		
1	Controle	—	69 (10) <sup>2</sup>	129 (20)	147 (12)
2	TSP	Lanço	1902 (80)	1833 (226)	1470 (309)
3	TSP	Lanço	2343 (287)	2768 (30)	2125 (339)
4	TSP	Lanço	3411 (255)	3297 (84)	3166 (25)
5	FR	Lanço	1443 (67)	1408 (180)	1500 (349)
6	FR	Lanço	1794 (248)	2029 (75)	2361 (150)
7	FR	Lanço	2290 (229)	2521 (134)	3104 (84)
8	TSP	Sulco	864 (217)	1094 (58)	1444 (235)
9	TSP	Sulco	1370 (136)	1756 (61)	1934 (152)
10	TSP	Sulco	2521 (326)	2720 (16)	2900 (251)
11	TSP	Sulco	3309 (280)	3139 (129)	3381 (123)
12	FR	Sulco	477 (158)	1332 (69)	1405 (258)
13	FR	Sulco	467 (158)	1223 (165)	2432 (17)
14	FR	Sulco	517 (24)	1293 (115)	2578 (213)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	2545 (303)	2479 (13)	2678 (114)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	2866 (278)	2896 (116)	3063 (80)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	2811 (56)	2567 (62)	2813 (121)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	3213 (236)	3044 (103)	3120 (224)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	2807 (312)	2839 (51)	2776 (177)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	3029 (374)	3168 (123)	3345 (172)
21	FR:TSP	Lanço	2223 (446)	2556 (30)	3048 (414)
22	FR:TSP	Lanço	2276 (174)	2548 (61)	2611 (351)
23	FR:TSP	Lanço	2136 (145)	2483 (40)	2661 (234)
24	FR:TSP	Sulco	2010 (109)	2280 (66)	2697 (263)
25	FR:TSP	Sulco	1605 (168)	2102 (5)	2568 (263)
26	FR:TSP	Sulco	1068 (90)	1693 (121)	2154 (21)
<b>Média geral</b>			<b>1976 (962)</b>	<b>2200 (773)</b>	<b>2442 (765)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções;

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 3 - Teor de P nos grãos e P acumulado nos grãos de soja em função dos tratamentos. Safra 2004/05, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P	P acumulado
			(grãos de soja)	(grãos de soja)
			g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
1	Controle	—	2,3 (0,01) <sup>2</sup>	0,2 (0,02)
2	TSP	Lanço	2,5 (0,04)	4,8 (0,24)
3	TSP	Lanço	2,9 (0,02)	6,8 (0,86)
4	TSP	Lanço	3,9 (0,08)	13,2 (1,15)
5	FR	Lanço	2,7 (0,11)	3,9 (0,29)
6	FR	Lanço	2,8 (0,05)	5,1 (0,70)
7	FR	Lanço	2,8 (0,06)	6,3 (0,69)
8	TSP	Sulco	2,8 (0,10)	2,5 (0,63)
9	TSP	Sulco	2,7 (0,10)	3,7 (0,39)
10	TSP	Sulco	3,1 (0,10)	7,7 (1,02)
11	TSP	Sulco	3,7 (0,10)	12,1 (0,78)
12	FR	Sulco	2,5 (0,03)	1,2 (0,41)
13	FR	Sulco	2,7 (0,02)	1,3 (0,44)
14	FR	Sulco	2,9 (0,06)	1,5 (0,06)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	2,8 (0,01)	7,2 (0,85)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,0 (0,05)	8,7 (0,94)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,0 (0,08)	8,4 (0,37)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,3 (0,04)	10,7 (0,75)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,0 (0,02)	8,5 (0,89)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,3 (0,10)	10,1 (1,34)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	2,7 (0,16)	5,9 (1,24)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	2,8 (0,03)	6,4 (0,47)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	2,8 (0,05)	5,9 (0,40)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	2,7 (0,05)	5,5 (0,38)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	2,6 (0,04)	4,2 (0,40)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	2,7 (0,05)	2,8 (0,28)
<b>Média geral</b>			<b>2,9 (0,34)</b>	<b>6,0 (3,41)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 4 - Teor de P nos grãos e P acumulado nos grãos de soja em função dos tratamentos. Safra 2005/06, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P	P acumulado
			(grãos de soja)	(grãos de soja)
			g kg <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
1	Controle	—	2,4 (0,04) <sup>2</sup>	0,3 (0,05)
2	TSP	Lanço	3,5 (0,08)	6,4 (0,91)
3	TSP	Lanço	3,9 (0,11)	10,9 (0,25)
4	TSP	Lanço	4,2 (0,33)	13,7 (0,98)
5	FR	Lanço	3,3 (0,16)	4,7 (0,72)
6	FR	Lanço	3,7 (0,04)	7,4 (0,31)
7	FR	Lanço	4,1 (0,06)	10,3 (0,42)
8	TSP	Sulco	3,0 (0,12)	3,3 (0,04)
9	TSP	Sulco	3,2 (0,15)	5,7 (0,29)
10	TSP	Sulco	3,7 (0,05)	10,1 (0,17)
11	TSP	Sulco	4,3 (0,05)	13,4 (0,63)
12	FR	Sulco	3,1 (0,07)	4,1 (0,31)
13	FR	Sulco	3,2 (0,06)	3,9 (0,48)
14	FR	Sulco	3,4 (0,03)	4,4 (0,41)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,6 (0,04)	8,9 (0,07)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,8 (0,11)	11,2 (0,78)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,7 (0,07)	9,6 (0,05)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	4,0 (0,12)	12,1 (0,51)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	3,8 (0,14)	10,9 (0,34)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	4,1 (0,15)	12,9 (0,83)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	3,9 (0,02)	10,0 (0,09)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	3,8 (0,08)	9,6 (0,43)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	3,8 (0,09)	9,3 (0,32)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	3,6 (0,06)	8,3 (0,35)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	3,0 (0,96)	6,3 (2,04)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	3,3 (0,21)	5,5 (0,49)
<b>Média geral</b>			<b>3,6 (0,46)</b>	<b>8,2 (3,48)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 5 - Teor de P no solo, por resina de trocadora de íons, em função dos tratamentos. Safra 2004/05, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P (resina)	
			Amostragem Linha	Amostragem Entre-linha
			mg dm <sup>-3</sup>	
1	Controle	—	1 (0,01) <sup>2</sup>	2 (0,34)
2	TSP	Lanço	2 (0,34)	2 (0,78)
3	TSP	Lanço	5 (0,52)	3 (1,21)
4	TSP	Lanço	10 (0,70)	10 (8,40)
5	FR	Lanço	2 (0,34)	2 (1,47)
6	FR	Lanço	5 (2,44)	2 (0,85)
7	FR	Lanço	21 (1,18)	5 (1,68)
8	TSP	Sulco	5 (1,48)	1 (0,97)
9	TSP	Sulco	7 (3,20)	1 (0,19)
10	TSP	Sulco	26 (15,31)	1 (0,34)
11	TSP	Sulco	40 (6,53)	1 (0,19)
12	FR	Sulco	2 (0,34)	1 (0,19)
13	FR	Sulco	19 (2,03)	1 (0,01)
14	FR	Sulco	124 (24,38)	1 (0,39)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	7 (4,80)	4 (1,69)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	16 (1,35)	2 (0,67)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	11 (2,38)	2 (0,51)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	27 (12,16)	4 (2,29)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	17 (8,16)	3 (1,68)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	37 (14,85)	8 (5,54)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	9 (8,70)	4 (0,70)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	5 (1,56)	3 (0,51)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	5 (1,37)	4 (2,05)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	23 (3,72)	1 (0,34)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	12 (0,39)	1 (0,51)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	47 (5,42)	1 (0,19)
<b>Média geral</b>			<b>19 (25,37)</b>	<b>3 (2,90)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 6 - Teor de P no solo, por resina de trocadora de íons, em função dos tratamentos. Safra 2005/06, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P (resina)	
			Amostragem Linha	Amostragem Entre-linha
			mg dm <sup>-3</sup>	
1	Controle	—	2 (0,22) <sup>2</sup>	2 (0,25)
2	TSP	Lanço	4 (1,40)	6 (0,75)
3	TSP	Lanço	12 (5,92)	14 (1,56)
4	TSP	Lanço	38 (4,81)	27 (4,01)
5	FR	Lanço	8 (2,40)	10 (11,23)
6	FR	Lanço	19 (10,04)	12 (11,86)
7	FR	Lanço	17 (3,02)	30 (12,22)
8	TSP	Sulco	16 (12,30)	3 (0,25)
9	TSP	Sulco	16 (10,37)	4 (1,14)
10	TSP	Sulco	37 (10,41)	4 (1,30)
11	TSP	Sulco	128 (26,07)	19 (5,48)
12	FR	Sulco	15 (11,72)	3 (0,75)
13	FR	Sulco	16 (6,13)	4 (1,00)
14	FR	Sulco	66 (23,76)	5 (4,26)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	27 (20,41)	6 (1,39)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	61 (28,82)	7 (3,03)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	22 (6,11)	9 (2,40)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	47 (16,00)	11 (2,38)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	20 (12,38)	12 (1,63)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	85 (34,04)	24 (13,00)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	13 (3,53)	14 (2,46)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	9 (1,33)	11 (1,63)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	9 (1,01)	12 (1,30)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	42 (13,81)	5 (0,90)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	68 (43,05)	11 (10,61)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	49 (31,43)	9 (6,36)
<b>Média geral</b>			<b>32 (32,40)</b>	<b>11 (8,69)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 7 - Teor de P no solo, por Mehlich-1, em função dos tratamentos. Safra 2004/05, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P (Mehlich-1)	
			Amostragem Linha	Amostragem Entre-linha
			mg dm <sup>-3</sup>	
1	Controle	—	0,8 (0,20) <sup>2</sup>	0,7 (0,24)
2	TSP	Lanço	2,2 (1,54)	1,6 (0,87)
3	TSP	Lanço	4,3 (1,72)	3,6 (2,49)
4	TSP	Lanço	10,3 (2,47)	14,7 (9,72)
5	FR	Lanço	3,6 (1,31)	3,5 (1,41)
6	FR	Lanço	15,7 (6,91)	9,2 (2,08)
7	FR	Lanço	25,3 (4,54)	13,7 (5,15)
8	TSP	Sulco	5,1 (2,49)	1,0 (0,43)
9	TSP	Sulco	6,4 (1,82)	0,9 (0,01)
10	TSP	Sulco	29,9 (6,50)	0,8 (0,14)
11	TSP	Sulco	63,5 (13,60)	1,1 (0,19)
12	FR	Sulco	16,8 (4,90)	0,7 (0,26)
13	FR	Sulco	27,1 (27,80)	0,7 (0,12)
14	FR	Sulco	61,1 (25,22)	2,6 (0,36)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	9,7 (4,18)	4,4 (0,01)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	33,4 (21,35)	3,9 (2,52)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	17,7 (1,47)	7,5 (3,24)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	30,9 (9,63)	8,7 (5,33)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	36,5 (19,69)	10,6 (8,15)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	66,0 (23,46)	17,2 (5,79)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	4,4 (0,36)	4,7 (1,74)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	6,9 (2,38)	5,2 (3,87)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	5,2 (2,10)	5,6 (1,74)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	31,9 (17,84)	0,9 (0,01)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	21,1 (8,30)	0,9 (0,01)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	42,0 (1,47)	0,6 (0,01)
<b>Média geral</b>			<b>22,2 (21,49)</b>	<b>4,8 (5,53)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 8 - Teor de P no solo, por Mehlich-1, em função dos tratamentos. Safra 2005/06, média das três repetições

