

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE VERTICAL DE FORMAS DE FÓSFORO EM
FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE FOSFATOS EM SEMEADURA
DIRETA.**

DÁCIO OLIBONE

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura.

BOTUCATU-SP
Junho-2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**VARIABILIDADE VERTICAL DE FORMAS DE FÓSFORO EM
FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE FOSFATOS EM SEMEADURA
DIRETA.**

DÁCIO OLIBONE

Orientador Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura.

BOTUCATU - SP
Junho-2005

BIOGRAFIA DO AUTOR

DÁCIO OLIBONE, filho de Vivaldino Antônio Olibone e Marilene Lourdes Olibone, nascido em Tapejara-RS, aos 27 de julho de 1977.

Cursou o primário na Escola Municipal Ada Gineste em São João da Linha Velha, primeiro grau no Colégio Estadual de Rio do Salto, ambos distritos rurais do município de Cascavel-PR e segundo grau Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Estadual Arlindo Ribeiro, em Guarapuava-PR.

Em 2003, formou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE em Marechal Cândido Rondon-PR. Em junho do mesmo ano ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP, Botucatu-SP.

Em junho de 2005, completou todas as exigências para receber o título de Mestre em Agronomia, pela mesma Universidade.

DEDICO

*Às pessoas que me possibilitaram a vida,
meus pais Vivaldino Antônio e Marilene Lourdes, os
quais se dedicaram com muito empenho, suor e privações para
a realização deste objetivo, com incentivos, exemplos e
confiança em todos os momentos.*

OFEREÇO,

*Aos meus irmãos Marcos Alexandre e Viviane, que juntamente
com meus pais não mediram esforços e privaram-se de algumas
necessidades para possibilitar minha formação.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde e paz;

A meus pais Vivaldino Antônio Olibone e Marilene Lourdes Olibone pela oportunidade, créditos de confiança e empenho para o desenvolvimento de mais esta etapa;

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, pela oportunidade;

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho com total dedicação;

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem pela orientação, ensinamentos, ética profissional e amizade;

À Prof^a. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa – UNIOESTE por seus conhecimentos passados, ética, serenidade e amizade;

Aos Docentes e Funcionários dos Departamentos de Agricultura e Ciência do Solo pela estrutura concedida, ensinamentos e colaboração nesta pesquisa;

A todos os funcionários da biblioteca pelos serviços prestados;

Aos funcionários da Fazenda Experimental de Ensino, Pesquisa e Extensão especialmente aos Srs. Mario e Marcos pelo apoio;

Ao amigo e técnico do laboratório de Relação Solo-Planta, Dorival Pires por suas sugestões e empenho na realização das análises;

Aos amigos Adilson Pelá e Gláucia de Mello pela recepção, hospedagem e amizade, a qual possibilitou empenho integral aos estudos e a realização deste trabalho e paralelos;

Ao Engº Agrº Luiz Antônio de Mendonça Costa pela amizade, incentivos, motivação, conselhos, exemplos de vida e de ética profissional, minha sincera gratidão;

Ao amigo Edison Ulisses Ramos Júnior pela amizade, convivência e ajuda incessante;

A meu amor, amiga, companheira e esposa Ana Paula Encide pela presença alegre, sincera e carinhosa, muito obrigado;

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho,

Meus sinceros votos de agradecimento!

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1. Importância do fósforo	7
4.2. Fontes minerais de fósforo	8
4.3. Fosfatos naturais reativos	10
4.4. Plantas de cobertura	11
4.5. Sistema semeadura direta (SSD)	13
4.6. Ácidos orgânicos	16
4.7. Cultura da soja	18
5. MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1. Localização e histórico da área experimental	21
5.2. Características edáficas da área experimental	22
5.3. Características climáticas da área experimental	22
5.4. Tratamentos em parcelas e delineamento experimental	23
5.5. Tratamentos em subparcelas e delineamento experimental	24
5.6. Instalação e condução do experimento	25
5.6.1. Semeadura e cultivo de tritcale (outono/inverno-2003)	25
5.6.2. Semeadura e cultivo de milheto (primavera-2003)	26
5.6.3. Semeadura e cultivo da soja (verão-2003/2004)	27
5.7. Coleta e preparo das amostras	28
5.7.1. Coleta e preparo das amostras de solo	28
5.7.2. Coleta e preparo das amostras de tecido vegetal	29
5.7.2.1. Grãos de tritcale	29
5.7.2.2. Matéria seca de palha de tritcale	29
5.7.2.3. Matéria seca de palha de milheto	30
5.7.2.4. Grãos de soja	30

5.7.2.5. Matéria seca de plantas de soja-----	31
5.8. Avaliações e determinações químicas nas amostras de solo-----	31
5.8.1. Acidez do solo e matéria orgânica-----	31
5.8.2. Fósforo orgânico-----	31
5.8.3. Fracionamento do fósforo inorgânico-----	32
5.9. Análises estatísticas-----	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	36
6.1. Cultura do triticale-----	36
6.2. Cultura do milho-----	39
6.3. Cultura da soja-----	41
6.4. Fósforo orgânico -----	46
6.4.1. Após a dessecação do milho-----	46
6.4.2. Após a colheita da soja-----	47
6.5. Fracionamento do fósforo inorgânico-----	49
6.5.1. Após a dessecação do milho-----	49
6.5.1.1. Fósforo solúvel em água-----	49
6.5.1.2. Fósforo ligado ao alumínio-----	50
6.5.1.3. Fósforo ligado ao ferro-----	52
6.5.1.4. Fósforo ligado ao cálcio-----	53
6.5.1.5. Fósforo ocluso-----	54
6.5.1.6. Fósforo total-----	56
6.5.2. Após a colheita da soja-----	59
6.5.2.1. Fósforo solúvel em água-----	59
6.5.2.2. Fósforo ligado ao alumínio-----	60
6.5.2.3. Fósforo ligado ao ferro-----	60
6.5.2.4. Fósforo ligado ao cálcio-----	61
6.5.2.5. Fósforo ocluso-----	62
6.5.2.6. Fósforo total-----	63
6.6. Acidez do solo-----	65
6.6.1. Após a dessecação do milho-----	66
6.6.2. Após a colheita da soja-----	67
6.7. Matéria orgânica-----	68

6.7.1. Após a dessecação do milheto-----	68
6.7.2. Após a colheita da soja-----	69
6.8. Avaliações após o milheto x após a colheita da soja-----	71
6.8.1. Fósforo orgânico-----	71
6.8.2. Fósforo solúvel em água-----	72
6.8.3. Fósforo ligado ao ferro-----	74
6.8.4. Fósforo ligado ao cálcio-----	75
6.8.5. Fósforo ocluso-----	76
6.8.6. Fósforo total-----	77
6.8.7. Acidez do solo-----	79
6.8.8. Matéria orgânica-----	80
7. CONCLUSÕES-----	82
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	83

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1. Sistema de rotação de culturas implantado na área experimental.	21
Quadro 2. Características químicas e granulométricas do solo da área experimental por ocasião da instalação dos tratamentos (Abril /2003).-----	22
Quadro 3 . Fontes de fósforo e suas combinações com as respectivas doses (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹) para tratamentos em parcelas e subparcelas.-----	24
Quadro 4. Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos.-----	25
Quadro 5. Valores médios de produtividade de matéria seca de plantas e produção de grãos de triticle var. BRS 148 no momento da colheita aos 130 DAE.----	37
Quadro 6. Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas e grãos de triticle var. BRS 148 no momento da colheita aos 130 DAE.-----	38
Quadro 7. Quantidade de fósforo (kg ha ⁻¹) exportado pelos grãos de triticle BRS 148.-----	38
Quadro 8. Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas de soja (var. BR 48) aos 14; 42; 70 e 98 DAE.-----	43
Quadro 9. Valores médios de produtividade de grãos de soja com 13 % de umidade e stand de plantas (variedade BR 48).-----	44
Quadro 10. Valores médios de teor de P e quantidade exportado pela colheita de grãos de soja (variedade BR 48)-----	45
Quadro 11. Teores médios de fósforo orgânico nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.-----	47
Quadro 12. Teores médios de fósforo orgânico nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.	48
Quadro 13. Valores médios de fósforo solúvel em água nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	50

Quadro 14. Valores médios de fósforo ligado a ferro nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	52
Quadro 15. Valores médios de fósforo ligado a cálcio nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	54
Quadro 16. Valores médios de fósforo ocluso nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	55
Quadro 17. Valores médios do fósforo total obtido pelo somatório das frações orgânica e inorgânica de P nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	57
Quadro 18. Fósforo orgânico e inorgânico em relação ao fósforo total nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.-----	58
Quadro 19. Valores médios de fósforo solúvel em água nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	59
Quadro 20. Valores médios de fósforo ligado a ferro nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	61
Quadro 21. Valores médios de fósforo ligado a cálcio nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	62
Quadro 22. Valores médios de fósforo ocluso nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.---	63
Quadro 23. Valores médios do fósforo total obtido pelo somatório das frações orgânica e inorgânica de P nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	64

Quadro 24. Fósforo orgânico e inorgânico em relação ao fósforo total nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	65
Quadro 25. Valores de pH em solução de CaCl_2 nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.-----	66
Quadro 26. Valores médios de pH em solução de CaCl_2 nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	67
Quadro 27. Valores médios de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.-----	69
Quadro 28. Valores médios de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.-----	70
Quadro 29. Comparativo entre o fósforo orgânico médio obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	71
Quadro 30. Comparativo entre o fósforo solúvel em água obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	73
Quadro 31. Comparativo entre o fósforo ligado ao ferro obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	74
Quadro 32. Comparativo entre o fósforo ligado ao cálcio obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	75
Quadro 33. Comparativo entre fósforo ocluso obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	77
Quadro 34. Comparativo entre o fósforo total obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	78
Quadro 35. Comparativo da acidez do solo obtida após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	79

Quadro 36. Comparativo entre a matéria orgânica do solo obtida após a dessecação do milho e após a colheita da soja.-----	80
---	----

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação e temperatura média mensal referente ao período do experimento (Maio/2003 a Maio/2004).-----	23
Figura 2. Detalhe da Semeadora-adubadora (Semeato, modelo THM 13 – Personale Drill) e vista geral o tritcale aos 10 DAE.-----	26
Figura 3. Detalhe da colhedora de parcelas automotriz marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite.-----	26
Figura 4. Detalhe da Semeadora-adubadora (Semeato, modelo THM 13 – Personale Drill) no momento da semeadura e vista geral o milho aos 20 DAE.-----	27
Figura 5. Valores médios de produtividade de matéria seca de plantas de milho aos 76 DAE e aos 14, 28 e 42 dias após manejo químico-----	39
Figura 6. Quantidade de fósforo na matéria seca de plantas de milho aos 76 DAE e aos 14, 28 e 42 dias após manejo químico-----	40
Figura 7. Acúmulo médio de matéria seca em plantas de soja aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 DAE-----	42

1. RESUMO

No presente trabalho foram estudados os efeitos de épocas e doses combinadas de fontes de fosfatos na variabilidade vertical de frações de fósforo no solo em semeadura direta.

Em maio de 2003, o triticales foi semeado, em Latossolo Vermelho-distroférico, em semeadura direta, aplicando-se 3 tratamentos: 1) sem aplicação de fósforo; 2) aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total de fosfato solúvel (superfosfato triplo) e; 3) 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de fosfato natural reativo (fosfato natural Arad). A aplicação do P, para ambas as fontes, foi realizada a lanço na superfície antes da semeadura do triticales. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. A partir do mês de agosto de 2003, após a colheita do triticales, foi semeado o milho, objetivando elevar a cobertura de palha no solo. No florescimento, o milho foi dessecado com o uso de herbicida, permanecendo os resíduos sobre o solo.

No mês de novembro, após o dessecamento do milho, foi instalada a cultura da soja em semeadura direta, espaçada 0,45m entre linhas, quando foram estabelecidos os tratamentos com combinações de fontes de fosfato solúvel e fosfato natural aplicado no sulco de semeadura, totalizando 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total, constando de: 0% de fosfato solúvel (FS) e 100% de fosfato natural (FN), 20% de FS e 80% de FN, 40% de FS e 60% de FN, 60%

de FS e 40% de FN, 80% de FS e 20% de FN e 100% de FS e 0% de FN. O delineamento experimental foi o de parcelas subdivididas, com quatro repetições, onde as fontes de P aplicadas no tritcale foram as parcelas e as combinações de FS e FN, foram as subparcelas.

Antecedendo a semeadura da soja, coletou-se amostra de solos para as determinações de fósforo orgânico e frações do inorgânico, as quais também foram realizadas após a colheita da soja. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de médias LSD a 5% de probabilidade.

O fracionamento propiciou constatar que após cultivo da soja, as formas de P não-lábeis (P-ocluso) em relação ao P total tendem a diminuir, sendo acompanhadas por um aumento das formas lábeis (P-solúvel em água) e pouco lábeis (P-Fe e P-Ca). O fracionamento de P mostrou que após o cultivo e a decomposição dos resíduos vegetais de soja há melhor distribuição de P no perfil do solo.

Palavras-chave: fosfato natural, superfosfato, frações de fósforo, disponibilidade no perfil, rotação de culturas.

VERTICAL VARIABILITY OF PHOSPHORUS FORMS AS AFFECTED BY RATES OF DIFFERENT PHOSPHATES AND RATES. Botucatu, 2005. 100 fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: DÁCIO OLIBONE

Adviser: CIRO ANTONIO ROSOLEM

2. SUMMARY

This work was designed to study the effects of time of application and rates of a mixture of phosphates on P fractions distribution in the soil profile.

In May, 2003, triticale was planted on a Distroferric Dark Red Latossol, in no-till, with three treatments: 1) without P; 2) application of 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅ of total as triple superphosphate; and; 3) application of 80 kg ha⁻¹de P₂O₅ of total as Natural phosphate (ARAD). Both Phosphorus sources were applied on the soil surface, before planting triticale. The experimental design in this phase was a complete randomized block with 4 replicates. After triticale was harvested, pear millet was planted. At flowering, pearl millet was desiccated with an herbicide and plant residues were left on the soil surface.

In November, after millet was killed, soybean was planted in no-till, in rows 0.45 m apart, when the treatments using P source combinations were applied, totaling 80 kg ha⁻¹ as: 0% of Superphosphate (SP) and 100 % of Natural phosphate (NP); 20% of SP and 80 % of NP, 40 % of SP and 60 % of NP, 60 % of SP and 40 % of NP, 80% of SP and 20 % of NP and 100 % of SP and 0 % of NP. The experimental design was a subplot, considering P treatments to triticale as plots and soybean treatments as subplots.

Soil samples were taken right before soybean planting and after soybean harvest, and organic and inorganic P fractions were determined. Data was submitted to ANOVA and means were separated according to LSD at 5% of probability.

P fractioning allowed to conclude that, after the soybean crop, the less available P forms (occluded) tended to decrease more readily available P forms were increased. P fractionating in the soil profile showed that after the soybean crop that was a better P distribution in depth.

Keywords: natural phosphate, superphosphate, fractions of phosphorus, availability in the profile, rotation of crops.

3. INTRODUÇÃO

No Brasil, estudos pioneiros de Ramos (1976) mostraram a eficiência da semeadura direta no controle das perdas de solo por erosão. Posteriormente, Muzilli (1985), avaliando a fertilidade do solo neste sistema, constatou diferenças significativas quanto ao acúmulo de nutrientes em relação ao preparo convencional. Entre os nutrientes avaliados, o fósforo apresentou altos teores, 4 a 7 vezes superiores aos encontrados no preparo convencional na camada de 0-5 cm. Já naquela época, sentia-se a necessidade de se estudar os efeitos deste sistema de cultivo, ao longo do tempo, na disponibilidade do fósforo, pois o conhecimento da natureza e da distribuição das formas do nutriente no solo pode fornecer informações importantes para a avaliação da sua disponibilidade (MACHADO et al., 1993).

Dada a complexidade do comportamento deste nutriente no solo, uma abordagem moderna para a compreensão da dinâmica do fósforo é dividi-lo em frações, utilizando soluções extratoras de diferentes capacidades de extração (SILVA & RAIJ, 1999). Sabe-se que os usos do solo alteram a dinâmica das transformações deste no solo (TIESSSEN et al., 1983), assim, o fracionamento do fósforo tem sido utilizado para estudá-las (CHANG & JACKSON, 1957; CATANI & BATAGLIA, 1968 e HEDLEY et al., 1982).

Os métodos de análises para fósforo disponível do solo extraem uma pequena porção do fósforo total do solo. Esses apresentam moderada correlação com a quantidade de P absorvida pela planta (SILVA & RAIJ, 1999). A capacidade dos métodos de análise poderia ser melhorada, combinando-se os resultados obtidos pelo método usual à estimativa do fósforo potencialmente disponível, ou àquelas formas que o tamponam. No caso de latossolos que tenham recebido adubação durante vários cultivos, poder-se-ia medir a fração de P inorgânico potencialmente biodisponível através do fracionamento, o que representaria mais adequadamente o fator quantidade (ARAÚJO & SALCEDO, 1997; RHEINHEIMER et al., 2000). Tal procedimento poderia melhorar as práticas de adubação fosfatada em semeadura direta, nos diferentes tipos de solo, fontes de fertilizantes e culturas utilizadas.

Além disso, a decomposição da palha superficial, libera ácidos orgânicos continuamente, os quais atuam na disponibilização de nutrientes para as culturas, na capacidade de troca catiônica e na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, fundamentais em solos tropicais, na sua maioria altamente intemperizados e ácidos (BAYER & MIENICZUK, 1999).

Desta forma, o fósforo apresenta seu conteúdo total e distribuição muito variável em função do material de origem e do manejo. A utilização de adubações fosfatadas com fontes alternativas de menor custo em relação aos fosfatos solúveis industrializados pode elevar a produtividade das culturas, mas em alguns casos, pode proporcionar menor eficiência devido à sua reatividade, menor no solo.

Portanto, o efeito da liberação de ácidos orgânicos provenientes de resíduos vegetais e sua ação na liberação de formas orgânicas mais estáveis às reações de adsorção e a utilização de fontes de fosfatos reativos e solúveis podem permitir uma maior disponibilidade do nutriente no perfil do solo.

Trabalhando com a hipótese que a dissolução dos fosfatos reativos pelos ácidos orgânicos provenientes da decomposição da palhada, aliada a competição destes com o solo pelos sítios adsorção, poderá possibilitar distribuição vertical do nutriente, otimizando a distribuição em superfície de fontes menos solúveis, procurou-se avaliar a variabilidade vertical de formas de fósforo sob diferentes fontes e doses de fosfatos em semeadura direta.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Importância do fósforo

A deficiência e a indisponibilidade de fósforo para as plantas nos solos brasileiros, aliados à sua grande importância para o desenvolvimento das culturas com conseqüente interferência nos índices de produtividade, são assuntos que têm estimulado a pesquisa no que se refere ao estudo da dinâmica do fósforo, além dos aspectos de fertilidade do solo e nutrição de plantas. Segundo Conte et al. (2000), as ações antrópicas, através do manejo do solo e adição de fertilizantes, podem afetar a dinâmica do fósforo no solo. Portanto, o conhecimento do ciclo biogeoquímico do fósforo pode melhorar a sua biociclagem e a eficiência da adubação.

O fósforo é essencial para transferência de energia na célula viva por meio da ponte de ATP, sendo importante para formação e translocação de carboidratos, ácidos graxos, glicerídeos e produtos intermediários essenciais. Entra ainda, na composição de núcleo-proteínas, que são componentes do núcleo celular bem como na dos fosfatídeos, que ocorrem nas sementes de soja (VERNETTI, 1983).

Sendo o teor de fósforo solúvel muito baixo, há necessidade de aplicação de adubos fosfatados em quantidades muito superiores às necessidades das plantas,

em decorrência da alta capacidade de fixação química por componentes do solo (NAHAS, 1991).

As formas predominantes de fósforo na solução do solo são os íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , encontrando-se ainda adsorvido aos compostos de Fe, Al e Ca, dependendo do valor de pH, podendo também se encontrar adsorvido à matéria orgânica (RAIJ, 1991; MACHADO et al., 1993).

Embora o teor de fósforo dos solos, de modo geral, esteja entre 200 e 3000 mg dm^{-3} , menos de 0,1 % desse total encontra-se em solução. Em solos agrícolas, os valores em solução estão, com frequência, entre 0,2 e 2 mg dm^{-3} (FARDEAU, 1996).

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma seqüência de eventos físico-químicos que transformam esse fosfato em substâncias fosfatadas complexas, as quais passam a governar a disponibilidade desse nutriente no solo (KAMINSKI & PERUZZO, 1997). Há necessidade, portanto de se entender melhor a dinâmica do fósforo, associada à produção e decomposição de resíduos orgânicos, a fim de que se possam desenvolver estratégias de manejo que mantenham ou aumentem a produtividade das culturas, maximizando a disponibilidade do fósforo ligado a esses compostos (RHEINHEIMER et al., 1999).

O fósforo fracamente adsorvido é chamado de P-lábil e está em equilíbrio com o da solução. Isso possibilita a recuperação dos níveis de fósforo da solução do solo quando o mesmo é absorvido pelas plantas. A soma dessas duas frações é chamada de P-disponível (NAHAS, 1991).

4.2. Fontes minerais de fósforo

As fontes de fósforo podem ser divididas basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras, quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de "adsorção" ou "fixação" de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, se dissolvem lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo. Segundo Korndörfer

(1978), os fosfatos naturais, em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis em curto prazo, porém em longo prazo seu efeito residual é geralmente maior.

Segundo Novais & Smyth (1999), a incorporação de novas áreas à agricultura brasileira, a baixa disponibilidade de fósforo desses solos, a existência de grandes jazidas de fosfato natural em diversas regiões do país e as facilidades de importação de fosfatos naturais de maior reatividade têm feito com que a utilização de fosfatos “in natura” seja um atrativo. Essa utilização tem como problema principal a baixa reatividade, particularmente dos fosfatos naturais brasileiros, e, como consequência, a baixa ou lenta liberação de fósforo para as plantas, na maioria dos casos, sendo utilizadas basicamente como fosfatagem corretiva incorporada ao solo (NOVAIS & SMYTH, 1999).

Os fosfatos naturais são mais reativos em solos ácidos, com alta CTC e deficientes em Ca e P (GOEDERT & LOBATO, 1980) custando em geral, de 1/3 a 1/5 do fosfato solúvel, por unidade de P_2O_5 (EMBRAPA, 1983).

Em anos recentes, a oferta de fosfatos naturais como fonte de fósforo para as culturas anuais, a custos inferiores por tonelada aos dos superfosfatos, tornaram-nos atrativos no mercado de fertilizantes do Brasil, aumentando consideravelmente o seu consumo, especialmente do fosfato natural de Gafsa, oriundo da Tunísia, com nome comercial de hiperfosfato, e do fosfato natural de Arad, originário de Israel (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

As fontes solúveis em água mais produzidas no Brasil são os superfosfatos (simples e triplo) e os fosfatos de amônio (MAP e DAP). Trata-se de produtos solúveis que quando incorporados ao solo, possuem grande capacidade de liberação de fósforo para as plantas e, portanto, com alta eficiência agronômica como fertilizantes fosfatados (GOEDERT, 1986).

Os fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minerais fosfáticos ocorrentes em jazimentos localizados, os quais podem ou não passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados (KAMINSKI & PERUZZO, 1997).

A denominação fosfato natural ou rocha fosfática cobre uma ampla variação nesses tipos de minério em composição, textura e origem geológica, mas apresentam

pelo menos uma característica em comum, pois são constituídos por minerais do grupo das apatitas (GREMILLION & MCCLELLAN, 1980; KAMINSKI, 1983).

Os fosfatos de Gafsa e Arad são de origem sedimentar e pertencem à classe dos fosfatos reativos. A possibilidade de sua utilização diretamente na agricultura, principalmente do primeiro, tem sido estudada desde de 1970, quando foi avaliada a sua viabilidade de utilização (KAMINSKI & PERUZZO 1997).

4.3. Fosfatos naturais reativos

A eficiência dos fosfatos de rocha está intimamente relacionada com o grau de substituição de fosfato (PO_4^{3-}) por carbonato (CO_3^{2-}), que gera instabilidade na estrutura cristalina da rocha (LEHR & MCCLELLAN, 1972). A dureza da estrutura cristalina é tão importante que rochas fosfáticas de origem ígnea, como a maioria das rochas nacionais, são reconhecidas por sua menor reatividade para aplicação direta como fertilizante. As rochas de origem sedimentar podem ser reativas ou não, dependendo do grau de substituição isomórfica.

Assim sendo, as rochas fosfáticas podem ser divididas em rochas de alta, média, baixa e muito baixa reatividade. Fazem parte do grupo das rochas de alta eficiência aquelas provenientes da Tunísia (Gafsa), Israel (Arad), Peru (Sechura, Bayovar) e Carolina do Norte (USA) (LÉON et al, 1986). As do segundo grupo são as rochas vindas do Centro da Florida e Tennessee (USA), Pesca e Huila (Colômbia); as de baixa eficiência são a de Patos de Minas, Abaeté e as de muito baixas são a de Jacupiranga, Catalão e Tapira. Segundo Lehr & McClellan (1972) poder-se-ia obter maiores ganhos com a adubação fosfatada, caso se utilizasse um fosfato natural com eficiência agrônômica superior a apresentada pelos fosfatos naturais brasileiros, visto serem estes, por natureza geológica, de baixa reatividade, variando de 23 a 42 %, em comparação com o valor de 100% dos fosfatos naturais Argélia e Marrocos.

A granulometria farelada dos fosfatos naturais, devido aos inconvenientes da sua aplicação na forma de pó, provocou significativa redução na sua eficiência agrônômica, resultando no seu desaparecimento do mercado nacional. Nos últimos anos, os fosfatos naturais na forma de “farelados” voltaram a serem oferecidos no mercado

brasileiro. Estes apresentam cerca de 80% de suas partículas com tamanhos entre 0,074 mm e 0,50 mm.

Os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, e assim, quanto menor o tamanho da partícula e maior o contato com o solo, maior será a liberação de fósforo (RAIJ, 1991). Trabalhos demonstraram que o fosfato natural de Gafsa, moído até que 85% de suas partículas ficassem menores do que 0,074 mm apresentou resultados próximos ao superfosfato triplo granulado, mesmo nos primeiros cultivos (GOEPFERT & TEDESCO, 1986; BRAGA et al., 1991).

Em solo de Cerrado, Rein et al. (1994), mostraram que o fosfato natural reativo de Carolina do Norte moído (85% das partículas menores do que 0,074 mm) teve eficiência equivalente ao superfosfato triplo e maior do que o mesmo fosfato natural na forma farelada (80% das partículas entre 0,15 e 0,3 mm) somente no primeiro plantio de soja; porém, na segunda e terceira semeadura, o fosfato natural na forma farelada, superou as demais fontes. Segundo Korndörfer et al., (1997), os fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa apresentaram resultados similares ao superfosfato triplo granulado já no primeiro cultivo de milho em solos do Cerrado.

O uso direto de fosfatos assume, no Brasil, especial importância, tendo em vista que a maioria de nossos solos contém baixos teores de P disponível, e os adubos industrializados apresentam alto custo energético. Contudo, a eficiência destes materiais é muito variável, e o equacionamento de seu uso, complexo (KHASAWNEH & DOLL 1978); e as fontes nacionais têm mostrado, em sua maioria, pouca eficiência (RAIJ et al., 1981).

4.4. Plantas de cobertura

Além de fornecer nutrientes às culturas e melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, algumas plantas de cobertura têm sido utilizadas visando melhorar a disponibilidade de P às culturas.

Essas plantas apresentam mecanismos que auxiliam na aquisição de P, seja pela modificação na solubilização-adsorção, seja na difusão do nutriente no solo. Estas estratégias se manifestam pela maior relação raiz/parte aérea e pelo aumento da superfície radicular, pela maior taxa de absorção por unidade de raiz, pelo aumento da exsudação

radicular de fosfatases e outros compostos orgânicos, e pela alteração do grau de micotrofismo (LAJTHA & HARRISON, 1995).

A absorção de nutrientes e a geração de acidez na rizosfera em leguminosas associadas a bactérias diazotróficas influenciam a solubilização de P, causando modificações na quantidade absorvida do nutriente (BEKELE et al., 1983). Aguilar & Van Diest (1981) verificaram que leguminosas utilizando N fixado simbioticamente absorvem mais nutrientes catiônicos do que aniônicos, causando uma acidificação do meio e aumentando a disponibilidade de fosfatos de rocha. Segundo Carneiro et al. (2004), o guandu estimula a ocorrência de fungos e bactérias solubilizadores de fosfato. Em Latossolos, Alves (1988) verificou que estilosantes utilizam fosfatos de alumínio e a braquiária, além do fosfato de alumínio, também o fosfato de ferro no processo de absorção de P. Segundo esse autor, plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas a Fe e Al.

Entre as plantas cultivadas, foi constatada maior presença de bactérias solubilizadoras em leguminosas do que em gramíneas (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1982). Na rizosfera de *Trifolium alexandrinum* e *Phaseolus aureus*, foi verificado maior número de microrganismos solubilizadores de fosfato do que na rizosfera de *Crotalaria juncea* e de *Sesbania aculeata* (PAUL & RAO, 1971). Nahas (2002) verificou em estudo com microrganismos produtores de fosfatases ácidas que houve diminuição de fungos e bactérias no solo cultivado com guandu quando comparou com tratamento de *brachiaria ruziziensis*.

As espécies da planta e seus cultivares possuem diversos processos morfológicos (GAHOONIA et al., 1997) e fisiológicos da raiz (NEUMANN et al., 1999) para adaptar-se a baixa disponibilidade de P, mas a importância relativa dos processos de imobilização de P pode diferir entre espécie e cultivares. Por exemplo, o Tremoço branco (BRAUM & HELMKE, 1995) e a ervilhaca (AE et al., 1990) possuem a habilidade específica de mobilizar e usar o P adsorvido no solo, não disponível a outras plantas.

4.5. Sistema de semeadura direta (SSD)

A semeadura direta como um sistema de uso e manejo de solos implica na manutenção de restos vegetais na superfície, o que proporciona cobertura suficiente para dissipar a energia das gotas de chuva e barreiras para o escoamento superficial das águas, diminuindo a degradação pela erosão (RHEINHEIMER et al., 1998).

Para Gazziero (1984), a semeadura da soja sem preparo do solo apresenta inúmeras vantagens quando comparada ao sistema convencional, especialmente pela sua capacidade em controlar a erosão.

O SSD, ao ser focado como um complexo de tecnologias de processos, de produto e de serviço, tendo por fundamentos a rotação de culturas, a mobilização do solo exclusivamente na linha de semeadura e a manutenção dos resíduos culturais totalmente na superfície do solo, se apresenta como um mecanismo de sustentação do sistema de produção agropecuário (NUERNBERG, 1998).

A influência de diferentes sistemas de manejo do solo alterando a biodisponibilidade do P é discutida por Rheinheimer et al. (1999), bem como os efeitos de práticas agrícolas na dinâmica do P são relatadas por Fernandes et al., (2002).

De acordo com Nuernberg (1998), o não revolvimento do solo e a sua permanente cobertura do solo com plantas vivas e mortas promovem a estruturação do solo, que, por sua vez, reduz acentuadamente a erosão, amenizando perdas de solo, água e nutrientes. As consequências desse processo refletem-se diretamente na fertilidade do solo, potencializando a redução futura do uso de corretivos e fertilizantes.

O acúmulo contínuo de resíduos das culturas, de adubos e de corretivos na superfície e o não revolvimento do solo, no SSD, determinariam a formação de gradientes no sentido vertical e maior variabilidade no sentido horizontal, quando comparado ao sistema convencional. Segundo Souza (1992), esta variabilidade é caracterizada, também, pela correlação ou dependência espacial, resultante da manutenção das linhas de semeadura.

O fósforo é o nutriente que forma o gradiente mais acentuado a partir da superfície do solo no SSD. Segundo Haas (1999), os principais fatores que favorecem a disponibilidade de P no SSD são: o não revolvimento do solo, a preservação das micorrizas, a melhor difusão e a redução drástica da erosão.

Com relação ao efeito das culturas de verão na semeadura direta, De Maria & Castro (1993) observaram maior teor de P, nos últimos anos, nos tratamentos com soja (contínua e rotação). Esse resultado tem como causa a maior quantidade de P adicionado na adubação da soja e não um efeito dessa cultura na disponibilidade do nutriente. Nas culturas de inverno, aveia preta apresentou valores mais elevados de P no solo, no sétimo ano, possivelmente devido a maior quantidade de massa e ao sistema radicular mais agressivo dessa gramínea em relação a crotalária.

A cultura do milho quando implantada com o objetivo de promover a ocupação da área no período de entre safra, conseqüentemente atende perfeitamente uma das premissas da semeadura direta, que é a manutenção do solo coberto quando ainda vegetativo ou como cobertura morta após manejo químico. Desta forma, esta cultura é difundida nacionalmente, principalmente em regiões abrangidas pelo Cerrado, por sua alta capacidade de tolerar veranicos e a alta produtividade de matéria seca, contribuindo e muito, para o aporte de matéria orgânica neste sistema. Plantas como o milho e outras gramíneas são extremamente importantes para estas regiões, que são caracterizadas por verões chuvosos e quentes, o que acelera demasiadamente sua decomposição em relação a regiões mais frias do país.

Essas plantas possuem relação C/N considerada alta, isto as proporciona um período maior de permanência sob a superfície do solo, evitando desta forma o impacto direto das gotas de chuva, o aumento de temperaturas, diminuição da infestação de plantas daninhas, além de diversas outras qualidade benéficas ao sistema.

Outro ponto positivo da cultura do milho, é que em função da baixa mobilidade do P devido aos mecanismos físico-químicos que o atraem aos colóides, uma vez absorvidos pelas raízes, o seu movimento no interior da planta é elevado e proporciona uma rápida redistribuição para os outros órgãos da planta. Desta forma, as raízes funcionam como veículo de distribuição de P no perfil do solo uma vez que o não revolvimento restabelece um rearranjo estrutural e desenvolve uma nova arquitetura de poros. Assim, a decomposição das raízes libera formas inorgânicas e orgânicas de P que em associação com compostos de carbono podem formar complexos com a superfície dos colóides ou estabilizar-se em formas orgânicas mais estáveis (RHEINHEIMER et al., 1999; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; SÁ, 2003).

Contudo, a decomposição de restos vegetais libera ácidos orgânicos, os quais atuam na disponibilização de nutrientes para as culturas, na capacidade de troca catiônica e na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (BAYER & MIELNICZUK, 1999). Nesse sentido, Caires (2000) relata que ácidos orgânicos liberados pelos resíduos vegetais em SSD, podem proporcionar redução da precipitação de fosfatos por Fe e Al no solo.

Singh & Amberger (1998) avaliaram a presença de ácidos orgânicos na decomposição da palha de trigo no processo de compostagem e constataram que sua ocorrência resulta em alta solubilização do P insolúvel adicionado. Em estudo dos efeitos de alguns ácidos orgânicos, como o citrato, oxalato, tartarato, benzoato e acetato sobre a adsorção de fosfato em solos ácidos da China Central, Hu et al. (2001), constataram que a mistura de dois ácidos resultou em maior redução da adsorção de fosfato quando comparado a cada ácido isoladamente, porém foi menor do que a ação de todos conjuntamente.

Cassiolato et al. (1999), avaliaram a eficiência de resíduos vegetais de aveia preta, nabo forrageiro e ervilhaca na solubilidade e reatividade de fosfatos e na sua absorção pelas plantas. Concluíram que todos os tratamentos aumentaram a concentração de P disponível, sendo que as combinações entre resíduos e fontes de P aumentaram a extração do elemento em relação aos fosfatos aplicados isoladamente.

Estudos sobre o efeito de resíduos da cultura da soja e do trigo aplicados isoladamente ou em combinação com P na dinâmica do P-lábil, distribuição de frações e sorção de P em um Vertissol, demonstraram que os restos culturais adicionados tanto isoladamente como combinados com o P, melhoram os níveis de P através do decréscimo da capacidade de sorção e do favorecimento ao aparecimento da fração lábil do fósforo orgânico e inorgânico (DAMODAR REDDY et al., 2001).

Portanto, a liberação de ácidos orgânicos provenientes de resíduos vegetais e a sua ação na liberação de formas orgânicas de P mais estáveis às reações de adsorção podem permitir a movimentação vertical do nutriente (MUZILLI, 1983; SIDIRAS & PAVAN, 1985; CAIRES, 2000).

4.6. Ácidos orgânicos

O aumento do intemperismo promove uma mudança gradual em algumas características do solo, tornando-o mais eletropositivo e com maior capacidade de adsorver ânions, como fosfato (NOVAIS & SMYTH, 1999). Esse tipo de adsorção caracteriza-se pela troca de ligantes da superfície dos oxidróxidos por íons fosfato em solução (PARFITT, 1978). Tal fato promove baixa concentração de fosfato na solução do solo e, como consequência, elevadas doses de fertilizantes fosfatados têm sido aplicadas nesses solos para aumentar a disponibilidade desse elemento para as plantas.