Trat. n°	Fontes <sup>1</sup>	Forma de Aplicação	Teor de P (Mehlich-1)	
			Amostragem Linha	Amostragem Entre-linha
			mg dm <sup>-3</sup>	
1	Controle	—	0,9 (0,23) <sup>2</sup>	1,0 (0,01)
2	TSP	Lanço	2,5 (0,67)	2,6 (0,67)
3	TSP	Lanço	6,6 (3,47)	10,3 (0,85)
4	TSP	Lanço	19,5 (3,24)	32,0 (9,09)
5	FR	Lanço	6,9 (2,07)	4,7 (1,22)
6	FR	Lanço	13,4 (1,80)	10,1 (6,07)
7	FR	Lanço	33,5 (14,60)	57,1 (29,20)
8	TSP	Sulco	8,7 (4,98)	1,2 (0,07)
9	TSP	Sulco	11,3 (6,44)	1,5 (0,37)
10	TSP	Sulco	25,3 (8,27)	1,9 (0,64)
11	TSP	Sulco	101,5 (7,67)	8,8 (3,15)
12	FR	Sulco	10,1 (2,24)	1,4 (0,28)
13	FR	Sulco	59,3 (34,32)	2,9 (1,03)
14	FR	Sulco	102,1 (9,21)	4,4 (1,65)
15	FR+TSP	Lanço+Sulco	21,4 (12,75)	4,2 (1,21)
16	FR+TSP	Lanço+Sulco	44,1 (20,11)	5,0 (2,07)
17	FR+TSP	Lanço+Sulco	22,5 (0,90)	9,0 (2,69)
18	FR+TSP	Lanço+Sulco	49,6 (7,64)	9,5 (2,76)
19	FR+TSP	Lanço+Sulco	20,1 (11,87)	13,8 (8,20)
20	FR+TSP	Lanço+Sulco	60,8 (20,60)	36,8 (13,86)
21	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Lanço	8,8 (2,52)	18,5 (12,19)
22	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Lanço	7,1 (1,36)	9,6 (2,58)
23	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Lanço	9,5 (3,78)	10,4 (2,81)
24	TSP:FR <sub>(3:1)</sub>	Sulco	32,4 (8,69)	1,7 (0,37)
25	TSP:FR <sub>(1:1)</sub>	Sulco	37,6 (27,00)	2,5 (0,24)
26	TSP:FR <sub>(1:3)</sub>	Sulco	35,9 (19,55)	2,7 (1,03)
<b>Média geral</b>			<b>28,9 (28,89)</b>	<b>10,1 (14,29)</b>

<sup>1</sup> TSP: Superfosfato Triplo; FR: Fosfato de Rocha com elevada reatividade (Arad); FR+TSP: FR aplicado à lanço e TSP no sulco de semeadura; TSP:FR: “misturas” das fontes em três proporções (3:1, 1:1 e 1:3);