Em condições de elevado intemperismo, como em alguns Latossolos, o solo pode adsorver mais de 4 mg cm^{-3} de P (KER, 1995). As principais características que influem na adsorção de fosfato nos solos intemperizados são o teor e o tipo de argila (NETTO, 1996), o teor de colóides amorfos e de matéria orgânica (GONÇALVES et al., 1985), assim como o de ânions competidores, como sulfatos e silicatos, e o valor do pH do solo (SILVA et al., 1997).

Os ácidos orgânicos podem exercer uma função importante na utilização dos nutrientes insolúveis pelas plantas, especialmente o P (KIRK et al., 2000). Sabe-se que um grande número de ácidos orgânicos tem a capacidade de solubilizar fosfatos mediante interações com cálcio, alumínio e ferro, deixando assim o íon fosfato em estado solúvel (MONTECINOS, 1997), pois a exsudação de citrato e outros ácidos orgânicos na rizosfera radicular pode auxiliar na solubilização dos fosfatos ligados a Ca, Fe ou Al (GARDNER et al., 1983). Os ácidos orgânicos mais ativos no solo parecem ser o cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico.

No solo, o P é sujeito a inúmeros processos biogeoquímicos que alteram sua disponibilidade. Entre esses processos, destaca-se a dissolução de fosfatos, que os torna disponíveis para as plantas (WHITELAW, 2000). Diversos organismos do solo, incluindo bactérias, fungos e algumas plantas, possuem capacidade para solubilizar fosfatos por meio de diferentes mecanismos, especialmente pela produção de ácidos (SILVA FILHO & VIDOR, 2000; WHITELAW, 2000).

Conforme Haynes (1984), o solo pode adsorver ácidos orgânicos com grande energia, ocupando os sítios de adsorção de fosfato, aumentando a disponibilidade deste

elemento para as plantas. Esses ácidos podem também formar complexos organometálicos estáveis com Fe e, ou, Al, em várias faixas de pH (SPOSITO, 1989). A eficiência desses ácidos em melhorar a disponibilidade de P para as plantas depende do valor de pH do solo, do tipo de ânion orgânico e da persistência destes ânions no solo (KIRK, 1999).

Na adsorção competitiva entre os ácidos húmicos ou fúlvicos e o fosfato, em amostras de dois solos tropicais, Sibanda & Young (1986) encontraram redução na adsorção de fosfato, quando a concentração de ácidos húmicos foi elevada de 4 a 30 g kg⁻¹ de carbono orgânico, o que equivale a um aumento de 7,2 a 52 g kg⁻¹ de matéria orgânica no solo. Entretanto, segundo esses autores, essa eficiência não se deve, exclusivamente, à adsorção dos grupos carboxílicos. Deve-se, também, considerar o grande poder de complexação dos ácidos húmicos sobre o Fe e o Al na solução do solo, podendo reduzir a adsorção/precipitação de fosfato.

A principal fonte de ácidos orgânicos no solo é a decomposição da matéria orgânica, mas também são importantes os exsudatos radiculares e microbianos. Tem-se detectado a exsudação ativa de ácidos orgânicos por parte dos gêneros *Bacillus*, *Thiobacillus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Nitrobacter*, *Escherichia*, *Agrobacterium*, *Erwinia*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Streptomyces* e outros. Entre as plantas, o gênero *Lupinus* é conhecido por sua capacidade de exsudar ácido cítrico através de suas raízes (EIRA, 1992).

Minhoni et al., (1991) através da aplicação de diferentes materiais orgânicos observou aumento na liberação de fosfato solúvel em solo tratado com fosfato natural. Bhatti et al. (1998), observaram que a adsorção do fosfato do solo diminuiu na presença de oxalato e de matéria orgânica. Lopez Hernandez et al. (1986), trabalhando com amostras de solos tropicais, concluíram que malato e oxalato eram mais rapidamente adsorvidos pelo solo do que o fosfato e que esses ânions, quando presentes na rizosfera, podem aumentar a disponibilidade de P para as plantas.

Fernandez (1995) observou que, em solos mais oxídicos, com grande capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), a adição prévia de sacarose aumentam o valor do P remanescente, correspondendo a uma diminuição da CMAP. De acordo com Afif et al. (1995), o efeito da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção de fosfato é transitório, porém, na prática, tal efeito pode ser vantajosamente explorado, considerando o tempo de

aplicação do fertilizante fosfatado. Esse efeito transitório deve-se à rápida mineralização de alguns ácidos orgânicos, liberando sítios de adsorção. Contudo, experimentos recentes têm mostrado que a adsorção de citrato em hidróxidos de Fe diminui sua degradação (GEELHOED et al., 1999), indicando que a adsorção dificulta a mineralização desses ácidos e que o efeito no bloqueio dos sítios de adsorção pode perdurar por mais tempo.

A presença de ácidos orgânicos como o ácido cítrico na solução, podendo formar de cinco a seis ligações com o Al (HUE et al., 1986), aumenta a formação do complexo Al-citrato. Quanto maior a afinidade do ácido orgânico por Al, mais eficiente à ocupação dos sítios de ligação e, conseqüentemente, mais eficiente deverá ser a inibição à formação de polímeros de hidróxi-alumínio (HUANG & VIOLANTE, 1986), que proporcionam maior adsorção/precipitação de fosfato.

Algumas espécies de plantas possuem a capacidade de produzir em sua rizosfera ácidos orgânicos. Neumann & Rombeld (1999) e Roelofs et al., (2001) relatam que a escala de ácidos orgânicos exsudados por plantas de tremoço e grão de bico são variáveis, mas que o ácido cítrico, málico, malônico, aconítico, e fumárico são freqüentemente encontrados em exsudatos nas raízes destas plantas.

4.7. Cultura da soja

Os solos em que a soja é cultivada normalmente apresentam alta capacidade de adsorção de P e isto, aliado à alta exigência dessa cultura por esse nutriente, torna o estabelecimento de formas e fontes de adubação fundamental.

Com a finalidade de melhorar a eficiência das adubações com P, Goedert & Sousa (1986) definiram algumas estratégias, tais como minimização do poder de imobilização de P pelo solo, antes da aplicação do fosfato; utilização de plantas mais eficientes na absorção e aproveitamento de P; desenvolvimento de tecnologia que permita aproveitar melhor as fontes de P disponíveis, visando obter a máxima produção por unidade de P aplicada ao solo.

A utilização de fontes alternativas de custo mais baixo, como é o caso dos fosfatos reativos, aplicados com grande sucesso em pastagens tem sido também eficiente em culturas anuais (RAJAN et al., 1996). Esses fosfatos são rochas de origem sedimentar

marinha e apresentam alto grau de substituições isomórficas, o que confere à partícula uma microestrutura porosa com elevada área superficial específica interna, advindo daí a sua reatividade com o solo (CHIEN & HAMMOND, 1978).

Com o aumento do uso de SSD, novas técnicas de aplicação para essas fontes necessitam ser avaliadas, já que a adoção desse sistema resulta em mudanças no ambiente edáfico.

A aplicação direta de fosfato natural é uma prática que vem sendo estudada como alternativa à aplicação de fosfatos solúveis no sulco de semeadura, comumente adotada. A eficiência dos fosfatos naturais reativos varia conforme a espécie cultivada em função da capacidade da planta em liberar prótons e assim acidificar sua rizosfera. Marschner (1991) encontrou valores de pH rizosférico até duas unidades inferiores ao solo não rizosférico, em plantas nutridas com N amoniacal. Essa forte acidificação é observada principalmente em plantas leguminosas e outras espécies fixadoras de N, de forma que estas espécies poderiam aumentar a dissolução de fosfatos naturais e, assim, serem utilizadas em rotação com outras que apresentam menor capacidade de acidificação (GILLESPIE & POPE, 1990).

Segundo Chien & Menon (1995), os fosfatos naturais são mais eficientes em leguminosas do que em cereais, e a eficiência relativa do fosfato natural é superior em vegetais com menor demanda de concentração de P na solução do solo, tais como as leguminosas, em relação aos cereais. Os ácidos orgânicos secretados por espécies de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* foram os principais fatores influenciadores da dissolução do fosfato de Mussorie, por meio da complexação do cálcio proveniente da rocha fosfática, enquanto o pH teve menor importância.

A aplicação de fosfatos naturais reativos em culturas anuais tem apresentado resultados equivalentes ao do superfosfato triplo, tanto em solos com teores iniciais médios de P (CHOUDHARY et al., 1994), quanto naqueles com teores baixos (BRAGA et al., 1991; FOTYMA et al., 1996).

Neste sentido, Esteves (2004) substituindo fosfato solúvel por reativo em soja cultivada em semeadura direta em função de níveis de fósforo e modo aplicação, obteve em média na safra (2001/2002) 2964, 3030 e 3328 kg ha⁻¹ de grãos, sem a aplicação de P, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ de fosfato natural Arad e 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ de superfosfato triplo,

respectivamente. Na safra 2002/2003 sob efeito residual, obteve produtividade de 2912, 3095 e 3133 kg ha⁻¹.

A soja é uma cultura anual, muito exigente em todos os macronutrientes. Para que os nutrientes possam ser eficientemente aproveitados pela cultura devem estar presentes no solo em quantidades suficientes e em relações equilibradas (SFREDO et al., 1986).

De acordo com EMBRAPA (1996), a absorção de nutrientes por uma determinada espécie vegetal é influenciada por diversos fatores, entre eles as condições climáticas, as diferenças genéticas, teor de nutrientes no solo e os diversos tratos culturais. A quantidade média de P contida, respectivamente, em uma tonelada de grãos e uma tonelada de restos culturais de soja é de 20 e 10,4 kg ha⁻¹ P₂O₅.

Segundo Roessing et al. (1981), os insumos representam a maior parcela no custo de produção da soja e, dentre eles, o mais oneroso é o fertilizante. Dos custos operacionais diretos, incluindo insumos, só o item fertilizante pode chegar a 40 %, dependendo do sistema de produção utilizado. Sfredo et al. (1981), diz que os fertilizantes correspondem a 25 % dos custos totais da cultura da soja. Entre esses fertilizantes, o que entra em maior quantidade é o fosfatado, pois os solos são normalmente deficientes em P e bem supridos em K.

Assim, é necessário buscar maior eficiência no aproveitamento das fontes de fosfatos, por exemplo, quando da utilização de fontes solúveis, especificamente o superfosfato triplo que possui residual ácido, quando na presença de água promove um abaixamento do pH a próximo de 3. Portanto, a mistura com fosfatos naturais poderá neutralizar parte dessa acidez e solubilizar parte do fosfato natural. Aliado a isso, o uso da semeadura direta com sistema de rotação de culturas com sistema radicular distinto, promovendo um grande aporte de resíduos vegetais no solo, que através de sua decomposição liberam nutrientes e substâncias químicas que auxiliam na solubilização de fosfatos poderá viabilizar a aplicação de fosfatos menos solúveis em superfície.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e histórico da área experimental

O experimento foi instalado na Fazenda Experimental Lageado (FCA/UNESP), na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo, localizado à latitude de 22°51' S, longitude de 48°26' W Grw e altitude de 740 m.

De acordo com o histórico, a área vinha sendo cultivada em semeadura direta há cinco anos, com o sistema de rotação apresentado abaixo (Quadro 1). A partir da safra 2000/2001, a área recebeu os tratamentos descritos neste trabalho, os quais naquela ocasião fizera parte da tese de Esteves (2004). Na safra 2002/2003, este autor avaliou a produtividade de soja sob efeito residual da adubação fosfatada.

Quadro 1. Sistema de rotação de culturas implantado na área experimental.

Estação do ano	Safra					
	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004
Outono-inverno	aveia preta	triticale	aveia preta	triticale	aveia preta	triticale
Primavera	milheto	milheto	milheto	milheto	milheto	milheto
Verão	soja	soja	soja	soja	soja	soja

5.2. Características edáficas da área experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-distroférrico (EMBRAPA, 1999), de textura média, com relevo plano a suave ondulado e com boa drenagem.

Em abril de 2003 foram retiradas amostras do solo aleatoriamente na área para fim de determinar as características químicas e granulométricas. Os procedimentos de coleta e as determinações de laboratório seguiram as metodologias propostas por Kiehl (1979), Raij & Quaggio (1983) e Embrapa (1997). Os resultados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Características químicas e granulométricas do solo da área experimental por ocasião da instalação dos tratamentos (Abril/2003).

Características químicas										
Profundidade	pH	M.O.	P-res	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
(cm)	(CaCl ₂)-(g dm ⁻³)	---	(mg dm ⁻³)	-----	-----	(mmol _c dm ⁻³)	-----	-----	-----	(%)
0-5	5,2	21	18	27	3,1	21	13,0	37,1	64	58
5-10	5,1	18	16	28	0,8	17	11,0	28,8	57	51
10-20	4,6	19	5	34	0,4	8	5,8	14,2	48	29
20-40	4,0	18	3	45	1,2	5	2,6	8,8	54	16

Características granulométricas				
Profundidade	Areia	Argila	Silte	Textura
(cm)	-----	(g kg ⁻¹)	-----	
0-5	770	210	20	Média
5-10	770	220	10	Média
10-20	770	220	10	Média
20-40	730	250	20	Média

5.3. Características climáticas da área experimental

O clima de Botucatu, baseado no sistema de classificação de Wilhelm Köppen, foi incluído no tipo Cfa, que significa clima mesotérmico, região constantemente úmida. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 17,1°C, e a do mês mais quente é superior a 23,3°C, com precipitação pluvial mínima mensal superior a 39,4 mm e média anual de 1514 mm.

Os dados climáticos da região foram obtidos junto a Estação Meteorológica da Faculdade e estes se referem ao período de condução do experimento (Maio/2003 a Maio/2004).

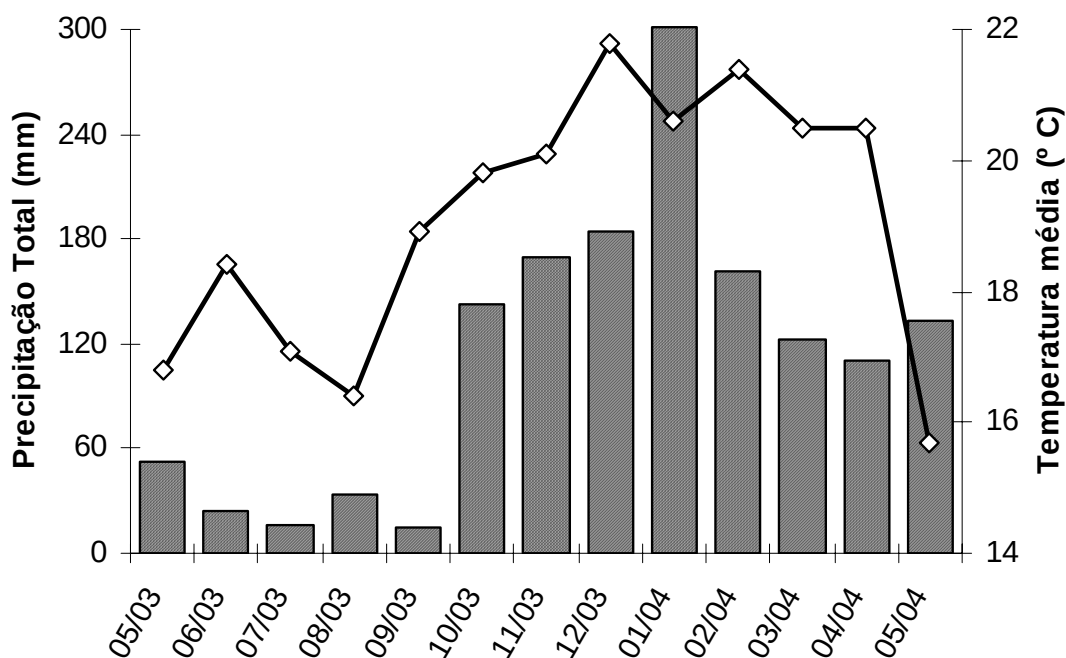


Figura 1. Precipitação e temperatura média mensal referente ao período do experimento (Maio/2003 a Maio/2004).

5.4. Tratamentos em parcelas e delineamento experimental

Em maio de 2003, quando da semeadura do triticale (*X Triticosecale* Wittmack) em semeadura direta, aplicou-se 3 tratamentos. Deste modo, a disposição dos tratamentos foi a seguinte:

- 1) sem aplicação de fósforo;
- 2) aplicação de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total de fosfato solúvel (Superfosfato triplo-SFT) e
- 3) 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ total de fosfato natural (Fosfato natural Arad – FNA).

A aplicação do P de ambas as fontes foi a lançar em superfície antes da semeadura do triticale. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4

repetições. Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 240 m² (30 x 8m), separadas por 9 m, e com uma área útil de 196 m² (28 x 7m).

5.5. Tratamentos em subparcelas e delineamento experimental

No mês de dezembro, após a dessecação do milheto, foram instalados os tratamentos em subparcelas com as combinações de fontes de fosfato solúvel e fosfato natural (Quadro 3) aplicados na linha de distribuição das sementes da soja, totalizando 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ constando da mistura de:

0% de fosfato solúvel (SFT) e 100% de fosfato natural (FNA);

20% de SFT e 80% de FNA;

40% de SFT e 60% de FNA;

60% de SFT e 40% de FNA;

80% de SFT e 20% de FNA e

100% de SFT e 0% de FNA.

Quadro 3. Fontes de fósforo e suas combinações com as respectivas doses de P₂O₅ total para tratamentos em parcelas e subparcelas.

TRATAMENTOS PARCELAS		
	DOSE	FONTE
	-----kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ total-----	
1	00	-
2	80	Fosfato Natural Arad (FNA)
3	80	Superfosfato Triplo (SFT)
TRATAMENTOS SUBPARCELAS		
	DOSE	COMBINAÇÕES
	-----kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ total-----	
1	00/80	FNA/SFT
2	16/64	FNA/SFT
3	32/48	FNA/SFT
4	48/32	FNA/SFT
5	64/16	FNA/SFT
6	80/00	FNA/SFT

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, com quatro repetições, onde as fontes de fósforo aplicadas no triticale foram às parcelas com 240 m² (30 x 8 m) e uma área útil de 196 m² (28 x 7 m) e, as combinações de SFT e FNA, foram as subparcelas apresentando área total de 40 m² (8 x 5 m) e área útil de 28 m² (7 x 4 m).

Quadro 4. Características químicas e constituição física dos insumos utilizados nos tratamentos.

Produtos	Características				Constituição física
	P Total (P ₂ O ₅)	Ca	K ₂ O	S	
	------(%)-----				
SFT	41	13	-	1	Pó
FNA	33	37	-	1	Pó *

* a constituição pó do Fosfato Natural Arad foi obtida pela moagem do fertilizante, visando proporcionar uma mistura homogênea e caracterizado pelo jogo de peneira.

5.6. Instalação e condução do experimento

5.6.1. Semeadura e cultivo de triticale (outono/inverno-2003)

Em maio de 2003 (07/05/03) foi semeado o triticale (*X Triticosecale* Wittmack) em semeadura direta, com a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl). As sementes foram tratadas com fungicida Carboxim 200 SC aplicando-se a dose de 150,0 ml kg⁻¹ de sementes. Para a semeadura de triticale foi utilizada uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo desenvolvida para semeadura direta, da marca Semeato, modelo THM-13 (Personale Drill), de arrasto, com 13 linhas espaçadas a 0,17 m, equipada com discos de corte de 16" de diâmetro, com discos duplos concêntricos sulcadores de 13" para adubo e sementes (Figura 2).

Na semeadura de triticale utilizaram-se 60 kg ha⁻¹ de sementes (Germinação=69%). A densidade de semeadura foi definida em aproximadamente, 400 sementes m².

No dia 19/09/2003 efetuou-se a colheita do triticale nas parcelas experimentais, para a determinação da produtividade de grãos. Foram colhidas 9 linhas de 8 m de comprimento (12,24 m²), com uma colhedora de parcelas automotriz da marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite (Figura 3).



Figura 2. Detalhe da Semeadora-adubadora (Semeato, modelo THM 13 – Personale Drill) e vista geral do tritcale aos 10 DAE.



Figura 3. Detalhe da colhedora de parcelas automotriz marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite.

5.6.2. Semeadura e cultivo de milho (primavera-2003)

A semeadura do milho foi realizada no dia 23/09/2003 sem a aplicação de fertilizantes fosfatados. Nesta operação foi utilizada a mesma semeadora-adubadora utilizada para semeadura do tritcale (Figura 2 e 4).

Utilizaram-se 45 kg ha⁻¹ de sementes de milho (Germinação=85%). A densidade de semeadura foi definida em, aproximadamente, 500 sementes m⁻². Junto à semeadura, aplicaram-se 60 kg ha⁻¹ de N utilizando a uréia como fonte nitrogenada (45 % N).

Aos 76 DAE das plantas de milho, em 08/12/2003, fez-se à dessecação química das plantas com o herbicida pós-emergente não seletivo Glyphosate (dose de 2,0 L ha⁻¹ do produto comercial Roundup WG, Monsanto do Brasil Ltda.), aplicado com pulverizador de barras motomecanizado.



Figura 4. Detalhe da Semeadora-adubadora (Semeato, modelo THM 13 – Personale Drill) no momento da semeadura e vista geral do milho aos 20 DAE.

5.6.3. Semeadura e cultivo da soja (Verão-2003/2004)

No dia 07/12/2003, antecedendo a dessecação do milho, semeou-se a soja, cultivar Embrapa 48, utilizando uma semeadora-adubadora THM-13 (Personale Drill), de arrasto, com 6 linhas espaçadas a 0,45 m, equipada com discos de corte de 16" de diâmetro, com discos duplos concêntricos sulcadores de 13" para adubo e sementes. As sementes foram depositadas entre 3 e 4 cm de profundidade, sendo o adubo depositado logo abaixo, entre 5 e 6 cm.

Utilizou-se uma densidade de semeadura de, aproximadamente, 24 sementes m⁻¹ (Germinação=89%). Junto à semeadura foram aplicados os tratamentos combinados na linha e 50 kg ha⁻¹ de K₂O (KCl). As sementes de soja foram tratadas com os

fungicidas Carboxin e Thiram (produto comercial Vitavax-Thiram 200 SC, Uniroyal Química S.A.) e com inoculante (Biomax, Bio Soja).

Aos 30 DAE, em 06/01/2004, para controle das plantas daninhas dicotiledôneas, fez-se uma aplicação do herbicida pós-emergente inicial seletivo Cloransulam-Metil ($47,6 \text{ g ha}^{-1}$ do produto comercial Pacto, DowAgroSciences Industrial S.A.). E para o controle de plantas daninhas monocotiledôneas, utilizou-se o graminicida Haloxifop-R, Éster Metílico ($400,0 \text{ ml ha}^{-1}$ do produto comercial Verdict R, DowAgroSciences Industrial S.A.).

Aos 60 DAE, no dia 09/02/2004, fez-se duas pulverizações, sendo uma com o inseticida Metamidofós ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial Metamidofós Fersol 600, Fersol Ind. e Com. Ltda.), e outra com o fungicida Opera ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial). Aos 90 DAE, no dia 10/03/2004, aplicou-se inseticida Deltamethrin ($0,5 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial Decis 25 CE, Hoeschst Schering AgrEvo do Brasil Ltda.) e fungicida Tebuconazole ($1,0 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial Folicur 200 CE, Bayer S.A.).

Aproximadamente aos 125 DAE da soja, em 14/04/2004, fez-se à dessecação química das plantas de soja com o herbicida pós-emergente não seletivo Glyphosate (dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial Roundup WG, Monsanto do Brasil Ltda.), e no dia 22/04/2004 efetuou-se a colheita com uma colhedora de parcelas automotriz da marca Wintersteiger SeedMech, modelo Nursery Master Elite (Figura 3).

5.7. Coleta e preparo das amostras

5.7.1 Coleta e preparo das amostras de solo

Com relação à variabilidade vertical de fósforo foram realizadas amostragem com trado tipo holandês antes da semeadura (05/12/2004) e no momento da colheita da soja (23/04/2004), sendo coletadas amostras de solo de cada subparcela, em quatro profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm). As amostras simples, antes da semeadura, constaram de 6 pontos escolhidos aleatoriamente na área útil da subparcela. Ao final realizou-se 6 amostragem simples na linha de semeadura para cada subparcela, constituindo-se assim uma amostra composta para cada uma das quatro profundidades. Essas amostras foram colocadas em sacos plásticos e secas ao ar. Após secagem, as amostras foram identificadas e

moídas em moinho elétrico desenvolvido para destorroar o solo. Em seguida, o solo foi peneirado (malha de 2 mm) para posterior análise química de fósforo orgânico por ignição (OLSEN & SOMMER, 1982) e fracionamento do inorgânico segundo a metodologia descrita por Catani & Bataglia, (1968).

5.7.2. Coleta e preparo das amostras de tecido vegetal.

5.7.2.1. Grãos de tritcale

Nas parcelas experimentais, para a determinação da produtividade de grãos de tritcale, foram colhidas 9 linhas de 8 m de comprimento ($12,24 \text{ m}^2$) com uma colhedora de parcelas automotriz. Após a colheita mecânica, determinaram-se as massas das amostras de grãos com balança eletrônica de precisão (0,01 g) e, em seguida amostras de grãos foram colocadas em estufa de aeração forçada a 105°C para correção da produtividade considerando o teor de 13% de umidade. Após estas determinações, retiraram-se alíquotas das amostras para a determinação do teor de fósforo. Para determinação da exportação de fósforo pelos grãos, amostras foram secas em estufa de aeração forçada (65°C), até atingirem massa constante, e foram moídas em moinhos elétricos tipo “Willey”. Depois de moídas (malha de 1 mm), as amostras foram acondicionadas em sacos de papel para serem analisadas posteriormente.

5.7.2.2. Matéria seca de palha de tritcale

Para as avaliações da produção de matéria seca da palhada, foram tomadas aleatoriamente 6 amostras de palha coletadas utilizando-se um quadro de madeira com $0,25 \text{ m}^2$ ($0,5 \times 0,5 \text{ m}$). O material vegetal, após manipulação para coleta de dados e tomadas sub-amostras de 300 g para a realização de análise química de fósforo, foi restituído ao seu local de origem. O material coletado foi seco em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C por 72 horas, efetuando-se posteriormente a pesagem das amostras. Em seguida, as amostras foram moídas, passando por peneiras de 1 mm de malha, acondicionadas

em sacos de papel, armazenadas em local apropriado, para realização da análise química visando a determinação do teor de fósforo.

5.7.2.3. Matéria seca de palha de milho

No florescimento, o milho foi dessecado com uso de herbicida pós-emergente não seletivo Glyphosate (dose de 2,0 L ha⁻¹ do produto comercial Roundup WG, Monsanto do Brasil Ltda.), onde os resíduos permaneceram sobre a superfície do solo.

Avaliações de matéria seca da palhada foram realizadas antes da dessecação (76 DAE), quando 50% das plantas estavam em florescimento pleno. Para as análises da produção de matéria seca da palha, foram tomadas amostras em 6 pontos aleatórios por parcela com auxílio de um quadro de madeira de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m). As coletas das amostras de palha foram realizadas da mesma forma utilizada para o triticale. Após o milho ser dessecado, foram realizados em intervalos de 14 dias (09/12/03; 22/12/03; 06/01/04 e 20/01/04), avaliações da matéria seca, coletando-se a palha em 6 pontos aleatórios em cada parcela com auxílio do quadro descrito anteriormente, objetivando acompanhar a decomposição da mesma.

5.7.2.4. Grãos de soja

Depois da dessecação química da soja e da vegetação remanescente, colheram-se três linhas de 8 m de comprimento (10,80 m²) de cada parcela experimental com uma colhedora de parcelas automatizada. Após a colheita mecânica, determinaram-se as massas das amostras de grãos com balança eletrônica de precisão (0,01g) e, em seguida amostras de grãos foram colocadas em estufa de aeração forçada a 105°C para correção da produtividade considerando o teor de 13% de umidade. Após estas determinações, retiraram-se alíquotas das amostras para a determinação da exportação de fósforo pelos grãos de soja, amostras foram secas em estufa de aeração forçada (60°C), até atingirem massa constante, e foram moídas em moinhos de planta elétricos tipo “Willey”. Depois de moídas (malha de 1 mm), as amostras foram acondicionadas em sacos de papel para serem analisadas.

5.7.2.5. Matéria seca de plantas de soja

Foram coletadas 10 plantas de soja (parte aérea), aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 DAE (dias após a emergência) nas respectivas datas 22/12/03, 06/01/04, 20/01/04, 03/02/04, 17/02/04, 02/03/04 e 16/03/04, com o objetivo de determinar a produção de matéria seca. As análises do teor de fósforo nas plantas foram realizadas segundo metodologia descrita por Malavolta et al., (1997). Em todos os extratos, o P foi determinado por colorimetria, segundo Murphy & Riley (1962).

No momento da colheita foi avaliado o número de plantas de todas as 3 linhas da área útil das subparcelas, utilizadas na colheita para a determinação do número de plantas por metro.

5.8. Avaliações e determinações químicas nas amostras do solo

5.8.1. Acidez do solo e matéria orgânica

A acidez do solo foi determinada pelo método proposto por Raij & Quaggio, (1991) e para a avaliação do teor de matéria orgânica do solo, foi utilizada a metodologia proposta por Raij et al, (1987).

5.8.2. Fósforo orgânico

A determinação do fósforo orgânico tem como princípio a diferença entre o teor extraído com solução de H_2SO_4 0,5 N de amostra de solo submetida à ação de temperatura de 550° C durante uma hora e o teor extraído pela mesma solução de H_2SO_4 0,5 N, mas de uma amostra de solo sem calcinar.

Esta determinação foi realizada em amostras de solos citadas anteriormente, onde foi utilizada a metodologia descrita por Olsen & Sommer, (1982).

5.8.3. Fracionamento do fósforo inorgânico

O fracionamento do fósforo inorgânico tem como princípio à determinação de formas de fósforo ligadas ao solo, através de sucessivas extrações, formas estas como o P-solúvel em água, P-Al, P-Fe, P-Ca e o P-ocluído na forma de fosfato de ferro e alumínio. A metodologia adotada foi a de Catani & Bataglia, (1968). Esta técnica empregada fundamenta-se, em linhas gerais, nos esquemas de fracionamento do fósforo inorgânico propostos por Chang & Jackson (1957), com as modificações necessárias para adequá-la às condições existentes no laboratório e para obter maior eficiência do método.

Obtenção dos Extratos:

EXTRAÇÃO I – Fósforo solúvel em solução normal de Cloreto de Amônio (fornece o fósforo solúvel em água e outras formas fracamente ligadas ao solo).

- 1 - Pesou-se 0,25 g de solo e transferiu-se para tubos de ensaio compatíveis com a centrífuga, adicionou-se 10,0 ml de solução 1 N de Cloreto de amônio;
- 2 - Arrolhou-se os mesmos e agitou-se por 30 minutos a 200 rpm e centrifugou-se por 5 minutos a 3000 rpm;
- 3 - Após, retirou-se o sobrenadante e guardou-se em frasco próprio (preferencialmente escuro) e reservou-se o solo dos tubos para a extração II.

EXTRAÇÃO II – Fósforo solúvel em solução 0,5 N de Fluoreto de Amônio (NH_4F) com pH 8,5 (fornece o fósforo ligado ao alumínio).

- 1 - Adicionou-se 10,0 ml de solução 0,5 N de Fluoreto de amônio com pH ajustado a 8,5 ao solo contido no tubo após a extração I e agitou-se a suspensão durante 1 hora a 200 rpm;
- 2 - Centrifugou-se a 3000 rpm por 5 minutos e guardou-se o sobrenadante em frasco próprio (preferencialmente escuro);
- 3 - Procedeu-se a uma segunda extração com 10,0 ml de solução 0,5 N de Fluoreto de Amônio com pH ajustado a 8,5 e reservou-se o sobrenadante em frasco próprio (preferencialmente escuro).

EXTRAÇÃO III – Fósforo solúvel em solução 0,1 N de Hidróxido de Sódio (NaOH), (fornece o fósforo ligado ao ferro).

1 - O solo contido no tubo após a extração II foi tratado por duas vezes consecutivas com 5,0 ml de solução saturada de Cloreto de Sódio (NaCl) e após cada agitação de 30 minutos e centrifugação de 5 minutos, o líquido sobrenadante foi removido e rejeitado;

2 - Adicionou-se ao solo do tubo 10,0 ml de solução de NaOH 0,1 N e agitou-se por 3 horas a 200 rpm;

3 - Centrifugou-se a suspensão por 15 minutos a 2500 rpm e reservou-se o sobrenadante em tubo plástico escuro;

4 - Procedeu-se a segunda extração com solução de NaOH 0,1 N e reservou-se o sobrenadante em tubo plástico escuro;

5 - Transferiu-se 10,0 ml de cada extrato obtido e acrescentou-se 1,0 ml de H_2SO_4 2 N;

6 - Centrifugou-se a suspensão durante 10 minutos a 2500 rpm e reservaram-se os sobrenadante em tubos plásticos escuros.

EXTRAÇÃO IV – Fósforo solúvel em solução 0,5 N de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), (fornece o fósforo ligado ao cálcio).

1 - O solo contido no tubo após a extração III, foi tratado por duas vezes consecutivas com 5,0 ml de solução saturada de NaCl e após cada agitação de 30 minutos e centrifugação de 5 minutos, o líquido sobrenadante foi removido e rejeitado;

2 - Adicionou-se ao tubo 10,0 ml de solução 0,5 N de H_2SO_4 e agitou-se por 1 hora;

3 - Centrifugou-se a suspensão por 5 minutos e reservou-se o sobrenadante em tubo plástico escuro;

4 - Procedeu-se a uma segunda extração com solução 0,5 N de H_2SO_4 e reservou-se o sobrenadante em tubo plástico escuro.

EXTRAÇÃO V – Fósforo ocluído (determinação de fósforo ocluído na forma de fosfato de ferro e de fosfato de alumínio, por ataque energético do material residual, após as extrações anteriores).

1 - Adicionou-se ao solo contido no tubo após a extração IV, 2,5 ml de HCl, 0,75 ml de HNO_3 e 1,25 ml de H_2SO_4 ;

- 2 - Aqueceu-se brandamente até o desenvolvimento de fumos brancos, aproximadamente 15 minutos;
- 3 - Após esfriar, adicionou-se 5,0 a 10,0 ml de água destilada;
- 4 - Agitou-se e transferiu-se o líquido para proveta de 25,0 ml, completando o volume.

Preparo dos extratos para leitura em Espectrofotômetro:

EXTRAÇÃO I:

- 1 - Pipetou-se 2,0 ml do extrato I, adicionou-se 8,0 ml de solução diluída para fósforo e esperou-se 10 minutos para a leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

EXTRAÇÃO II:

- 1 - De cada um dos dois extratos obtidos, tomou-se 2,0 ml e adicionaram-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

EXTRAÇÃO III:

- 1 - De cada um dos dois extratos obtidos, tomou-se 2,0 ml, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína, neutralizou-se com solução de NaOH (1 + 1) até a viragem da fenolftaleína e adicionaram-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

EXTRAÇÃO IV:

- 1 - De cada um dos dois extratos obtidos, tomou-se 2,0 ml, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína, neutralizou-se com NH_4OH (1 + 1) até a viragem da fenolftaleína, adicionou-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

EXTRAÇÃO V:

- 1 - Tomou-se 2,0 ml do extrato, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína, neutralizou-se com NH_4OH (1 + 1) até a viragem da fenolftaleína e adicionaram-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

Preparo da Curva Padrão:

1 - Tomou-se 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0 e 32,0 ml de solução 0,001 N de KH_2PO_4 (solução Padrão) em balões volumétricos de 50,0 ml e completou-se o volume com água destilada.

Curva I – Extrações I e II:

1 - Tomou-se 2,0 ml de cada um dos pontos da curva padrão, adicionou-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

Curva II – Extração III:

1 - Tomou-se 2,0 ml de cada um dos pontos da curva padrão, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína, neutralizou-se com NaOH (1 + 1) até a viragem da fenolftaleína, adicionou-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo e esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

Curva III – Extrações IV e V:

1 - Tomou-se 2,0 ml de cada um dos pontos da curva padrão, adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína, neutralizou-se com NH_4OH (1 + 1) até a viragem da fenolftaleína, adicionou-se 8,0 ml de solução diluída de fósforo, esperou-se 10 minutos para leitura em espectrofotômetro a 720 nm.

Concentrações da Curva Padrão:

As concentrações foram as seguintes: 0,25 ml – $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$; 0,5 ml – $0,1 \text{ mg dm}^{-3}$; 1,0 ml – $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$; 2,0 ml – $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$; 4,0 ml – $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$; 8,0 ml – $1,6 \text{ mg dm}^{-3}$; 16,0 ml – $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$ e 32,0 ml – $6,4 \text{ mg dm}^{-3}$

Cálculos:

Apos fazer a correção pelos valores da curvas padrões em cada extração, multiplicou-se o valor obtido por 40 à exceção dos valores da extração V que foram multiplicados por 100.