<sup>2</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

## APÊNDICE B

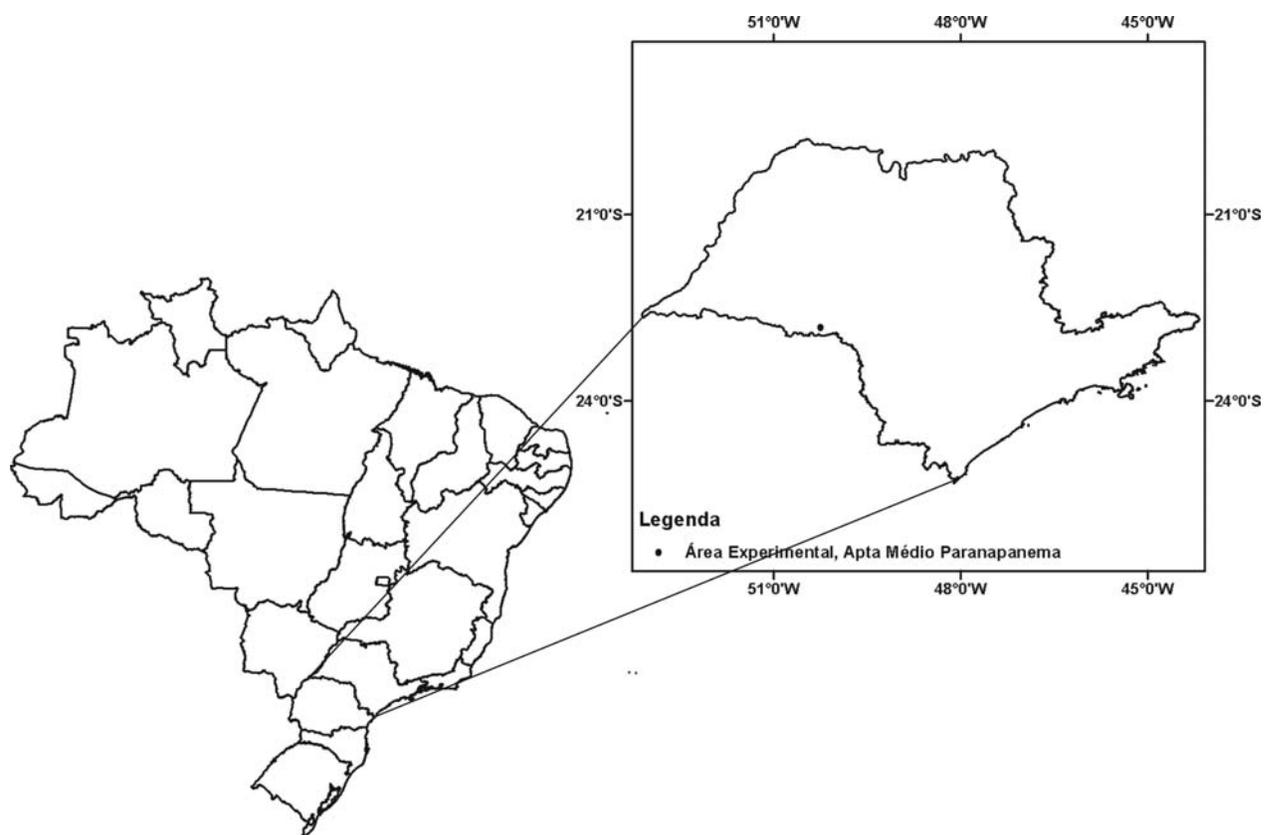


Figura 1 - Localização geográfica aproximada da área experimental, localizada em Palmital, SP

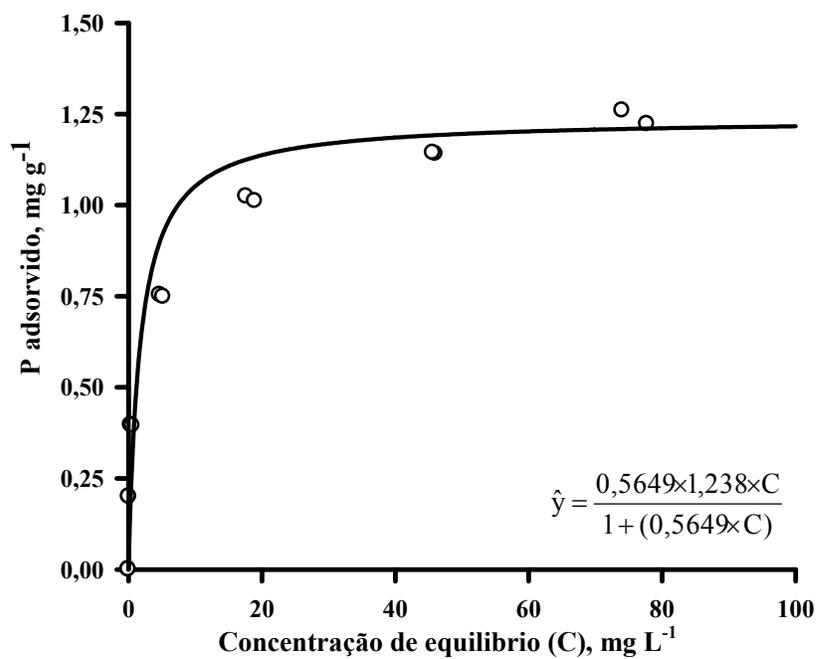


Figura 2 - Representação gráfica da capacidade de adsorção de fósforo do solo onde foi instalado o experimento de campo, avaliada por meio das curvas de adsorção de P e ajuste da equação da isoterma de Langmuir

Tabela 1 - Detalhamento dos esquemas utilizados na análise de variância

Esquema 1 <sup>1</sup>		Esquema 2 <sup>2</sup>	
Fontes de Variação	Graus de Liberdade	Fontes de variação	Graus de Liberdade
Bloco	3	Bloco	3
Dose de P	3	Dose de P	3
Fonte de P	6	Fonte de P	7
Dose*Fonte	18	Dose*Fonte	21
Resíduo	81	Resíduo	93
Total	112	Total	127

<sup>1</sup> fatorial [4 x 7]: **4 doses de P**: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicadas no sulco de semeadura; **7 fontes de P**: FR, Fosf. 14%, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

<sup>2</sup> fatorial [4 x 8], **4 doses de P**: 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no sulco de semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada a lanço; **8 fontes de P**: Testemunha FR, Fosf. 14 %, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