5.9. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de médias LSD a 5% de probabilidade.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitem identificar algumas diferenças significativas quanto à produtividade das culturas, ao teor de fósforo orgânico, às frações de fósforo inorgânico, à matéria orgânica e a acidez do solo. Assim, para facilitar a interpretação e visualização dos resultados obtidos, estes serão apresentados obedecendo a seqüência/cronograma de execução do experimento.

Desta forma, apresenta-se o resultado da cultura de triticale, de milho e da soja, bem como os resultados das análises químicas do solo, quanto ao teor de fósforo orgânico, fósforo inorgânico, matéria orgânica e a acidez do solo, os quais foram comparados dentro e entre cada época de amostragem (após a dessecação do milho e após a colheita da soja).

6.1 Cultura do triticale

A produtividade média de matéria seca de triticale variedade BRS 148 foi maior com SFT em relação ao tratamento com FNA (Quadro 5). Pode-se observar que houve diferença significativa entre os tratamentos quanto à produtividade de grãos de triticale, onde o tratamento com SFT aplicado em superfície foi superior aos demais, fato este que se

explica pela maior solubilidade deste fertilizante fosfatado, o que proporciona uma disponibilidade mais rápida de P e conseqüentemente melhor nutrição das plantas (KÖNDORFER et al., 1997). Todavia, não se constatou diferença significativa no teor de P na matéria seca de plantas e grãos que favoreça o tratamento com fosfato solúvel (Quadro 6).

Quadro 5. Valores médios de produtividade de matéria seca de plantas e produção de grãos de triticale var. BRS 148 no momento da colheita aos 130 DAE.

kg P₂O₅ total ha⁻¹	Média
	Matéria seca de plantas (kg ha⁻¹)
0	2449 ab
80 FNA	2331 b
80 SFT	2753 a
Média	2511
C.V. Parcela	17,92
C.V. Subparcela	22,38
	Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)
0	1062 b
80 FNA	1078 b
80 SFT	1342 a
Média	1161
C.V. Parcela	22,82
C.V. Subparcela	24,99

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Para os fosfatos naturais, o efeito imediato, após a aplicação, tende a ser menor em relação aos fosfatos de alta solubilidade em água. Porém, após 2 anos da aplicação, principalmente em SSD, o rendimento das culturas para os fosfatos naturais reativos tem sido similares com os rendimentos obtidos com fontes solúveis em água (McLAUGHLIN et al., 1992; REIN et al., 1994; CHOUDHARY et al., 1996). Contudo, Lopes et al., (1996), em revisão que fez sobre a aplicação de fosfatos naturais na agricultura brasileira, concluiu que estes apresentam eficiência entre 60 e 70 % no primeiro ano após aplicação a lanço em cultivos de cereais anuais e tem um efeito residual maior quando comparado ao superfosfato triplo, o que indica que são adequados para a aumentar o P disponível no solo.

Em relação ao teor de P na matéria seca de plantas de triticale, os teores de P encontrados corroboram com os de Tedesco (1997), que ressalta que os teores de fósforo no tecido vegetal variam em geral entre 0,8 a 6,6 g kg⁻¹.

Quadro 6. Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas e grãos de triticale var. BRS 148 no momento da colheita aos 130 DAE.

kg P₂O₅ total ha⁻¹	Média
	Fósforo na matéria seca (g kg⁻¹)
0	1,3
80 FNA	1,3
80 SFT	1,3
Média	1,3
C.V. Parcela	16,00
C.V. Subparcela	9,02
	Fósforo nos grãos (g kg⁻¹)
0	1,5
80 FNA	1,3
80 SFT	1,5
Média	1,4
C.V. Parcela	22,42
C.V. Subparcela	11,66

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Considerando a quantidade de P na matéria seca de grãos de triticale pelo teor de fósforo do mesmo podemos estimar a quantidade de fósforo exportada pela produção de grãos da cultura. No Quadro 7, apresenta-se a quantidade de fósforo extraída e exportada pela cultura de triticale. Pode-se observar que o tratamento com SFT foi significativamente superior quanto à exportação de fósforo em relação aos demais tratamentos. Isto se justifica em função da maior produtividade de grãos, embora não houvesse diferença significativa no teor de fósforo das plantas sob esta fonte de fosfato, o que permite inferir que o tratamento com SFT proporcionou melhor nutrição das plantas.

Quadro 7. Quantidade de fósforo (kg ha⁻¹) exportada pelos grãos de triticale BRS 148.

kg P₂O₅ total ha⁻¹	Média
	Fósforo (kg ha⁻¹)
0	1,6 b
80 FNA	1,4 b
80 SFT	2,0 a
Média	1,7
C.V. Parcela	33,70
C.V. Subparcela	25,99

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.2. Cultura do milho

Na figura 5 observa-se que a velocidade de decomposição da palha de milho se mostrou muito semelhante entre os tratamentos. Porém, o tratamento sem aplicação de P apresentou maior taxa de decomposição durante o período, fato que pode estar relacionado à relação carbono: fósforo do resíduo, a qual provavelmente é menor, o que favorece a mineralização.

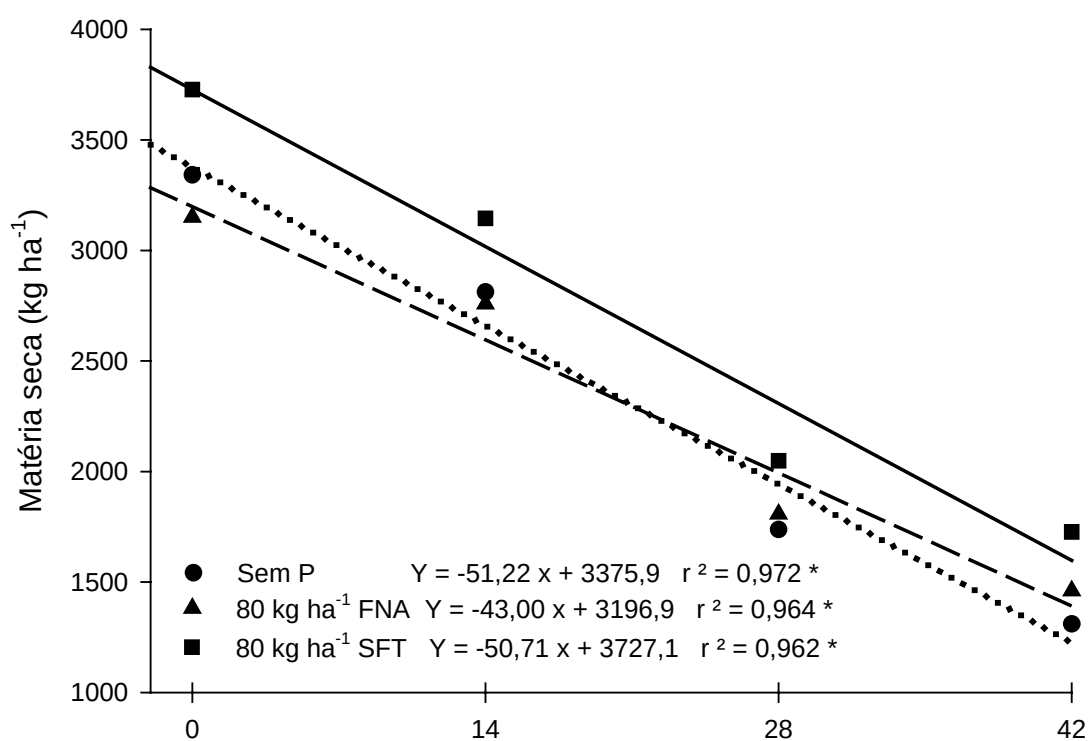


Figura 5. Valores médios de produtividade de matéria seca de plantas de milho aos 76 DAE e aos 14, 28 e 42 dias após manejo químico.

DAE = Dias após emergência

DAMQ = Dias após manejo químico

A maior produtividade de palha e a manutenção desta por um período maior de tempo sob a superfície do solo tem benefícios diretos na nutrição das plantas, principalmente quando da utilização de fontes mais solúveis. A maior parte do P é absorvido

pelas raízes por difusão, e este processo é favorecido por condições de umidade. As razões para a eficiência da aplicação de P em superfície em semeadura direta são atribuídas ao maior teor de água necessário para a difusão de P na camada superficial do solo e também porque, havendo maior teor de matéria orgânica nessa camada, haverá menor atividade de Al^{3+} (THOMAS, 1986).

O tratamento com SFT produziu a maior quantidade de massa de matéria seca de milho (3727 kg ha⁻¹), conseqüentemente este tratamento manteve maior quantidade de palha sob a superfície até a última avaliação, resultado comprovado na figura 6. A quantidade de P acumulado na massa de matéria seca mostrou-se maior para o tratamento com SFT, fato explicado em parte pela maior solubilidade desta fonte, mas também possivelmente pelas melhores condições de umidade proporcionadas pela maior produtividade de matéria seca.

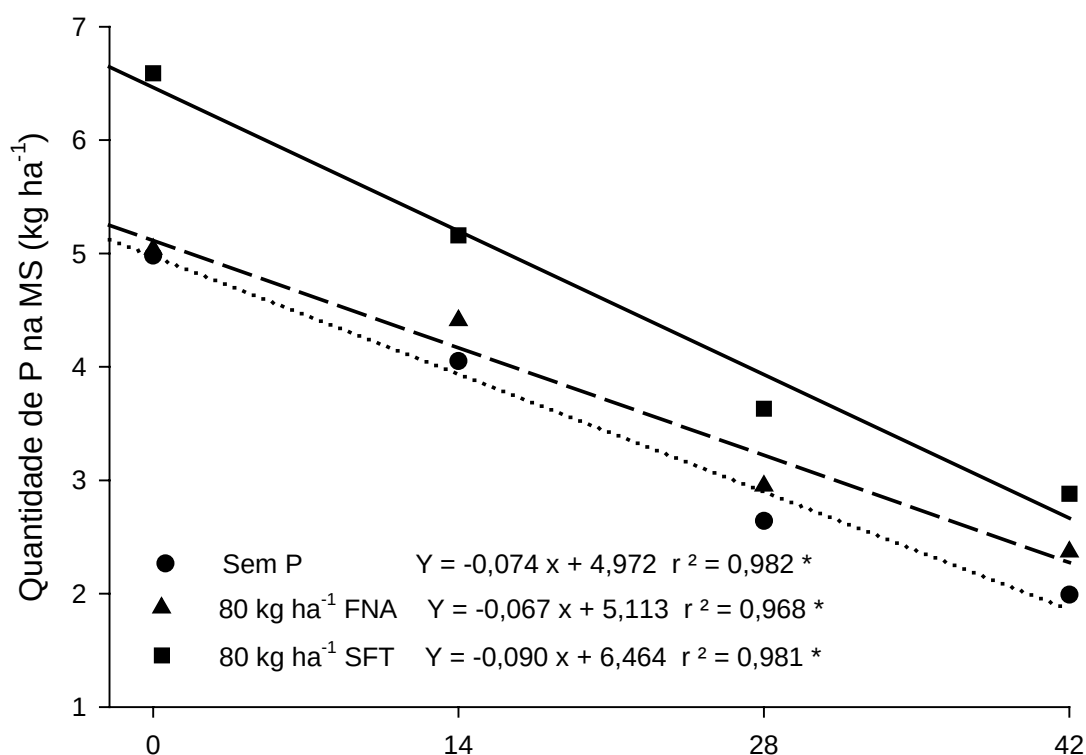


Figura 6. Quantidade de fósforo na matéria seca de plantas de milho aos 76 DAE e aos 14, 28 e 42 dias após manejo químico.

O teor médio de fósforo na matéria seca de plantas de milho em suas respectivas épocas de avaliação não apresentaram diferença significativa, sendo que em média para os tratamentos foram de, 1,49, 1,61 e 1,71 g de P kg⁻¹ para o tratamento sem P, 80 kg ha⁻¹ de FNA e 80 kg ha⁻¹ de SFT, respectivamente.

A quantidade de P absorvido e que será reciclado nas formas orgânicas e inorgânicas, é maior quando da aplicação de fosfato solúvel em todas as épocas de avaliação da decomposição da palha (Figura 6). Provavelmente esta quantidade de P se deva ao maior teor de P nas plantas de milho que receberam SFT na cultura anterior.

6.3 Cultura da soja

O acúmulo de matéria seca de plantas de soja foi acompanhado até os 98 DAE, sendo realizadas avaliações em intervalos de 14 dias, iniciando a partir dos 14 DAE.

Na figura 7, apresenta-se o valor médio de acúmulo de matéria seca de plantas de soja variedade BR 48 aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 DAE. Observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos principais para todas as épocas avaliadas.

A concentração de P nas plantas de soja é maior no estágio inicial da cultura, principalmente por ser o sistema radicular pequeno, as plantas apresentam maior eficiência em absorver P, favorecendo as fontes solúveis. Por outro lado, com teores muito baixos de P disponível à planta, esta se ajusta para utilizar melhor o P disponível, (neste caso o residual de adubações em anos anteriores). Assim espera-se que o fertilizante de liberação mais lenta force a planta à maior eficiência, com a vantagem de menor adsorção.

O teor de fósforo na matéria seca de plantas de soja foi avaliado aos 14, 42, 70 e 98 DAE os quais não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e combinações, e também interações entre estes (Quadro 8). Este fato pode ser explicado, em parte, pelo teor inicial de P (18,4 mg dm⁻³) onde se esperava pouca ou nenhuma resposta e pela aplicação do fosfato natural moído na linha de semeadura, tornando-o disponível para as plantas mais rapidamente. Segundo Raij (1991), como os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, quanto menor o tamanho da partícula e maior seu contato com o solo, maior será a liberação de P (KHASAWNEH & DOLL, 1978).

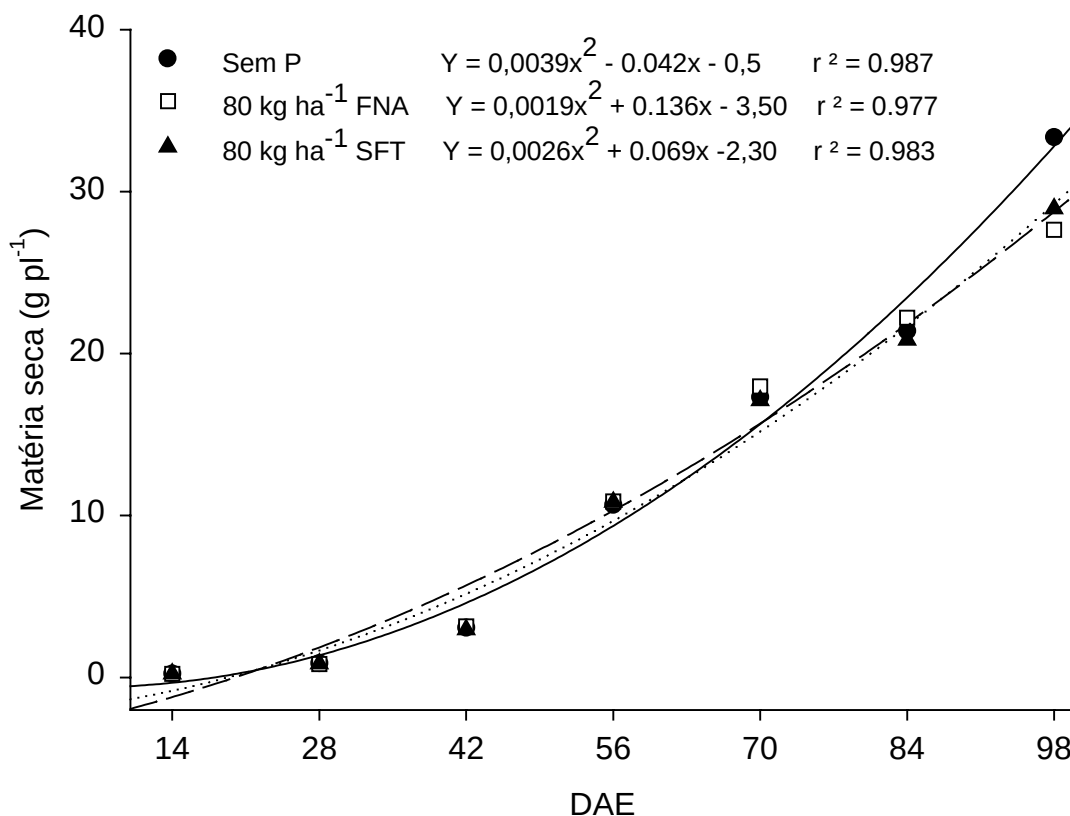


Figura 7. Acúmulo médio de matéria seca em plantas de soja aos 14, 28, 42, 56, 70, 84 e 98 DAE.

Braga et al., (1991) utilizando fosfato natural incorporado moído até que 85 % de suas partículas fossem menores que 0,074 mm apresentou resultados próximos ao superfosfato triplo granulado aplicado a lanço, mesmo nos primeiros cultivos. No entanto, Chien & Menon (1995), não encontraram resultados semelhantes. Em pesquisa conduzida em casa de vegetação com dois cultivos consecutivos de milho com 21 dias cada, com um Latossolo Vermelho distrófico típico, corrigido para pH 5,5, Horowitz & Meurer (2003) constataram que, no primeiro cultivo de milho, o fosfato natural de Gafsa finamente moído (< 0,074 mm) apresentou maior índice de eficiência agrônômica em relação mesmo fosfato na forma farelada.

Experimento em solo de Cerrado mostrou que fosfato natural reativo de Carolina do Norte moído teve eficiência equivalente ao superfosfato triplo e maior do que o

mesmo fosfato farelado no primeiro cultivo de soja quando aplicados incorporados. Porém, no segundo e terceiro cultivos, este na forma farelada superou as demais fontes (REIN et al., 1994). Korndörfer et al. (1997), na cultura do milho, também em solos de Cerrado, com uso de fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa, encontrou resultados similares ao superfosfato triplo granulado já no primeiro cultivo.

Quadro 8. Teor médio de fósforo na matéria seca de plantas de soja (var. BR 48) aos 14; 42; 70 e 98 DAE.

Fósforo kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Teor de fósforo (g kg ⁻¹)						Média
	-----Combinções SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----14 DAE-----							
0	1,4	1,5	1,5	1,7	1,5	1,7	1,5
80 FNA	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,6	1,5
80 SFT	1,4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6
Média	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,5
-----42 DAE-----							
0	1,2	1,9	1,9	1,1	2,0	1,1	1,5
80 FNA	2,0	1,9	1,0	1,1	1,9	1,0	1,5
80 SFT	1,7	1,9	1,0	1,1	1,9	1,9	1,6
Média	1,6	1,9	1,3	1,1	1,9	1,3	1,5
-----70 DAE-----							
0	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6	1,6
80 FNA	1,8	1,7	1,8	1,7	1,7	1,5	1,7
80 SFT	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Média	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
-----98 DAE-----							
0	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,6
80 FNA	1,8	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8
80 SFT	1,8	1,9	1,9	1,8	1,6	1,8	1,8
Média	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,7

No Quadro 9 observa-se que houve influência significativa dos tratamentos sobre a produtividade de grãos de soja. Observa-se que, na média, o tratamento SFT apresentou produtividade significativamente superior ao tratamento sem fósforo, porém este não mostrou diferença significativa em relação ao tratamento com FNA.

Quadro 9. Valores médios de produtividade de grãos de soja com 13 % de umidade e stand de plantas (variedade BR 48).

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)-----							
0	2807	2836	2841	3173	2995	3066	2953 b
80 FNA	2829	3099	3385	3180	3215	3133	3140 ab
80 SFT	3192	3038	3298	3405	3273	3481	3281 a
Média	2943	2991	3175	3253	3161	3227	3124
C.V. % Parc.							10,46
C.V.% Subp.							10,96
-----Stand de plantas (plantas m ⁻¹)-----							
0	17,7	17,0	19,5	17,5	17,5	16,2	17,6
80 FNA	18,0	17,2	20,2	19,2	17,7	19,2	18,6
80 SFT	17,7	18,7	18,2	19,2	18,0	19,2	18,5
Média	17,8	17,7	19,3	18,7	17,7	18,2	18,2
C.V. % Parc.							10,28
C.V.% Subp.							17,63

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A produtividade de grãos de soja não se apresentou diferente entre FNA e SFT, o que é explicável, em parte, pela ação dos microrganismos e pela própria planta, que por seus exsudatos pode favorecer a solubilização de fosfatos menos solúveis (HOFFLAND et al., 1989), por um mecanismo que envolve o balanço entre cátions e ânions absorvidos. Desse modo, quando há absorção de NH₄⁺ pela planta de soja, como fonte de N, a mesma mantém sua eletroneutralidade secretando H⁺, diminuindo o pH da rizosfera, e quando o NO₃⁻ é absorvido, há secreção de OH⁻ com elevação do pH (SWART & VAN DIEST, 1987). Além disso, o comportamento semelhante entre as fontes pode ser devido o FNA ter sido aplicado moído, e de acordo com Rein et al., (1994) os fosfatos naturais apresentam produtividades semelhante ou mesmo superiores aos superfosfatos após 2 a 3 anos de cultivos, dependendo do teor no solo e modo de aplicação. Choudhary et al., (1996) relata que em experimento de longa duração (20 anos), em solos com pH em água ao redor de 6,0, foi constatado que os rendimentos totais, obtidos com fosfatos naturais reativos e superfosfato triplo, tanto para soja como para milho, foram iguais.

Quando se considera a produtividade em sacas por hectare, os tratamentos com SFT e FNA atingiram produtividade de 5 e 2 sacas a mais em relação ao tratamento sem fósforo, o que corresponde a 9 e 4% respectivamente de incremento na produtividade.

O efeito semelhante entre as fontes também pode ser devido ao fato que a soja é um grande dreno de Ca, o que possivelmente favorece a dissolução do fosfato natural (NOVAIS & SMYTH, 1999). Espécies com sistema radicular desenvolvido, com alta demanda de Ca (ex. soja) e com habilidade de complexar este nutriente, devido à abundância em suas raízes de agentes complexantes como citratos e oxalatos, podem ter alta eficiência de absorção de P dos fosfatos naturais, pois estas características auxiliam na dissolução (MARWAHA, 1989).

No quadro 10, observa-se que não houve diferença significativa no teor médio de P nos grãos de soja, fato este que corrobora com as afirmações anteriores. De modo geral, as combinações entre fontes de P aplicados na linha de semeadura da soja, não influenciaram no teor de P e na quantidade de P exportado pela colheita.

Quadro 10. Valores médios de teor de P e quantidade de P exportado pela colheita de grãos de soja (variedade BR 48).

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Teor de P em grãos de soja (g kg ⁻¹)-----							
0	2,9	2,5	3,3	3,0	2,5	2,7	2,8 b
80 FNA	3,1	3,1	3,3	3,2	2,8	3,5	3,2 a
80 SFT	3,4	4,0	3,9	3,4	3,9	3,7	3,6 a
Média	3,1	3,1	3,5	3,2	3,1	3,3	3,2
C.V. % Parc.							13,47
C.V.% Subp.							15,52
-----Quantidade de P exportada nos grãos (kg ha ⁻¹)-----							
0	8,0 b	7,2 c	9,5 b	9,4 b	7,5 b	8,1 c	8,3 b
80 FNA	8,7 b	9,5 b	11,2 a	10,2 b	9,0 b	10,9 b	9,9 ab
80 SFT	10,8 a	11,2 a	12,7 a	11,5 a	12,6 a	12,7 a	11,9 a
Média	9,1	9,3	11,1	10,3	9,6	10,5	10,0
C.V. % Parc.							13,24
C.V.% Subp.							15,61

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.4 Fósforo orgânico

Uma questão pouco investigada refere-se a reservatórios de P no solo que têm a capacidade de suprir o P mais lábil. Essa informação é de utilidade na medida em que, conhecendo o tamanho desses reservatórios, poder-se-ia estimar a capacidade tampão de P no solo. Assim, através da determinação do fósforo orgânico é possível medir esses reservatórios, de acordo com o grau de disponibilidade às plantas.

6.4.1 Após a dessecação do milheto

O teor de fósforo orgânico foi modificado na camada de 0-5 cm pelas fontes de P (Quadro 11), isto pode estar relacionado a maior produtividade de matéria seca das culturas anteriores, conseqüentemente contribuindo para o aumento de formas orgânicas de fósforo. No entanto, nas profundidades 5-10, 10-20 e 20-40 cm este não sofreu influência das fontes e doses de P.

A adoção do SSD aumenta a quantidade de C no solo, conseqüentemente a biomassa microbiana também é aumentada, graças à adição de exsudados radiculares, decomposição das raízes e deposição de resíduos de plantas na superfície do solo, (VARGAS, 1997; SALINAS-GARCIA et al., 1997). Nestas situações, o fósforo inorgânico é parcialmente transformado em fósforo orgânico na biomassa microbiana (SELLES et al., 1997), o que pode contribuir para a maior disponibilidade de fósforo na camada superficial desse sistema.

O comportamento do P nesse sistema, sem revolvimento do solo, reduz o contato entre os colóides e íon fosfato, amenizando as reações de adsorção, que aliada a mineralização lenta e gradual dos resíduos orgânicos, proporcionam a formação de formas orgânicas menos suscetíveis às reações de adsorção (SÁ, 1999).

Quadro 11. Teores médios de fósforo orgânico nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo orgânico (mg dm ⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	138 a	120	113	110	131	129	105 b
80 FNA	122 ab	124	110	154	135	155	124 ab
80 SFT	84 b	110	118	107	107	103	133 a
Média	115	118	114	124	124	129	121
-----5-10 cm-----							
0	109	132 a	105	88	88	116	106
80 FNA	98	105 ab	139	92	97	113	108
80 SFT	96	76 b	109	95	104	96	95
Média	101	104	118	92	96	108	103
-----10-20 cm-----							
0	88	85	93	88	91	92	90
80 FNA	70	93	93	88	95	95	89
80 SFT	73	99	87	89	97	68	86
Média	77	93	91	89	95	85	88
-----20-40 cm-----							
0	84	94	94	80	95	86	89
80 FNA	72	95	90	87	92	89	87
80 SFT	87	84	83	77	59	88	78
Média	81	91	89	81	82	88	85

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.4.2 Após a colheita da soja

O teor de fósforo orgânico não foi modificado nas profundidades estudadas pela adição de fontes e ausência de P (Quadro 12), isto mostra que não houve efeito da adubação fosfatada sobre o P orgânico, fato diretamente relacionado ao não aumento dos teores de matéria orgânica. Com relação às combinações de fontes de fósforo, também não houve diferença significativa. Independente das fontes e combinações de P não houve influência das mesmas sobre o fósforo orgânico em profundidade.

Os teores de fósforo orgânico encontrado são relativamente baixos em todas as amostras, o que é explicável, em parte, considerando-se que os tratamentos não

apresentaram teores de matéria orgânica superiores a 15 g kg⁻¹, mesmo quando considerada a camada superficial.

De acordo com Guerra et al., (1996) que encontraram valores médios de 50 mg dm⁻³, pode-se observar variação de 7 até 272 mg dm⁻³. Por sua vez, Condrón et al., (1990) obtiveram valores que atingiram 88 mg dm⁻³ em amostras de solos da África e do Nordeste do Brasil, mas inferiores aos observados por Neptune et al., (1975) que obtiveram valores médios de 145 mg dm⁻³ para amostras de solos de São Paulo e Paraná.

Quadro 12. Teores médios de fósforo orgânico nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P₂O₅ ha⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P₂O₅ ha⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
	-----Fósforo orgânico (mg dm⁻³)-----						
	-----0-5 cm-----						
0	131	120	114	108	140	114	121
80 FNA	125	101	112	111	154	87	115
80 SFT	151	110	125	109	100	107	117
Média	136	110	117	110	131	103	118
	-----5-10 cm-----						
0	105 b	129	107	119	98	106	111
80 FNA	177 a	110	99	101	94	85	111
80 SFT	101 b	119	102	104	109	108	107
Média	128	119	102	108	100	100	110
	-----10-20 cm-----						
0	103	113	121	101	111	107	109
80 FNA	102	107	119	115	123	115	113
80 SFT	96	108	119	122	102	90	106
Média	100	109	120	113	112	104	110
	-----20-40 cm-----						
0	126	113	112	102	98	125	113
80 FNA	89	104	105	102	111	95	101
80 SFT	120	107	94	111	111	112	109
Média	112	108	103	105	107	111	108

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O fósforo orgânico, quando mineralizado pela população microbiana (ADEPTU & COREY, 1977) fornece fósforo inorgânico ao solo, sendo o P-lábil dependente do fósforo orgânico (BECK & SANCHES, 1994), que encontraram 44% do P orgânico

respondendo pelos aumentos em P-lábil, e por Tiessen et al. (1984), que encontraram, em 29 Ultissolos de diferentes áreas, 80% da variação de P-solução explicada pelo P orgânico.

6.5 Fracionamento do fósforo inorgânico

6.5.1 Após a dessecação do milheto

6.5.1.1 Fósforo solúvel em água

No quadro 13, referente à extração I, encontram-se as quantidades de fósforo solúvel em solução normal de Cloreto de Amônio, que fornece o P solúvel em água e a formas fracamente ligadas aos colóides do solo.

Vê-se que não houve diferença significativa para a aplicação das duas fontes de P e sem P, para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, mostrando que o FNA teve comportamento semelhante ao SFT, mais solúvel. Para as mesmas camadas estudadas houve efeito significativo entre as combinações de P, sendo possível identificar que o aumento da fonte solúvel, o SFT, há aumento da fração solúvel de P em relação às combinações com maior proporção de FNA.

O fósforo solúvel nas camadas de 10-20 e 20-40 cm foi insignificante, e na maioria dos casos, nulo para esta época de avaliação. Catani & Bataglia (1968) também observaram que a quantidade de fósforo extraído era insignificante e, na maioria dos casos, nula em latossóis dos Estados de São Paulo e Paraná.

Os valores de P solúvel em água observados na superfície podem ser, em parte, provenientes da adubação a lanço das fontes de P na cultura de triticale.

Quadro 13. Valores médios de fósforo solúvel em água nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)						Média
00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00		
Fósforo solúvel em água (mg dm ⁻³)							
0-5 cm							
0	16,8 aA	11,6 B	10,8 B	10,9 bB	11,6 B	10,5 B	12,0
80 FNA	9,0 bC	10,1 BC	9,9 BC	16,7 aA	13,2 B	11,9 BC	11,8
80 SFT	11,6 b	9,0	8,9	9,8 a	10,7	10,4	10,1
Média	12,5 A	10,2 BC	9,9 C	12,5 A	11,8 AB	10,9 ABC	11,3
5-10 cm							
0	5,1	5,9	7,1	7,2	6,9 b	7,5	6,6
80 FNA	6,2	8,4	7,5	9,0	7,4 ab	7,3	7,6
80 SFT	7,0	6,6	8,3	10,1	10,5 a	10,0	8,7
Média	6,1 B	6,9 AB	7,6 AB	8,8 A	8,3 A	8,3 A	7,7
10-20 cm							
0	0	0	0	0	0	0	0
80 FNA	0	0	0	0	0	0	0
80 SFT	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	0	0	0	0	0	0
20-40 cm							
0	0	0	0	0	0	0	0
80 FNA	0	0	0	0	0	0	0
80 SFT	0	0	0	0	0	0	0
Média	0	0	0	0	0	0	0

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.5.1.2 Fósforo ligado ao alumínio

Nesta extração, observou-se que a quantidade de fósforo extraído era insignificante e, na maioria dos casos, nula para essas condições. Catani & Bataglia, (1968) encontraram resultados diferentes, onde a solução de NH₄F dissolveu em maior quantidade os compostos de alumínio, inclusive os fosfatos quando comparado aos fosfatos de ferro. Os mesmos autores encontraram valores que variaram de 35 a 265,7 mg dm⁻³ em latossóis dos Estados de São Paulo e Paraná para a profundidade de 0-20 cm, nesta ocasião o pH se encontrava ao redor 6,30 em CaCl₂ e Al³⁺ inexistente. Fassbender (1975) encontrou valores de fósforo ligado a alumínio para solos do Maranhão, Bahia e Amazonas entre 11 e 52 mg dm⁻³, os quais corresponderam a 6,2 % do fósforo total.

A magnitude da ligação de P depende da natureza e da quantidade de sítios disponíveis na superfície dos minerais, sendo, por isso, dentro de uma mesma mineralogia, afetada pelo maior teor de argila (BAHIA FILHO et al., 1983). Neste aspecto, os óxidos de Fe e Al são tidos como os constituintes da fração argila mais efetivos na adsorção de P (PARFITT, 1979), sendo a goethita $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$ considerada o principal componente da fração argila responsável por este fenômeno em Latossolos do Brasil (BAHIA FILHO et al., 1983). A participação dos óxidos de Al neste fenômeno tem sido, de modo geral, menos destacada, apesar de a gibbsita ter participação importante na adsorção de P, mesmo que de forma menos efetiva que a goethita (McCLAUGHLIN et al., 1981).

Neste sentido, a absorção de P-Al pelas plantas depende de fatores ligados à própria espécie, Alves (1988) em Latossolos cultivados com estilosantes e braquiária, verificou que estas espécies utilizam P-Al, P-Al e P-Fe, respectivamente, no processo de absorção de fósforo. Segundo esse autor, plantas micorrizadas utilizam mais eficientemente o P menos disponível no solo, principalmente as formas ligadas e Fe e Al.

Galvani et al., (2004) também encontrou valores baixos, sendo nulos ou praticamente nulos na mesma área experimental, tendo como diferencial que este fora cultivado e avaliado no residual das adubações fosfatadas de anos anteriores. Nesta oportunidade, estes mesmos autores encontraram valores maiores de P-Al em área fora do experimento, até 40 cm de profundidade. De acordo com Barbosa Filho et al. (1987), em Latossolo Vermelho distrófico, o P-Al apresentou o menor teor em relação as demais frações analisadas. Segundo Chang & Jackson (1958) e Beche (1963), o que ocorre é que com o aumento da acidez, pela remoção das bases trocáveis, ocorre um aumento da atividade de Fe e Al sendo as formas mais solúveis de P-Ca convertidas em P-Al e P-Fe. Ocorre que, neste solo, o conteúdo de Al é baixo, predominando assim o Fe.

No presente experimento, com o aumento do pH, mais o aporte de ácidos orgânicos provindos da palha de triticales, milheto e posteriormente da soja em decomposição fez que não aparecesse P-Al em todos os tratamentos.

6.5.1.3 Fósforo ligado ao ferro

A quantidade de fósforo ligado a ferro, que é extraído pela solução de NaOH 0,1 N não apresentou resposta significativa entre as fontes e a ausência de P, exceto para a camada de 10-20 cm, onde a quantidade de fósforo ligado a ferro para fonte FNA foi inferior ao SFT (Quadro 14). Este fato pode ser explicado, em parte pela uniformidade do solo em óxidos de Fe, e parte pela deposição do adubo na camada de 5-10 cm de profundidade, proporcionando maior liberação de P para a formação de fosfato de Fe.

Quanto às combinações de fontes de P, estas não influenciaram na quantidade de fósforo ligado a ferro.

Quadro 14. Valores médios de fósforo ligado a ferro nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milheto.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo ligado a ferro (mg dm ⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	23,0	25,9	28,3	21,0 b	25,9	23,1	24,5
80 FNA	28,9	28,4	24,5	28,6 ab	32,3	28,8	28,6
80 SFT	25,6	30,4	30,9	32,5 a	28,8	30,9	29,9
Média	25,8	28,2	27,9	27,4	29,0	27,6	27,7
-----5-10 cm-----							
0	18,0	21,1	19,3	18,2	27,9 a	22,9	21,2
80 FNA	19,7	20,8	21,8	21,2	22,8 ab	21,9	21,4
80 SFT	20,9	20,4	20,3	18,8	17,3 b	23,2	20,1
Média	19,5	20,8	20,5	19,4	22,7	22,7	20,9
-----10-20 cm-----							
0	28,5 bB	28,8 bB	29,1 B	38,7 aA	29,9 B	35,6 AB	31,8 a
80 FNA	28,9 b	28,3 b	25,7	28,8 b	26,6	32,2	28,4 b
80 SFT	36,1 aAB	38,8 aA	31,1 BC	29,1 bBC	28,5 C	28,8 C	32,1 a
Média	31,2	32,0	28,6	32,2	28,3	32,2	30,7
-----20-40 cm-----							
0	24,3 B	23,2 B	23,8 B	30,2 AB	24,4 B	32,1 aA	26,3
80 FNA	23,2	26,5	24,7	24,4	23,0	22,7 b	24,1
80 SFT	27,8	28,9	25,4	27,2	29,1	24,9 ab	27,2
Média	25,1	26,2	24,6	27,3	25,5	26,5	25,9

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Catani & Bataglia (1968), encontraram para Latossolos de São Paulo e Paraná valores de fósforo ligado a ferro entre 74,2 a 144,9 mg dm⁻³. Por sua vez, Fassbender (1975) encontrou valores de 37 a 88 mg dm⁻³ em solos do Maranhão, Bahia e Amazonas, os quais corresponderam a 6,4 % do fósforo total.