Tabela 2 - Dados originais para a variável produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de soja avaliada no estágio R<sub>2</sub> (florescimento pleno). Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa — % —	MSPA				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	920	800	651	1168	<b>885</b> (219) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1377	797	1579	1196	<b>996</b> (66)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	900	1006	1029	1048	<b>786</b> (166)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	821	606	998	720	<b>1217</b> (116)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1388	1181	1137	1161	<b>1109</b> (241)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	875	1346	1286	929	<b>1115</b> (308)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1043	955	896	1568	<b>1144</b> (202)
TSP	50	Sulco	71	1035	916	1336	1290	<b>1237</b> (333)
FR	100	Sulco	92	1488	1164	1858	1232	<b>892</b> (164)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1114	720	865	867	<b>952</b> (198)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1099	926	1102	682	<b>1368</b> (166)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	1303	1282	1271	1616	<b>1467</b> (418)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	1781	1132	1083	1874	<b>1676</b> (364)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	1574	1488	2215	1428	<b>1745</b> (581)
TSP	100	Sulco	71	2373	1429	2075	1104	<b>1435</b> (314)
FR	200	Sulco	92	2414	1872	2359	1983	<b>944</b> (231)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	981	615	1031	1149	<b>1412</b> (191)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	1568	1578	1305	1196	<b>1422</b> (587)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	922	911	1841	2013	<b>1914</b> (469)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	1584	2111	2483	1480	<b>1993</b> (445)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	2008	1647	2617	1703	<b>2266</b> (194)
TSP	200	Sulco	71	2446	2240	2374	2005	<b>2157</b> (270)
FR	100	Lanço	92	1220	1257	1505	1066	<b>1088</b> (286)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	1345	754	1307	945	<b>990</b> (330)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	850	1148	1356	605	<b>1198</b> (144)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1205	1003	1236	1348	<b>1117</b> (176)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	1057	910	1175	1325	<b>1034</b> (100)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1053	901	1036	1145	<b>1246</b> (265)
TSP	100	Lanço	71	1548	980	1383	1073	<b>1262</b> (182)
Test.	0	Lanço	0	1288	842	1144	886	<b>1040</b> (212)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 3 - Dados originais para a variável produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de soja avaliada no estágio R<sub>5</sub> (grãos formados). Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	MSPA				Média
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	
Test.	0	Sulco	0	1113	2404	2325	1950	<b>1947</b> (591) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1568	2989	2538	4054	<b>2787</b> (1032)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	2197	2524	3426	3684	<b>2958</b> (711)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	2423	3152	3972	3920	<b>3367</b> (732)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	2006	5022	3991	2949	<b>3492</b> (1303)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	2812	5325	3615	4972	<b>4181</b> (1173)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	2074	4536	3047	3538	<b>3299</b> (1025)
TSP	50	Sulco	71	2628	4682	4921	5968	<b>4550</b> (1398)
FR	100	Sulco	92	2096	3456	3708	3830	<b>3273</b> (800)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1489	3764	3298	2865	<b>2854</b> (982)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	3199	4476	4618	5518	<b>4453</b> (955)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	1452	4501	4132	4760	<b>3711</b> (1528)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	4010	5943	4552	7016	<b>5380</b> (1361)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	3019	6779	5569	4871	<b>5059</b> (1572)
TSP	100	Sulco	71	2517	4952	6405	5743	<b>4904</b> (1699)
FR	200	Sulco	92	1244	2589	4101	4389	<b>3080</b> (1457)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	1807	4654	4952	5675	<b>4272</b> (1698)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	2645	6741	4406	5476	<b>4817</b> (1734)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	2462	6605	5463	4851	<b>4845</b> (1747)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	4046	5820	7415	5552	<b>5708</b> (1380)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	3007	6496	6759	7636	<b>5974</b> (2037)
TSP	200	Sulco	71	4791	7342	11640	5794	<b>7392</b> (3020)
FR	100	Lanço	92	2136	2981	4691	3897	<b>3426</b> (1108)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	2762	4240	4007	2669	<b>3419</b> (819)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	1755	4899	5604	4708	<b>4242</b> (1702)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1617	4948	3824	3432	<b>3455</b> (1384)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	2407	4123	3827	4019	<b>3594</b> (801)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	2153	5656	5395	4180	<b>4346</b> (1597)
TSP	100	Lanço	71	3189	5691	6524	5492	<b>5224</b> (1429)
Test.	0	Lanço	0	1557	2110	3439	2700	<b>2451</b> (807)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 4 - Dados originais para a variável teor de P na matéria seca da parte aérea de soja. Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P na MSPA				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	1,1	1,2	1,1	1,0	<b>1,1</b> (0,07) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1,2	1,4	1,4	1,8	<b>1,5</b> (0,26)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	1,2	1,4	1,2	1,9	<b>1,4</b> (0,34)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	1,2	1,3	1,1	2,3	<b>1,5</b> (0,54)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1,3	1,4	1,1	1,6	<b>1,1</b> (0,20)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	1,3	1,4	1,2	1,6	<b>1,4</b> (0,18)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1,3	1,3	1,4	1,5	<b>1,4</b> (0,10)
TSP	50	Sulco	71	1,2	1,3	1,2	1,6	<b>1,3</b> (0,18)
FR	100	Sulco	92	1,2	1,4	1,2	1,1	<b>1,2</b> (0,11)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1,3	1,2	1,2	1,6	<b>1,3</b> (0,19)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1,2	1,3	1,4	1,7	<b>1,4</b> (0,19)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	1,2	1,4	1,4	1,2	<b>1,3</b> (0,09)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	1,2	1,3	1,3	1,3	<b>1,3</b> (0,01)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	1,4	1,3	1,2	1,2	<b>1,3</b> (0,10)
TSP	100	Sulco	71	1,4	1,4	1,3	1,4	<b>1,4</b> (0,07)
FR	200	Sulco	92	1,2	1,1	1,1	1,3	<b>1,2</b> (0,10)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	1,3	1,2	1,3	1,1	<b>1,2</b> (0,07)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	1,2	1,3	1,2	1,5	<b>1,3</b> (0,15)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	1,8	1,5	1,3	1,6	<b>1,5</b> (0,18)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	1,5	1,4	1,7	1,6	<b>1,5</b> (0,12)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	1,5	1,5	1,4	1,4	<b>1,5</b> (0,05)
TSP	200	Sulco	71	1,6	1,6	1,4	1,8	<b>1,6</b> (0,16)
FR	100	Lanço	92	1,2	1,2	1,2	1,1	<b>1,2</b> (0,05)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	1,1	1,2	1,1	1,2	<b>1,2</b> (0,06)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	1,3	1,3	1,1	1,1	<b>1,2</b> (0,10)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1,2	1,1	1,4	1,8	<b>1,4</b> (0,30)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	1,2	1,4	1,2	1,8	<b>1,4</b> (0,31)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1,2	1,3	1,4	1,5	<b>1,3</b> (0,11)
TSP	100	Lanço	71	1,2	1,2	1,1	1,2	<b>1,2</b> (0,04)
Test.	0	Lanço	0	1,2	1,1	1,1	1,2	<b>1,1</b> (0,01)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 5 - Dados originais para a variável teor de P na matéria seca da parte aérea de soja. Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P na MSPA				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	1,3	1,2	1,2	1,3	<b>1,2</b> (0,05) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1,6	1,4	1,4	1,3	<b>1,4</b> (0,12)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	1,8	1,4	1,2	1,5	<b>1,5</b> (0,23)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	1,7	1,6	1,2	1,3	<b>1,5</b> (0,24)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1,6	1,6	1,3	1,7	<b>1,6</b> (0,17)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	1,6	1,8	1,3	1,4	<b>1,5</b> (0,22)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1,7	1,6	1,4	1,6	<b>1,6</b> (0,12)
TSP	50	Sulco	71	1,6	1,7	1,2	1,7	<b>1,5</b> (0,24)
FR	100	Sulco	92	1,9	1,7	1,3	1,5	<b>1,6</b> (0,28)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1,6	1,6	1,3	1,8	<b>1,5</b> (0,21)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1,7	1,6	1,6	1,4	<b>1,6</b> (0,11)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	1,8	1,7	1,5	1,8	<b>1,7</b> (0,14)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	2,1	2,2	1,4	1,6	<b>1,8</b> (0,36)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	2,3	2,1	1,6	2,1	<b>2,0</b> (0,30)
TSP	100	Sulco	71	2,3	2,0	1,9	2,2	<b>2,1</b> (0,17)
FR	200	Sulco	92	1,5	1,6	1,7	1,9	<b>1,7</b> (0,19)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	2,0	1,6	1,7	1,6	<b>1,7</b> (0,16)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	2,1	1,9	1,7	2,0	<b>1,9</b> (0,16)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	2,0	2,5	1,9	2,4	<b>2,2</b> (0,28)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	2,4	2,9	2,2	2,6	<b>2,5</b> (0,27)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	2,5	2,1	2,0	2,1	<b>2,2</b> (0,26)
TSP	200	Sulco	71	2,7	2,3	2,1	2,3	<b>2,4</b> (0,26)
FR	100	Lanço	92	1,6	1,5	1,8	1,3	<b>1,6</b> (0,23)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	1,6	2,1	1,6	1,5	<b>1,7</b> (0,24)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	1,7	1,4	1,6	1,7	<b>1,6</b> (0,16)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1,9	2,7	1,5	2,0	<b>2,0</b> (0,52)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	2,1	2,9	1,4	1,4	<b>2,0</b> (0,71)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1,8	2,3	1,6	1,8	<b>1,9</b> (0,30)
TSP	100	Lanço	71	2,1	2,2	1,9	2,2	<b>2,1</b> (0,15)
Test.	0	Lanço	0	1,5	1,4	1,4	1,3	<b>1,4</b> (0,07)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 6 - Dados originais para a variável P acumulado na matéria seca da parte aérea de soja. Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa — % —	P acumulado na MSPA				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	1,0	1,0	0,7	1,2	<b>1,0</b> (0,21) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1,1	1,4	1,5	1,9	<b>1,5</b> (0,35)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	1,0	0,8	1,2	1,4	<b>1,1</b> (0,24)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	1,6	1,6	1,3	2,6	<b>1,8</b> (0,59)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1,1	1,8	0,0	1,5	<b>1,1</b> (0,80)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	1,4	1,3	1,1	2,6	<b>1,6</b> (0,67)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1,3	1,2	1,8	1,9	<b>1,6</b> (0,36)
TSP	50	Sulco	71	1,7	1,0	1,9	1,9	<b>1,7</b> (0,41)
FR	100	Sulco	92	1,3	1,0	1,0	1,0	<b>1,1</b> (0,16)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1,4	1,1	1,3	1,1	<b>1,2</b> (0,16)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1,6	1,7	1,7	2,7	<b>1,9</b> (0,52)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	2,2	1,6	1,5	2,3	<b>1,9</b> (0,42)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	2,0	1,9	2,9	1,9	<b>2,1</b> (0,49)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	3,3	1,8	2,5	1,3	<b>2,2</b> (0,88)
TSP	100	Sulco	71	2,0	1,6	2,4	1,8	<b>1,9</b> (0,33)
FR	200	Sulco	92	1,2	0,7	1,1	1,5	<b>1,1</b> (0,33)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	2,0	1,8	1,6	1,3	<b>1,7</b> (0,28)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	1,1	1,2	2,2	3,1	<b>1,9</b> (0,91)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	2,8	3,1	3,3	2,4	<b>2,9</b> (0,42)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	3,0	2,3	4,4	2,7	<b>3,1</b> (0,91)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	3,7	3,5	3,4	2,9	<b>3,4</b> (0,35)
TSP	200	Sulco	71	3,8	2,9	3,4	3,6	<b>3,4</b> (0,36)
FR	100	Lanço	92	1,7	0,9	1,6	1,1	<b>1,3</b> (0,39)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	1,0	1,4	1,5	0,7	<b>1,1</b> (0,38)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	1,6	1,3	1,4	1,5	<b>1,5</b> (0,12)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1,3	1,0	1,6	2,4	<b>1,6</b> (0,59)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	1,3	1,3	1,2	2,1	<b>1,5</b> (0,43)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1,9	1,3	1,9	1,6	<b>1,7</b> (0,31)
TSP	100	Lanço	71	1,5	1,5	1,7	1,3	<b>1,5</b> (0,18)
Test.	0	Lanço	0	1,5	1,0	1,3	1,0	<b>1,2</b> (0,24)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 7 - Dados originais para a variável P acumulado na matéria seca da parte aérea de soja. Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	P acumulado na MSPA				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	1,4	2,8	2,9	2,5	<b>2,4</b> (0,69) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	2,4	4,3	3,6	5,1	<b>3,9</b> (1,13)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	3,9	3,4	4,1	5,4	<b>4,2</b> (0,83)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	4,2	5,1	4,8	5,3	<b>4,8</b> (0,47)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	3,2	8,1	5,3	5,1	<b>5,4</b> (2,02)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	4,4	9,6	4,7	7,0	<b>6,4</b> (2,41)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	3,5	7,4	4,3	5,7	<b>5,2</b> (1,72)
TSP	50	Sulco	71	4,2	7,9	5,8	10,0	<b>7,0</b> (2,53)
FR	100	Sulco	92	4,1	5,8	4,8	5,6	<b>5,1</b> (0,79)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	2,4	6,0	4,2	5,1	<b>4,4</b> (1,55)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	5,5	7,2	7,2	7,9	<b>7,0</b> (1,05)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	2,6	7,8	6,3	8,8	<b>6,4</b> (2,70)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	8,2	12,8	6,4	11,2	<b>9,7</b> (2,87)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	6,9	13,9	8,8	10,2	<b>10,0</b> (2,96)
TSP	100	Sulco	71	5,8	10,0	12,2	12,4	<b>10,1</b> (3,06)
FR	200	Sulco	92	1,9	4,2	7,1	8,5	<b>5,4</b> (2,97)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	3,5	7,5	8,5	9,3	<b>7,2</b> (2,54)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	5,5	13,1	7,4	10,7	<b>9,2</b> (3,38)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	5,0	16,5	10,5	11,7	<b>10,9</b> (4,72)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	9,8	16,8	16,6	14,2	<b>14,4</b> (3,25)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	7,7	13,5	13,4	15,7	<b>12,5</b> (3,44)
TSP	200	Sulco	71	13,1	16,9	24,8	13,5	<b>17,1</b> (5,44)
FR	100	Lanço	92	3,5	4,4	8,6	5,1	<b>5,4</b> (2,25)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	4,5	8,7	6,2	4,1	<b>5,9</b> (2,10)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	3,0	6,7	9,2	7,9	<b>6,7</b> (2,64)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	3,0	13,5	5,6	6,7	<b>7,2</b> (4,47)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	5,2	11,9	5,4	5,6	<b>7,0</b> (3,27)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	3,9	13,2	8,8	7,6	<b>8,4</b> (3,85)
TSP	100	Lanço	71	6,7	12,6	12,4	12,2	<b>11,0</b> (2,87)
Test.	0	Lanço	0	2,3	3,0	4,7	3,6	<b>3,4</b> (1,00)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 8 - Dados originais para a variável produtividade de grãos de soja. Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa — % —	Produtividade de grãos				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	502	576	406	607	<b>523</b> (90) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	597	599	668	547	<b>603</b> (50)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	615	462	591	825	<b>624</b> (150)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	831	696	803	883	<b>803</b> (79)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	731	1037	1113	630	<b>878</b> (234)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	1023	1012	935	936	<b>977</b> (47)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	761	876	920	951	<b>877</b> (83)
TSP	50	Sulco	71	868	862	1098	1068	<b>974</b> (127)
FR	100	Sulco	92	581	568	643	531	<b>581</b> (47)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	760	756	814	913	<b>811</b> (73)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	836	886	938	1079	<b>934</b> (105)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	917	1052	1012	1066	<b>1012</b> (67)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	1327	1097	1339	1176	<b>1235</b> (118)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	1168	1171	1053	1078	<b>1117</b> (61)
TSP	100	Sulco	71	1016	953	979	1251	<b>1049</b> (137)
FR	200	Sulco	92	653	670	634	722	<b>670</b> (38)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	1162	892	973	793	<b>955</b> (156)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	913	725	1168	1114	<b>980</b> (202)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	1120	1034	1191	1133	<b>1120</b> (65)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	1442	1541	1673	1509	<b>1541</b> (97)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	1099	1446	1165	1415	<b>1281</b> (175)
TSP	200	Sulco	71	1525	1628	1258	1470	<b>1470</b> (156)
FR	100	Lanço	92	920	852	862	773	<b>852</b> (61)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	862	643	912	463	<b>720</b> (207)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	536	558	744	790	<b>657</b> (129)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	821	794	1064	840	<b>880</b> (124)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	919	744	933	699	<b>824</b> (120)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1047	965	1049	861	<b>981</b> (89)
TSP	100	Lanço	71	979	898	912	900	<b>922</b> (38)
Test.	0	Lanço	0	758	498	725	583	<b>641</b> (122)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 9 - Dados originais para a variável produtividade de grãos de soja. Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa — % —	Produtividade de grãos				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	545	645	405	760	<b>589</b> (151) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1023	890	1175	1005	<b>1023</b> (117)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	860	620	1000	780	<b>815</b> (159)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	930	780	1020	1165	<b>974</b> (161)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1040	1200	1035	790	<b>1016</b> (169)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	1185	1300	1217	1165	<b>1217</b> (59)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1215	1330	900	1320	<b>1191</b> (201)
TSP	50	Sulco	71	1307	1448	1120	1395	<b>1318</b> (144)
FR	100	Sulco	92	728	975	495	715	<b>728</b> (196)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	1050	1305	1015	955	<b>1081</b> (154)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1285	1325	1160	1370	<b>1285</b> (90)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	1016	1070	870	1580	<b>1134</b> (309)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	1850	1675	2210	1665	<b>1850</b> (255)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	1410	1410	1680	1880	<b>1595</b> (229)
TSP	100	Sulco	71	1620	1475	1362	2185	<b>1661</b> (365)
FR	200	Sulco	92	705	650	855	1115	<b>831</b> (208)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	1525	1200	1363	1510	<b>1400</b> (152)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	1530	1370	1605	1475	<b>1495</b> (99)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	1745	1758	1725	1880	<b>1777</b> (70)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	1976	1760	2715	2340	<b>2198</b> (420)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	1900	2195	2185	2185	<b>2116</b> (144)
TSP	200	Sulco	71	2640	1860	2085	2070	<b>2164</b> (334)
FR	100	Lanço	92	1050	1657	1550	1210	<b>1367</b> (284)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	1646	1120	1693	1599	<b>1515</b> (266)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	1090	1905	1749	1748	<b>1623</b> (363)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	1125	1200	1630	1430	<b>1346</b> (229)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	1455	1275	1270	955	<b>1239</b> (208)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	1698	1770	1735	1665	<b>1717</b> (45)
TSP	100	Lanço	71	2100	1780	1468	1565	<b>1728</b> (280)
Test.	0	Lanço	0	715	420	775	815	<b>681</b> (179)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 10 - Dados originais para a variável teor disponível de P no solo, determinado com o método da resina de troca iônica. Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P (Resina)				Média
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	
Test.	0	Sulco	0	5	3	4	6	<b>4</b> (1,1) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	6	7	8	7	<b>7</b> (0,9)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	7	4	8	10	<b>7</b> (2,4)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	9	11	11	7	<b>10</b> (1,6)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	11	13	7	5	<b>9</b> (3,4)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	4	9	4	7	<b>6</b> (2,4)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	5	5	6	7	<b>6</b> (0,7)
TSP	50	Sulco	71	4	6	9	8	<b>7</b> (2,0)
FR	100	Sulco	92	5	12	12	8	<b>9</b> (3,4)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	20	23	20	28	<b>23</b> (3,9)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	5	14	11	13	<b>11</b> (4,1)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	11	14	12	18	<b>14</b> (3,0)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	7	18	16	20	<b>15</b> (5,7)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	16	18	11	13	<b>14</b> (3,1)
TSP	100	Sulco	71	10	14	7	19	<b>13</b> (5,4)
FR	200	Sulco	92	11	21	18	16	<b>16</b> (3,9)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	15	13	18	13	<b>15</b> (2,6)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	34	18	35	15	<b>26</b> (10,4)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	22	19	17	19	<b>19</b> (2,3)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	44	29	27	34	<b>34</b> (7,7)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	26	27	24	30	<b>27</b> (2,4)
TSP	200	Sulco	71	17	24	12	16	<b>17</b> (5,0)
FR	100	Lanço	92	6	7	6	6	<b>6</b> (0,2)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	10	17	11	12	<b>12</b> (3,0)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	7	12	6	12	<b>9</b> (3,3)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	2	9	8	8	<b>7</b> (3,2)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	6	5	6	6	<b>6</b> (0,6)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	5	7	8	6	<b>7</b> (1,2)
TSP	100	Lanço	71	6	8	10	8	<b>8</b> (1,6)
Test.	0	Lanço	0	5	5	6	5	<b>5</b> (0,2)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 11 - Dados originais para a variável teor disponível de P no solo, determinado com o método da resina de troca iônica. Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P (Resina)				Média
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	
Test.	0	Sulco	0	1	3	1	2	<b>2</b> (0,8) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	2	2	3	8	<b>4</b> (3,2)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	4	2	2	8	<b>4</b> (2,9)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	3	2	3	4	<b>3</b> (0,7)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	2	4	5	3	<b>4</b> (1,3)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	3	6	2	4	<b>4</b> (1,8)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1	3	2	4	<b>3</b> (1,2)
TSP	50	Sulco	71	3	6	4	2	<b>4</b> (1,6)
FR	100	Sulco	92	10	3	12	2	<b>7</b> (4,8)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	4	2	6	2	<b>4</b> (1,6)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	4	3	4	9	<b>5</b> (2,6)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	6	3	3	6	<b>5</b> (1,7)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	18	3	3	3	<b>7</b> (7,2)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	3	3	5	3	<b>3</b> (1,0)
TSP	100	Sulco	71	5	3	2	5	<b>4</b> (1,6)
FR	200	Sulco	92	6	25	9	3	<b>11</b> (9,9)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	8	10	35	14	<b>17</b> (12,5)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	4	4	19	6	<b>8</b> (7,1)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	6	9	12	12	<b>10</b> (2,9)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	11	6	6	6	<b>7</b> (2,5)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	5	8	8	3	<b>6</b> (2,4)
TSP	200	Sulco	71	16	18	6	11	<b>13</b> (5,3)
FR	100	Lanço	92	6	5	7	3	<b>5</b> (1,8)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	7	11	11	5	<b>8</b> (3,0)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	8	8	8	6	<b>7</b> (1,2)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	5	7	7	5	<b>6</b> (1,2)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	7	6	6	6	<b>6</b> (0,7)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	6	8	9	4	<b>7</b> (2,4)
TSP	100	Lanço	71	11	8	6	6	<b>8</b> (2,6)
Test.	0	Lanço	0	4	2	3	4	<b>3</b> (0,9)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 12 - Dados originais para a variável teor disponível de P no solo, determinado com o método Mehlich-1. Safra 2005/06, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P (Mehlich-1)				Média
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	
				mg dm <sup>-3</sup>				
Test.	0	Sulco	0	0,9	2,4	0,6	1,1	<b>1,2</b> (0,77) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	5,0	5,6	5,4	7,8	<b>5,9</b> (1,29)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	5,4	4,8	3,2	5,7	<b>4,8</b> (1,10)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	5,0	3,7	3,6	2,5	<b>3,7</b> (1,02)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	9,8	8,7	3,0	1,6	<b>5,8</b> (4,09)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	2,4	4,1	1,4	2,7	<b>2,6</b> (1,13)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	2,1	3,7	2,2	2,0	<b>2,5</b> (0,82)
TSP	50	Sulco	71	1,9	3,6	2,5	1,4	<b>2,3</b> (0,97)
FR	100	Sulco	92	14,8	16,7	14,8	12,8	<b>14,8</b> (1,58)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	21,4	16,4	18,9	18,9	<b>18,9</b> (2,03)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	2,2	32,1	7,5	5,1	<b>11,7</b> (13,76)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	9,3	9,2	9,0	9,3	<b>9,2</b> (0,18)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	4,1	13,1	9,3	12,5	<b>9,7</b> (4,10)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	13,4	8,6	4,0	5,5	<b>7,9</b> (4,18)
TSP	100	Sulco	71	3,2	5,7	1,9	6,2	<b>4,3</b> (2,06)
FR	200	Sulco	92	29,6	24,6	17,4	46,7	<b>29,6</b> (12,46)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	24,7	20,7	28,6	24,7	<b>24,7</b> (3,25)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	27,9	13,6	49,8	11,7	<b>25,7</b> (17,6)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	13,3	27,9	22,3	19,7	<b>20,8</b> (6,05)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	21,4	21,4	19,8	22,9	<b>21,4</b> (1,27)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	12,5	13,8	12,8	14,9	<b>13,5</b> (1,12)
TSP	200	Sulco	71	7,0	9,8	3,9	7,2	<b>7,0</b> (2,45)
FR	100	Lanço	92	5,6	4,9	6,2	3,4	<b>5,0</b> (1,23)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	8,3	7,8	3,6	1,1	<b>5,2</b> (3,47)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	5,4	3,4	1,7	4,0	<b>3,6</b> (1,5)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	5,7	3,7	3,1	3,9	<b>4,1</b> (1,13)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	4,4	3,5	2,6	1,6	<b>3,0</b> (1,17)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	3,0	3,7	2,2	1,9	<b>2,7</b> (0,83)
TSP	100	Lanço	71	2,9	3,6	2,7	2,9	<b>3,0</b> (0,40)
Test.	0	Lanço	0	2,4	2,6	1,1	0,9	<b>1,7</b> (0,87)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 13 - Dados originais para a variável teor disponível de P no solo, determinado com o método Mehlich-1. Safra 2006/07, Palmital, SP