Uma fração considerável do íon fosfato pode se ligar ao ferro e às vezes ao alumínio formando a strengita, Fe (OH)₂H₂P₄, e a varescita, Al (OH)₂H₂PO₄, ou produtos de composição intermediária entre as citadas substâncias. Outra parte do fósforo liga-se ao cálcio, formando diversos tipos de fosfatos de cálcio desde os mais simples, como fosfato dicálcico dihidratado até os mais complexos como fosfatos octacálcico, a hidroxiapatita, a fluorapatita, etc. Finalmente, uma fração variável de fósforo permanece na forma orgânica, isto é, fosfolipídios, fitina, ácidos nucleicos e nucleoproteínas (CATANI & BATAGLIA, 1968).

6.5.1.4 Fósforo ligado ao cálcio

A extração IV, executada com solução 0,5 N de H₂SO₄, fornece o fósforo ligado ao cálcio. O quadro 15 mostra que uma fração apreciável de fósforo se conserva na forma de fosfatos de cálcio, não havendo diferença significativa entre as fontes e zero de P para as camadas estudadas. Este fósforo é considerado não-lábil, estável (TIESSEN et al., 1984) e possivelmente é composto por fosfatos de cálcio neoformados a partir da precipitação na solução do solo, decorrente da alta concentração de P e Ca (MAGID, 1993). O fósforo contido nessa fração só se tornará disponível no solo se ocorrer um abaixamento do pH e, ou dos teores de P e Ca em solução, o que pode ser observado na região da rizosfera (SMILEY, 1974).

Catani & Bataglia (1968), avaliando Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná encontraram valores de fósforo ligado a cálcio entre 45,3 a 162,5 mg dm⁻³, o que é explicável tendo em vista os valores de pH que variaram de 6,0 a 6,5. Contudo, neste trabalho foram observados valores que não superaram em média 25,4 mg dm⁻³, fato que pode ser explicado, em parte, pelos valores de pH que se encontravam ao redor de 4,5 a 5,5 em CaCl₂.

Por sua vez, Fassbender (1975) encontrou valores de fósforo ligado a cálcio para solos do Maranhão, Bahia e Amazonas entre 10 e 31 mg dm⁻³, correspondente a 3,2% do fósforo total.

Quadro 15. Valores médios de fósforo ligado a cálcio nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milheto.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo ligado ao cálcio (mg dm ⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	23,5	19,9	26,1	17,1	25,2	18,3	21,7
80 FNA	21,9	19,4	21,1	19,3	31,9	22,5	22,7
80 SFT	22,5	20,6	24,3	26,0	31,0	23,2	24,6
Média	22,6 B	20,0 B	23,8 AB	20,8 B	29,4 A	21,3 B	23,0
-----5-10 cm-----							
0	12,0	11,3	10,3	12,8	13,1 ab	12,4	12,0
80 FNA	12,5	13,7	11,9	11,4	17,7 a	13,0	13,4
80 SFT	11,0	10,7	12,2	10,2	10,0 b	15,0	11,5
Média	11,8	11,9	11,5	11,5	13,6	13,5	12,3
-----10-20 cm-----							
0	22,6	24,9	23,1	27,5 a	21,9	26,8	24,5
80 FNA	25,7	22,3	24,0	21,5 b	22,9	22,6	23,2
80 SFT	27,1	27,1	24,2	24,4 ab	25,0	24,7	25,4
Média	25,1	24,8	23,8	24,5	23,3	24,7	24,4
-----20-40 cm-----							
0	15,0	14,6	16,2	17,4	17,3	18,7	16,5 b
80 FNA	20,9	19,7	18,4	16,9	17,4	15,9	18,2 a
80 SFT	15,2	18,3	14,6	18,1	19,0	16,2	16,9 ab
Média	17,0	17,5	16,4	17,5	17,9	16,9	17,2

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.5.1.5 Fósforo ocluso

O fósforo ocluso acha-se distribuído nos solos latossólicos, em material muito rico em sesquióxidos de ferro e de alumínio e de acordo com Wagar et al., (1986) é tradicionalmente considerada a fração pouco disponível às plantas, porém,

juntamente com o fosfato ligado ao ferro e a cálcio, parece ter um papel preponderante no processo de manutenção do P disponível no solo (ARAÚJO et al., 2004).

Quadro 16. Valores médios de fósforo ocluso nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milheto.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinções SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo ocluso (mg dm ⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	81,9	87,1	86,5 ab	82,8	90,0	94,9	87,2
80 FNA	91,8	93,3	97,4 a	84,2	84,0	85,5	89,4
80 SFT	82,0	81,5	80,3 b	83,0	87,9	89,6	84,1
Média	85,2	87,3	88,1	83,3	87,3	90,0	86,7
-----5-10 cm-----							
0	83,8 b	92,0	87,5	85,0	86,7	89,2	87,4
80 FNA	89,6 a	90,0	88,7	87,3	92,0	87,3	89,1
80 SFT	89,8 a	89,2	87,5	87,7	90,0	86,3	88,4
Média	87,7	90,4	87,9	86,6	89,6	87,6	88,3
-----10-20 cm-----							
0	93,4 a	81,1 a	77,3	83,9 a	61,5	61,5	76,4
80 FNA	62,5 b	55,1 b	68,8	61,1 ab	59,7	64,3	61,9
80 SFT	55,1 b	73,0 ab	73,4	53,7 b	54,8	73,4	63,9
Média	70,4	69,8	73,2	66,3	58,7	66,4	67,4
-----20-40 cm-----							
0	50,2	54,4 a	48,8	50,2	43,5	45,7	48,8
80 FNA	46,0	45,7 ab	49,2	38,3	46,7	41,4	44,5
80 SFT	37,2	33,7 b	44,3	44,3	47,4	43,2	41,7
Média	44,5	44,6	47,3	44,3	45,9	43,4	45,0

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

O quadro 16 mostra que não houve diferenças significativas para o teor de fósforo ocluso entre as fontes estudadas para todas as camadas. Vê-se que, na camada superficial, há maior quantidade de P-ocluso. Isto é explicável, em parte, pela adição de P em superfície na cultura do tritcale e pela não mobilização do solo promovida pela semeadura direta.

A baixa mobilidade do P e maior disponibilidade desta fração na camada superficial do solo é decorrente da aplicação anual de fertilizantes fosfatados em sulco

ou a lanço, da liberação de P orgânico através da decomposição dos resíduos vegetais deixados na superfície e da maior intensidade de adsorção em uma pequena porção do solo com constituintes inorgânicos passíveis de alta adsorção, os óxidos, oxi-dróxi e hidróxidos de Fe e Al (SÁ, 1999; SOUSA & LOBATO, 2000).

Em trabalho realizado em Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná, Catani & Bataglia (1968) encontraram valores de fósforo ocluso entre 470,8 a 850,8 mg dm⁻³.

6.5.1.6 Fósforo total

A quantidade de fósforo total foi obtida pela soma das frações obtidas e o fósforo orgânico. Observa-se (Quadro 17) que o P-total apresenta-se com valores elevados na superfície. Isto é explicável, em parte, considerando que o solo estudado apresenta em média 15 g dm⁻³ de matéria orgânica em superfície, fornecendo fontes orgânicas de P, como fosfolipídios, fitina, ácidos nucleicos e nucleoproteínas. Sá (1999), com base em vários trabalhos desenvolvidos no exterior e nos de Guerra (1993) e Sá (1995) no Brasil, explica que esse comportamento é respaldado no argumento de que a fração orgânica de P poderia ser o reservatório principal de reabastecimento do íon fosfato para a solução do solo no SSD.

Em trabalho realizado por Catani & Bataglia (1968) foi verificado valores de fósforo total entre 741,0 a 1493,0 mg dm⁻³ em Latossolos dos Estados de São Paulo e Paraná. De acordo com os mesmos autores, os valores de fósforo orgânico variaram de 347,2 a 511,0 mg dm⁻³ para esses mesmos latossolos.

Rheinheimer & Anghinoni, (2001) estudando solos do Rio Grande do Sul constataram que o P-total varia de menos de 100 até mais de 1000 mg dm⁻³, dependendo do material de origem e do grau de evolução genética do solo, portanto a distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a mineralogia do solo. Os mesmos autores encontram em SSD, os valores de 1085, 1068 e 897 mg dm⁻³ nas camadas 0-2,5; 2,5-7,5 e 7,5-17,5 cm, respectivamente. Para um Podzólico, este autores encontraram valores de P-total que variaram de 468 a 759 mg dm⁻³.

Quadro 17. Valores médios do fósforo total obtido pelo somatório das frações orgânica e inorgânica de P nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milheto.

kg P₂O₅ ha⁻¹	Fósforo						
	P-orgânico	P-solúvel	P-Al	P-Fe	P-Ca	P-ocluo	P-Total
-----mg dm⁻³-----							
-----0-5 cm-----							
0	105	12,0	0	24,5	21,7	87,2	250,4
80 FNA	124	11,8	0	28,6	22,7	89,4	276,5
80 SFT	133	10,1	0	29,9	24,6	84,1	281,7
Média	121	11,3	0	27,7	23,0	86,7	-
-----5-10 cm-----							
0	106	6,6	0	21,2	12,0	87,4	233,2
80 FNA	108	7,6	0	21,4	13,4	89,1	239,5
80 SFT	95	8,7	0	20,1	11,5	88,4	223,7
Média	103	7,7	0	20,9	12,3	88,3	-
-----10-20 cm-----							
0	90	0	0	31,8	24,5	76,4	222,7
80 FNA	89	0	0	28,4	23,2	61,9	202,5
80 SFT	86	0	0	32,1	25,4	63,9	207,4
Média	88	0	0	30,7	24,4	67,4	-
-----20-40 cm-----							
0	89	0	0	26,3	16,5	48,8	180,6
80 FNA	87	0	0	24,1	18,2	44,5	173,8
80 SFT	78	0	0	27,2	16,9	41,7	163,8
Média	85	0	0	25,9	17,2	45,0	-

No geral, a fração P-Fe predominou sobre a P-Al, indicando um maior grau de solubilização das formas P-Al e retenção como P-Fe, o que, segundo Novelino (1999), tem sido comum, especialmente em latossolos, com o aumento do tempo de contato entre o íon fosfato e o solo. A fração P-Ca foi menor que a fração P-Fe, característica, segundo Bahia Filho & Braga (1975), de Latossolos, pobres em Ca, pois à medida que vão se tornando mais ácidos, pela remoção de sílica e bases, formas mais solúveis de P-Ca são convertidas em P-Al e P-Fe (HSU, 1977).

Das frações estudadas, a maior foi o P-ocluo, composto pela fração húmus mais estável e formas inorgânicas muito insolúveis, consideradas muito resistentes à decomposição (DAROUB et al., 2000).

O fósforo orgânico correspondeu a 40-50 % do fósforo total contra 50-60 % de inorgânico (Quadro 18) havendo pequenas variações entre as fontes de P e camadas estudadas. Os resultados estão de acordo com os relatados de Lopes et al., (2005), segundo os quais o P orgânico representa de 30 a 70 % do P-total presente no solo. Por sua vez, Oliveira et al., (2002) diz que, para solos mais intemperizados, o P orgânico representa de 25 a 35 % do P total.

Quadro 18. Fósforo orgânico e inorgânico em relação ao fósforo total nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação do milho.

kg P₂O₅ ha⁻¹	Formas de fósforo		
	P – Orgânico	P – Inorgânico	P - Total
	%		
	0 – 5 cm		
0	42	58	100
80 FNA	45	55	100
80 SFT	47	53	100
	5 – 10 cm		
0	46	54	100
80 FNA	45	55	100
80 SFT	43	58	100
	10 – 20 cm		
0	40	60	100
80 FNA	44	56	100
80 SFT	42	58	100
	20 – 40 cm		
0	49	51	100
80 FNA	50	50	100
80 SFT	48	52	100

Em Latossolos como este, altamente intemperizados, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente. Isto sugere que os teores de P-total e a distribuição nas diferentes frações dependem do grau de intemperização, da atividade biológica e da vegetação predominante, entre outras (MAGID, 1993; CROSS & SCHLESINGER, 1995).

6.5.2 Após a colheita da soja

6.5.2.1 Fósforo solúvel em água

No quadro 19, referente à extração I, são apresentados os resultados obtidos para o fósforo solúvel em solução normal de cloreto de amônio, que fornece a fração do citado elemento solúvel em água e a formas fracamente ligadas aos colóides do solo.

Quadro 19. Valores médios de fósforo solúvel em água nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00		
-----Fósforo solúvel em água (mg dm ⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	1,7	1,3 b	1,0 b	2,5	1,0 b	1,0 b	1,4 c
80 FNA	2,5	2,3 ab	1,7 b	2,0	1,7 ab	2,3 ab	2,1 b
80 SFT	2,6	3,4 a	3,7 a	2,5	3,2 a	2,7 a	3,0 a
Média	2,3	2,3	2,2	2,4	2,0	2,0	2,2
-----5-10 cm-----							
0	3,9	2,3	2,5	3,0	2,8 b	2,7	2,9
80 FNA	3,6	4,1	3,3	2,5	2,2 b	3,9	3,3
80 SFT	4,1 B	3,8 B	4,0 B	3,7 B	8,2 aA	3,4 B	4,5
Média	3,9	3,4	3,3	3,1	4,4	3,3	3,6
-----10-20 cm-----							
0	2,0 b	2,3	2,1	2,2	2,2	2,3	2,2
80 FNA	2,4 b	2,3	2,4	2,2	3,0	2,6	2,5
80 SFT	3,7 aA	2,7 BC	3,1 ABC	2,6 C	3,6 AB	2,4 C	3,0
Média	2,7	2,4	2,5	2,3	2,9	2,5	2,6
-----20-40 cm-----							
0	2,3	2,2	2,3	2,1	2,3 b	2,0	2,2
80 FNA	2,3 B	2,6 AB	2,3 B	2,3 B	3,8 aA	2,1 B	2,6
80 SFT	2,5	2,6	2,3	2,2	2,2 b	2,9	2,4
Média	2,3	2,5	2,3	2,2	2,8	2,3	2,4

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Vê-se que não houve diferença significativa para as fontes de P, exceto para a camada de 0-5 cm, onde o SFT apresentou-se significativamente superior ao FNA e este ao tratamento sem P (Quadro 19). Diferentemente da avaliação após a dessecação do milheto,

os teores de fósforo solúvel em água foram menores na camada de 0-5 e 5-10 cm, porém nesta avaliação houve presença considerável de P nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, mostrando o efeito da solubilização dos fosfatos e mineralização do P-orgânico pelos ácidos orgânicos proveniente da decomposição dos resíduos vegetais da soja. Além disso, o aumento pode se pelo fato de ter aplicado na linha e coletada a amostra na linha, pois com o aumento da concentração de P, há a saturação dos sítios de adsorção e aumento da disponibilidade.

6.5.2.2 Fósforo ligado ao alumínio

Como era esperado, nesta extração também se observou que a quantidade de fósforo extraído era insignificante e, na maioria dos casos, nula para as condições deste experimento.

6.5.2.3 Fósforo ligado ao ferro

A quantidade de fósforo ligado ao ferro não apresentou diferença significativa entre as fontes de P e combinações para as camadas 0-5 e 10-20 cm (Quadro 20).

Houve diferença significativa entre as fontes de P para a camada de 5-10 cm, mostrando-se superior para o SFT, não havendo diferença entre FNA e sem P. Para camada de 20-40 cm o FNA apresentou comportamento semelhante ao SFT, superior ao tratamento sem P.

As frações de fósforo ligado a ferro atuam como dreno de P em solos fertilizados, ou como fonte a curto e médio prazo à biomassa. Sua ação como tamponante pode manter os níveis de P suficientemente altos para o suprimento das plantas. Assim, o P inorgânico extraído por NaOH pode ser considerado moderadamente lábil (GUO & YOST, 1998).

Quadro 20. Valores médios de fósforo ligado a ferro nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
	-----Fósforo ligado ao ferro (mg dm ⁻³)-----						
	-----0-5 cm-----						
0	24,4 b	32,2	23,3 b	34,5	21,9 b	28,6	27,5
80 FNA	41,1 aAB	44,9 A	26,8 bC	26,3 C	27,6 bBC	33,4 ABC	33,3
80 SFT	40,2 a	38,4	42,2 a	32,8	42,7 a	41,1	39,6
Média	35,2	38,5	30,8	31,2	30,7	34,4	33,5
	-----5-10 cm-----						
0	25,9	20,5 b	26,1	33,7	34,9 b	35,2	29,4 b
80 FNA	26,1	29,4 ab	29,0	29,0	22,0 b	34,2	28,3 b
80 SFT	35,3 B	39,9 aB	37,2 B	32,8 B	56,9 aA	38,3 B	40,1 a
Média	29,1	29,9	30,8	31,8	37,9	35,8	32,6
	-----10-20 cm-----						
0	23,8	21,3	24,1	23,8	24,7 b	34,9	25,4
80 FNA	27,8	28,0	28,0	26,1	32,9 ab	30,6	28,9
80 SFT	29,7	33,1	28,9	30,4	38,6 a	31,5	32,0
Média	27,1	27,4	27,0	26,8	32,0	32,3	28,8
	-----20-40 cm-----						
0	22,7	22,9	23,2	23,2	25,6	30,1	24,6 b
80 FNA	29,1	28,6	28,6	30,2	26,9	29,1	28,7 a
80 SFT	29,1	29,1	31,2	32,0	30,3	30,4	30,4 a
Média	27,0	26,9	27,7	28,5	27,6	29,9	27,9

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.5.2.4 Fósforo ligado ao cálcio

A extração IV, executada com solução 0,5 N de H₂SO₄, fornece o fósforo ligado ao cálcio. O quadro 21 mostra que uma fração apreciável de fósforo se conserva na forma de fosfatos de cálcio, não havendo diferença significativa entre as fontes de P para as camadas estudadas, exceto para camada superficial.

O FNA apresentou diferença significativa em relação a SFT e sem P, mostrou-se superior (Quadro 21), isto é explicável, em parte, pela maior quantidade de cálcio presente na composição química do FNA (36%) em relação ao SFT (13%) favorecendo a formação de fosfatos de cálcio.