Fontes de P <sup>1</sup>	Doses de P <sup>2</sup> kg ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Forma de Aplicação	Solubilidade relativa —%—	Teor de P (Mehlich-1)				
				Rep. A	Rep. B	Rep. C	Rep. D	Média
Test.	0	Sulco	0	0,6	1,0	0,6	0,4	<b>0,6</b> (0,26) <sup>3</sup>
FR	50	Sulco	92	1,8	0,7	3,5	4,7	<b>2,7</b> (1,75)
Fosf. 14 %	50	Sulco	0,6	1,2	1,5	2,4	9,9	<b>3,7</b> (4,12)
Fosf. 24 %	50	Sulco	14	1,1	0,7	1,1	1,8	<b>1,2</b> (0,45)
Fosf. 54 %	50	Sulco	24	1,7	2,2	2,3	1,3	<b>1,9</b> (0,45)
Fosf. 62 %	50	Sulco	54	2,3	1,5	1,0	1,4	<b>1,6</b> (0,57)
Fosf. 71 %	50	Sulco	62	1,0	1,0	1,2	2,2	<b>1,3</b> (0,57)
TSP	50	Sulco	71	1,0	1,5	1,8	1,0	<b>1,3</b> (0,41)
FR	100	Sulco	92	3,3	7,5	2,0	4,3	<b>4,3</b> (2,32)
Fosf. 14 %	100	Sulco	0,6	3,7	3,1	9,4	1,2	<b>4,3</b> (3,53)
Fosf. 24 %	100	Sulco	14	1,3	3,9	4,7	8,8	<b>4,7</b> (3,09)
Fosf. 54 %	100	Sulco	24	4,4	1,2	1,9	4,5	<b>3,0</b> (1,68)
Fosf. 62 %	100	Sulco	54	7,2	1,5	2,2	1,8	<b>3,2</b> (2,73)
Fosf. 71 %	100	Sulco	62	1,5	2,1	1,4	1,6	<b>1,6</b> (0,30)
TSP	100	Sulco	71	2,2	2,5	0,8	1,6	<b>1,8</b> (0,72)
FR	200	Sulco	92	15,9	19,0	9,9	11,4	<b>14,1</b> (4,16)
Fosf. 14 %	200	Sulco	0,6	2,7	3,6	35,3	9,9	<b>12,9</b> (15,29)
Fosf. 24 %	200	Sulco	14	2,8	2,2	17,8	3,7	<b>6,6</b> (7,48)
Fosf. 54 %	200	Sulco	24	2,9	4,9	7,9	4,7	<b>5,1</b> (2,08)
Fosf. 62 %	200	Sulco	54	5,8	4,3	11,4	13,5	<b>8,8</b> (4,42)
Fosf. 71 %	200	Sulco	62	4,3	3,4	14,2	2,4	<b>6,1</b> (5,45)
TSP	200	Sulco	71	4,6	4,9	4,2	20,5	<b>8,5</b> (7,96)
FR	100	Lanço	92	5,9	2,9	5,7	2,3	<b>4,2</b> (1,85)
Fosf. 14 %	100	Lanço	0,6	5,3	9,7	4,9	1,6	<b>5,4</b> (3,33)
Fosf. 24 %	100	Lanço	14	5,3	3,2	3,1	1,4	<b>3,3</b> (1,57)
Fosf. 54 %	100	Lanço	24	5,0	2,1	2,9	1,8	<b>3,0</b> (1,46)
Fosf. 62 %	100	Lanço	54	2,5	1,7	1,9	3,0	<b>2,3</b> (0,58)
Fosf. 71 %	100	Lanço	62	2,1	1,6	3,0	1,3	<b>2,0</b> (0,74)
TSP	100	Lanço	71	3,2	3,1	1,4	1,1	<b>2,2</b> (1,09)
Test.	0	Lanço	0	1,5	1,0	1,1	0,6	<b>1,0</b> (0,36)

<sup>1</sup> FR: Fosfato Natural Reativo (Argélia), na forma farelada; Fosf. 14 %: FR na forma granulada; Fosf. 24 % a Fosf. 71 %: fontes obtidas a partir da mistura entre o concentrado fosfático acidulado e o FR em proporções distintas, o que resultou em 24, 54, 62 e 71 % de solubilidade relativa; TSP: Superfosfato Triplo;

<sup>2</sup> Doses de fósforo calculadas com base no teor total de P das fontes;

<sup>3</sup> Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média;

Tabela 14 - Resumo da análise de variância (Esquema 1), expresso pelos valores dos quadrados médios, para as variáveis produção de matéria seca (MSPA), teor de P na plantas ( $P_{\text{Planta}}$ ), fósforo acumulado ( $P_{\text{Acum}}$ ), produtividade e teores de P no solo por resina ( $P_{\text{Resina}}$ ) e por Mehlich-1 ( $P_{\text{M-1}}$ ). Safra 2005/06, Palmital, SP

F.V.	G.L.	Valores dos Quadrados Médios					
		MSPA	$P_{\text{Planta}}$	$P_{\text{Acum}}$	Produtividade	$P_{\text{Resina}}$	$P_{\text{M-1}}$
Bloco	3	249.481*	0,1537**	0,5783*	24.176 <sup>ns</sup>	8,8333 <sup>ns</sup>	14,2262 <sup>ns</sup>
Doses de P <sup>1</sup>	3	3.752.480**	0,5101**	11,0154**	1.935.202**	1.690,7381**	2.054,3214**
Fontes de P <sup>2</sup>	6	791.202**	0,0298 <sup>ns</sup>	2,1028**	436.225**	52,0179**	176,8958**
Dose*Fonte	18	221.115**	0,0374 <sup>ns</sup>	0,7492**	74.568**	72,8631**	57,1617*
Resíduo	81	82.783	0,0252	0,1854	12.500	14,2901	28,6953
CV(%)		22,7	12,1	25,4	13,0	31,6	58,7

<sup>1</sup> 4 doses de P: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicadas no sulco de semeadura;

<sup>2</sup> 7 fontes de P: FR, Fosf. 14 %, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: Não significativo e significativo respectivamente a 1 e 5% pelo teste F.

Tabela 15 - Resumo da análise de variância (Esquema 2), expresso pelos valores dos quadrados médios, para as variáveis produção de matéria seca (MSPA), teor de P na plantas ( $P_{\text{Planta}}$ ), fósforo acumulado ( $P_{\text{Acum}}$ ), produtividade e teores de P no solo por resina ( $P_{\text{Resina}}$ ) e por Mehlich-1 ( $P_{\text{M-1}}$ ). Safra 2005/06, Palmital, SP

F.V.	G.L.	Valores dos Quadrados Médios					
		MSPA	$P_{\text{Planta}}$	$P_{\text{Acum}}$	Produtividade	$P_{\text{Resina}}$	$P_{\text{M-1}}$
Bloco	3	452.817**	0,2526**	0,7399**	17.305 <sup>ns</sup>	15,90 <sup>ns</sup>	14,47 <sup>ns</sup>
Doses de P <sup>1</sup>	3	1.823.503**	0,1150**	5,4489**	532.394**	1.130,55**	1.496,95**
Fontes de P <sup>2</sup>	7	1.045.658**	0,1449**	3,3883**	735.937**	180,68**	311,32**
Dose*Fonte	21	204.618**	0,0386 <sup>ns</sup>	0,6888**	75.435**	91,96**	75,65**
Resíduo	93	84.125	0,0252	0,1839	13.857	13,14	25,58
CV(%)		22,9	12,0	25,0	13,2	30,8	58,0

<sup>1</sup> 4 doses de P: 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no sulco de semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada a lanço;

<sup>2</sup> 8 fontes de P: Testemunha FR, Fosf. 14 %, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: Não significativo e significativo a 1 % pelo teste F.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância (Esquema 1), expresso pelos valores dos quadrados médios, para as variáveis produção de matéria seca (MSPA), teor de P na plantas ( $P_{\text{Planta}}$ ), fósforo acumulado ( $P_{\text{Acum}}$ ), produtividade e teores de P no solo por resina ( $P_{\text{Resina}}$ ) e por Mehlich-1 ( $P_{\text{M-1}}$ ). Safra 2006/07, Palmital, SP

F.V.	G.L.	Valores dos Quadrados Médios					
		MSPA	$P_{\text{Planta}}$	$P_{\text{Acum}}$	Produtividade	$P_{\text{Resina}}$	$P_{\text{M-1}}$
Bloco	3	28.990.683**	0,3582**	72,2272**	134.515*	4,3968 <sup>ns</sup>	32,8693 <sup>ns</sup>
Doses de P <sup>1</sup>	3	51.404.555**	3,6355**	364,7137**	6.213.905**	366,9940**	367,0910**
Fontes de P <sup>2</sup>	6	7.682.561**	0,3012**	54,8733**	1.029.977**	16,2839 <sup>ns</sup>	24,4486 <sup>ns</sup>
Dose*Fonte	18	1.726.090**	0,1223**	13,2200**	238.587**	15,9490 <sup>ns</sup>	10,6478 <sup>ns</sup>
Resíduo	81	738.507	0,0262	3,3762	36.616	17,5638	16,7038
<i>CV(%)</i>		<i>23,1</i>	<i>9,8</i>	<i>28,1</i>	<i>16,2</i>	<i>82,9</i>	<i>110,9</i>

<sup>1</sup> 4 doses de P: 0, 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, aplicadas no sulco de semeadura;

<sup>2</sup> 7 fontes de P: FR, Fosf. 14 %, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: Não significativo e significativo respectivamente a 1 e 5% pelo teste F.

Tabela 17 - Resumo da análise de variância (Esquema 2), expresso pelos valores dos quadrados médios, para as variáveis produção de matéria seca (MSPA), teor de P na plantas ( $P_{\text{Planta}}$ ), fósforo acumulado ( $P_{\text{Acum}}$ ), produtividade e teores de P no solo por resina ( $P_{\text{Resina}}$ ) e por Mehlich-1 ( $P_{\text{M-1}}$ ). Safra 2006/07, Palmital, SP

F.V.	G.L.	Valores dos Quadrados Médios					
		MSPA	$P_{\text{Planta}}$	$P_{\text{Acum}}$	Produtividade	$P_{\text{Resina}}$	$P_{\text{M-1}}$
Bloco	3	37.729.726**	0,6384**	107,7689**	61.507 <sup>ns</sup>	11,6597 <sup>ns</sup>	24,1809 <sup>ns</sup>
Doses de P <sup>1</sup>	3	11.451.061**	1,3774**	134,9193**	1.779.919**	207,9776**	232,5528**
Fontes de P <sup>2</sup>	7	18.615.983**	0,9953**	122,9346**	2.260.438**	52,6239**	56,7296**
Dose*Fonte	21	1.377.774*	0,0973*	10,4474**	243.639**	18,1505 <sup>ns</sup>	12,3238 <sup>ns</sup>
Resíduo	93	722.534	0,0474	4,0279	47.172	15,9191	15,5333
<i>CV(%)</i>		<i>21,5</i>	<i>12,6</i>	<i>28,1</i>	<i>16,6</i>	<i>68,8</i>	<i>101,8</i>

<sup>1</sup> 4 doses de P: 50, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no sulco de semeadura e 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicada a lanço;

<sup>2</sup> 8 fontes de P: Testemunha FR, Fosf. 14 %, Fosf. 24 %, Fosf. 54 %, Fosf. 62 %, Fosf. 71 % e TSP;

<sup>ns</sup>, \*\*, \*: Não significativo e significativo a 1 % pelo teste F.

Tabela 18 - Equações<sup>1</sup> de regressão ajustadas para a variável teor de P no solo, por resina e por Mehlich-1, nas safras 2005/06 e 2006/07, em função das doses e da solubilidade relativa das fontes de P. Palmital, SP

Método de Extração	Safra	Equação	R <sup>2</sup>
Resina	2005/06	$\hat{y} = 22,246 - 941,795^{**} \left(\frac{1}{x}\right) + 0,233^{\circ} z - 0,0024^{\circ} z^2$	0,69
	2006/07	$\hat{y} = 12,179 - 413,849^{**} \left(\frac{1}{x}\right) - 0,111^{\circ} z + 0,0008^{ns} z^2$	0,65
Mehlich-1	2005/06	$\hat{y} = -5,817 + 0,249^{**} x + 0,059^{ns} z - 0,0004^{ns} x^2 - 0,0007^{ns} z^2 - 0,0010^{**} xz$	0,91
	2006/07	$\hat{y} = 2,654 + 0,011^{ns} x - 0,076^{ns} z + 0,0002^{ns} x^2 + 0,0008^{\circ} z^2 - 0,0003^{ns} xz$	0,86

<sup>1</sup>  $\hat{y}$ , representa o teor de P no solo, por ambos os extratores, expresso em mg dm<sup>-3</sup>; x é representado pelas doses de P, em kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; e; z pela solubilidade relativa das fontes, em percentagem;

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup>, <sup>°</sup>: Não significativo; e significativo, respectivamente, a 1 %, 5 % e 10 % pelo teste t;

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)