Em SSD, Kunishi et al., (1982) observou que os fertilizantes aplicados em superfície permanecem por mais tempo como fosfatos de cálcio, devido à diminuição da adsorção com os colóides minerais. Essa fração tem sido considerada não-lábil (SELLES et al., 1997; GUO & YOST, 1998).

Quadro 21. Valores médios de fósforo ligado a cálcio nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P₂O₅ ha⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P₂O₅ ha⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo ligado ao cálcio (mg dm⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	38,0 B	46,8 B	27,4 B	97,9 aA	26,1 B	24,7 B	43,5 b
80 FNA	83,2	76,5	68,8	76,7 a	67,4	70,3	73,8 a
80 SFT	52,3	30,7	47,4	26,8 b	31,9	27,9	36,2 b
Média	57,8	51,4	47,9	67,2	41,8	41,0	51,2
-----5-10 cm-----							
0	99,6	37,2	43,6 b	67,3	52,2	32,1	55,3
80 FNA	103,1	124,3	145,7 a	85,4	42,7	76,3	96,2
80 SFT	134,6	101,7	46,2 b	50,6	76,7	32,3	73,7
Média	112,4	87,8	78,5	67,8	57,2	46,9	75,1
-----10-20 cm-----							
0	22,3 b	28,2	22,1	22,8	21,4	22,6	23,2
80 FNA	51,8 b	33,8	43,4	25,8	32,6	25,9	35,5
80 SFT	147,6 aA	64,9 B	47,7 B	44,2 B	27,6 B	23,7 B	59,3
Média	73,9 A	42,3 B	37,7 B	30,9 B	27,2 B	24,0 B	39,4
-----20-40 cm-----							
0	32,4	23,0	21,9	19,6 b	20,9	21,4	23,2
80 FNA	25,1	21,2	18,8	32,3 a	26,1	22,0	24,3
80 SFT	22,1	23,2	22,1	21,1 b	21,4	22,3	22,0
Média	26,5	22,5	20,9	24,3	22,8	21,9	23,2

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.5.2.5 Fósforo ocluso

No quadro 22, pode observar-se que não houve diferenças significativas para o teor de fósforo ocluso entre as fontes estudadas para todas as camadas, exceto para a camada 20-40 cm. Observa-se que o FNA apresenta comportamento semelhante

ao SFT, superiores ao tratamento sem P, indicando que há um incremento nas reservas de P em profundidade, mesmo em formas não disponíveis, com aplicações superficiais de fosfatos.

Quadro 22. Valores médios de fósforo ocluso nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P₂O₅ ha⁻¹	Combinções SFT/FNA (kg P₂O₅ ha⁻¹)						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Fósforo ocluso (mg dm⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	44,1	41,1	44,8	44,1	51,2 a	50,3	36,7
80 FNA	39,3	39,9	46,0	45,9	37,8 b	45,5	42,4
80 SFT	33,5	38,8	35,7	37,3	33,9 b	41,0	45,9
Média	38,9	40,0	42,1	42,4	41,0	45,6	41,7
-----5-10 cm-----							
0	43,2	40,3	34,9 b	40,7	46,9	39,1	40,9
80 FNA	37,8	40,9	43,7 ab	49,4	37,1	55,9	44,1
80 SFT	51,0	39,0	65,5 a	44,4	55,1	39,3	49,1
Média	44,0	40,0	48,0	44,8	46,4	44,8	44,7
-----10-20 cm-----							
0	47,3	56,1	49,0	42,6	58,5	62,2	52,6
80 FNA	67,0	61,1	61,9	58,8	57,7	66,2	62,1
80 SFT	59,8	42,3	43,8	50,6	42,1	63,2	50,3
Média	58,0	53,2	51,5	50,7	52,8	63,9	55,0
-----20-40 cm-----							
0	65,1 b	57,0 b	95,9	60,5	80,8	75,7	72,5 b
80 FNA	86,8 ab	118,8 a	97,3	98,2	95,3	98,6	99,2 a
80 SFT	123,1 aA	77,8 bB	100,2 AB	66,8 B	102,6 AB	96,1 AB	94,4 a
Média	91,7	84,5	97,8	75,2	92,9	90,2	88,7

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.5.2.6 Fósforo total

O P-total foi obtido pela soma das frações através de extrações sucessivas e o fósforo orgânico. No quadro 23, pode-se observar que o teor de P-total não apresentou variação expressiva em relação à avaliação anterior, mas que a quantidade de P-total aumentou principalmente nas camadas de 10-20 e 20-40 cm.

Como era esperada, a fração P-Fe predominou sobre a P-Al semelhante à avaliação anterior. No entanto, contrário à avaliação anterior, a fração P-Ca foi maior que a fração P-Fe. Provavelmente, se deva a adição anual de fontes de P que contenham

Ca como o SFT e FNA, respectivamente 13 e 36%. Tal fato pode promover um aumento do pH do solo, favorecendo a adsorção em formas de fosfatos de Ca.

Além disso, este sistema apresenta mecanismos que podem explicar a redução da acidez e a diminuição da toxidez de Al no solo pela presença de resíduos, sendo esta capacidade associada aos teores de cátions de reação básica e carbono orgânico solúvel do resíduo (CASSIOLATO et al., 1999; MIYAZAWA et al., 2000), impedindo dessa forma que P-Ca seja convertido em P-Al e P-Fe (HSU, 1977).

Considerando o P-total o equivalente a 100%, o P-orgânico representou de 39-53 % contra 47-61 % de P-inorgânico (Quadro 24). Observa-se em todas as camadas que o teor de P-inorgânico para as fontes de P aplicadas foram superiores ao tratamento sem P, sendo neste maior o P-orgânico.

Quadro 23. Valores médios do fósforo total obtido pelo somatório das frações orgânica e inorgânica de P nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

P ₂ O ₅	P-orgânico	P-solúvel	P-Al	P-Fe	P-Ca	P-ocluído	P-Total
-----mg dm ⁻³ -----							
-----0-5 cm-----							
0	121	1,4	0	27,5	43,5	36,7	230,1
80 FNA	115	2,1	0	33,3	73,8	42,4	266,6
80 SFT	117	3,0	0	39,6	36,2	45,9	241,7
Média	118	2,2	0	33,5	51,2	41,7	-
-----5-10 cm-----							
0	111	2,9	0	29,4	55,3	40,9	239,5
80 FNA	111	3,3	0	28,3	96,2	44,1	282,9
80 SFT	107	4,5	0	40,1	73,7	49,1	274,4
Média	110	3,6	0	32,6	75,1	44,7	-
-----10-20 cm-----							
0	109	2,2	0	25,4	23,2	52,6	212,4
80 FNA	113	2,5	0	28,9	35,5	62,1	242,0
80 SFT	106	3,0	0	32,0	59,3	50,3	250,6
Média	110	2,6	0	28,8	39,4	55,0	-
-----20-40 cm-----							
0	113	2,2	0	24,6	23,2	72,5	235,5
80 FNA	101	2,6	0	28,7	24,3	99,2	255,8
80 SFT	109	2,4	0	30,4	22,0	94,4	258,2
Média	108	2,4	0	27,9	23,2	88,7	-

De acordo com Syers et al., (1968) o fósforo ocluso pode estar envolvido por quartzo na apatita, o que o torna resistente à digestão, além da possibilidade de aumentar a adsorção com o tempo. Portanto, o fósforo ocluso pode conter P secundário quanto o P primário. Isso ajuda a explicar as altas proporções de P-ocluso encontrados neste trabalho.

Quadro 24. Fósforo orgânico e inorgânico em relação ao fósforo total nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Formas de fósforo		
	P – orgânico	P – inorgânico	P - Total
	----- % -----		
	----- 0 – 5 cm -----		
0	53	47	100
80 FNA	43	57	100
80 SFT	48	52	100
	----- 5 – 10 cm -----		
0	46	54	100
80 FNA	39	61	100
80 SFT	39	61	100
	----- 10 – 20 cm -----		
0	51	49	100
80 FNA	47	53	100
80 SFT	42	58	100
	----- 20 – 40 cm -----		
0	48	52	100
80 FNA	39	61	100
80 SFT	42	58	100

6.6 Acidez do solo

Como resultado da reação dos fertilizantes fosfatados com os constituintes do solo, a formação de fósforo não-lábil vai depender da disponibilidade desses constituintes e, por sua vez, do valor de pH do solo. Além de influenciar diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas, o pH da solução do solo indica possíveis formas de fosfatos presentes no solo, ou seja, em pH ácido predomina o fosfato de alumínio, em pH intermediário predomina o fosfato de ferro e em pH próximo a neutralidade predomina os fosfatos de cálcio dando compostos pouco solúveis (JAYACHANDRAN et al., 1989).

6.6.1 Após a dessecação do milho

O pH obtido em solução de CaCl_2 nas camadas estudadas não apresentou diferença significativa entre as fontes de P aplicadas e nem entre as combinações. Observa-se que os valores médios de pH são maiores na superfície e estes diminuem com a profundidade (Quadro 25).

Quadro 25. Valores de pH em solução de CaCl_2 nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.

Fósforo kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	pH em solução de CaCl ₂						Média
	-----Combinções SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)-----						
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----0-5 cm-----							
0	5,13	5,34	5,45	5,37	5,21 b	5,29	5,30
80 FNA	5,28	5,27	5,57	5,32	5,34 ab	5,68	5,41
80 SFT	5,46 AB	5,26 AB	5,16 B	5,28 AB	5,73 aA	5,25 AB	5,36
Média	5,29	5,29	5,40	5,32	5,43	5,40	5,35
-----5-10 cm-----							
0	4,75	4,78	5,12	4,51	5,03	4,66	4,81
80 FNA	4,95	4,92	5,13	4,82	4,72	5,04	4,93
80 SFT	4,94	4,80	4,97	4,93	5,03	4,84	4,92
Média	4,88	4,83	5,07	4,75	4,93	4,85	4,88
-----10-20 cm-----							
0	4,50	4,53	4,53	4,69	4,46	4,56	4,54
80 FNA	4,82	4,83	4,69	4,54	4,43	4,65	4,66
80 SFT	4,48	4,55	4,52	4,49	4,61	4,68	4,53
Média	4,60	4,64	4,58	4,57	4,50	4,63	4,59
-----20-40 cm-----							
0	4,22	4,33	4,16	4,58	4,20	4,23	4,28
80 FNA	4,46	4,45	4,44	4,30	4,31	4,26	4,37
80 SFT	4,22	4,25	4,31	4,40	4,27	4,39	4,31
Média	4,30	4,34	4,30	4,43	4,26	4,29	4,32

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.6.2 Após a colheita da soja

O pH obtido em solução de CaCl_2 nas camadas estudadas não apresentou diferença significativa entre as fontes de P aplicadas e nem entre as combinações. Observa-se que os valores médios de pH são maiores na superfície e estes diminuem com a profundidade (Quadro 26) semelhantemente a avaliação após a dessecação do milheto.

Quadro 26. Valores médios de pH em solução de CaCl_2 nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

Fósforo kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	pH em solução de CaCl ₂						Média
	Combinções SFT/FNA (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)						
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----0-5 cm-----							
0	4,92 bB	5,20 AB	5,52 A	5,65 A	5,22 abAB	5,63 aA	5,32
80 FNA	5,77 aA	5,11 B	5,13 B	5,26 B	4,99 bB	5,02 bB	5,21
80 SFT	4,88 bB	5,16 AB	5,29 AB	5,37 A	5,48 aA	5,23 abAB	5,23
Média	5,19	5,16	5,31	5,43	5,23	5,29	5,27
-----5-10 cm-----							
0	4,78	4,63	5,02	5,40	4,78	5,00	4,94
80 FNA	5,26	4,62	4,62	4,99	4,72	4,67	4,81
80 SFT	4,86	4,74	4,69	4,88	5,21	4,71	4,85
Média	4,97	4,66	4,78	5,09	4,90	4,79	4,87
-----10-20 cm-----							
0	4,50	4,74	4,76	5,19	4,71	4,56	4,74
80 FNA	4,95	4,44	4,63	4,92	4,66	4,43	4,67
80 SFT	4,48	4,65	4,71	4,49	4,82	4,95	4,68
Média	4,64	4,61	4,70	4,87	4,73	4,65	4,70
-----20-40 cm-----							
0	4,18	4,37	4,40	4,78	4,42	4,35	4,42
80 FNA	4,73	4,22	4,43	4,52	4,28	4,25	4,40
80 SFT	4,32	4,35	4,41	4,31	4,64	4,21	4,37
Média	4,41	4,31	4,41	4,53	4,45	4,27	4,40

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Houve interação significativa entre fontes de P e combinações somente para a camada 0-5 cm, onde o SFT apresentou valores médios de pH superiores na medida que se aumentou à proporção deste fosfato na semeadura da soja.

Para o FNA, os valores médios de pH foram inferiores à medida que se aumentou a quantidade de SFT na mistura, sendo significativamente superior quando da utilização isolada no triticale e na soja. Na ausência de adubação fosfatada, ainda para camada de 0-5 cm, à medida que se aumenta a quantidade de SFT na combinação, há influência sobre o pH do solo, sendo significativa a diferença entre o tratamento só com FNA. Valores de pH menores quando da aplicação de SFT são relacionados ao caráter mais ácido desta fonte, com pH ao redor de 3, proporcionando abaixamento do pH do solo.

6.7. Matéria orgânica

A matéria orgânica influencia diretamente no teor de fósforo orgânico, sendo mais elevado quanto maior for o teor de matéria orgânico. Solos sob semeadura direta com altos incrementos de matéria orgânica pela deposição superficial de restos culturais, principalmente os de relação C/N alta, de baixa decomposição, apresentam altos teores de fósforo orgânico.

6.7.1. Após a dessecação do milheto

A matéria orgânica do solo avaliada após a dessecação do milheto não apresentou diferença significativa entre as fontes de P para todas as camadas estudadas. Mostrou-se maior na superfície com média de 14 g dm^{-3} e de 9 g dm^{-3} em subsuperfície (20-40 cm).

Fato interessante pode ser observado na camada de 20-40 cm, onde a ausência de adubação fosfatada no triticale apresentou valores de matéria orgânica superior as fontes de P aplicadas, sendo significativa a diferença nas combinações 00/80, 16/64 e 48/32. Além disso, observa-se que nas combinações 32/48, 64/16 e 80/00 o FNA foi significativamente superior ao SFT. Desta forma, a adubação com FNA isoladamente ou em quantidades decrescentes de FNA nas combinações, promoveram maiores teores de matéria orgânica em profundidade, possivelmente pelo maior crescimento radicular.

Quadro 27. Valores médios de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a dessecação da cultura do milho.

kg P₂O₅ ha⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P₂O₅ ha⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Matéria orgânica (g dm⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	11 b	12 b	14	13	11 b	12	12
80 FNA	14 a	14 ab	15	15	13 a	14	14
80 SFT	15 a	16 a	13	13	14 a	14	14
Média	13	14	14	14	13	14	14
-----5-10 cm-----							
0	11	10	11	11	10	11	11
80 FNA	11	10	11	11	11	11	11
80 SFT	11	13	17	9	11	12	12
Média	11	11	13	10	11	11	11
-----10-20 cm-----							
0	10	10	10	11	10	10	10
80 FNA	10	10	10	10	9	10	10
80 SFT	10	11	10	9	10	10	10
Média	10	10	10	10	10	10	10
-----20-40 cm-----							
0	10 a	10 a	9 a	10 a	9 a	10 a	10
80 FNA	8 bB	8 bB	9 aAB	8 bB	9 aAB	10 aA	9
80 SFT	7 b	8 b	7 b	8 b	8 b	7 b	7
Média	8	9	8	9	9	9	9

As médias seguidas por letras minúsculas distintas na vertical e maiúscula na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.7.2 Após a colheita da soja

Após a colheita da soja os valores médios de matéria orgânica se mantiveram, exceto para a camada superficial que teve leve incremento de 14 para 15 g dm⁻³. Semelhante à primeira avaliação não houve diferença significativa entre as fontes de P e entre as combinações para as camadas estudadas (Quadro 28). Somente houve interação para o tratamento FNA, pois este foi significativamente superior à medida que se aumentou a quantidade deste na combinação.

Quadro 28. Valores médios de matéria orgânica do solo nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm referente à avaliação imediatamente após a colheita da soja.

kg P₂O₅ ha⁻¹	-----Combinações SFT/FNA (kg P₂O₅ ha⁻¹)-----						Média
	00/80	16/64	32/48	48/32	64/16	80/00	
-----Matéria orgânica (g dm⁻³)-----							
-----0-5 cm-----							
0	14	14	14	15	15	14	15
80 FNA	16	15	16	14	14	14	15
80 SFT	14	15	14	15	14	14	14
Média	14	15	15	15	14	14	15
-----5-10 cm-----							
0	10	11	11	12	11	11	11
80 FNA	13 AB	14 A	10 C	11 BC	11 BC	10 C	11
80 SFT	10	11	10	11	10	9	10
Média	11	12	10	11	11	10	11
-----10-20 cm-----							
0	9	11	9	9	9	8	9
80 FNA	9	9	11	9	10	9	9
80 SFT	11	10	9	10	9	9	10
Média	10	10	10	9	10	9	10
-----20-40 cm-----							
0	9	9	8	10	8	8	9
80 FNA	8	9	9	9	9	9	9
80 SFT	9	8	9	9	8	9	9
Média	9	9	9	9	9	9	9

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Com o aumento e estabilização dos estoques de matéria orgânica do solo, é bastante provável que haja um uso mais eficiente de P pelas plantas, em função do bloqueio de sítios inorgânicos de adsorção de P por moléculas orgânicas A, da saturação desses mesmos sítios em função da aplicação superficial de fertilizantes e da maior presença nas áreas de SSD de formas mais lábeis (SELLES et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2002). Segundo Thomas (1986), as razões para a eficiência da aplicação superficial de P são atribuídas ao maior teor de água, necessário para a difusão de P na camada superficial do solo e também porque, havendo maior teor de matéria orgânica nessa camada, haverá menor atividade de Al³⁺, além do P ligado ao Al nessa matéria orgânica ser mais solúvel que o P ligado a colóides do solo.

6.8 Avaliações após milho x após colheita da soja

6.8.1 Fósforo orgânico

O teor de fósforo orgânico para as fontes de P mantiveram-se semelhantes entre as épocas de avaliação para as camadas de 0-5 e 5-10 cm. Nas camadas de 10-20 e 20-40 cm houve diferença significativa entre as épocas de avaliação, onde a segunda avaliação, após a colheita da soja, o teor de fósforo orgânico foi superior em todos os tratamentos em relação a avaliação após a cultura do milho, exceto para camada 20-40 cm e FNA, que não foi significativa à diferença (Quadro 29).

Quadro 29. Comparativo entre o fósforo orgânico médio obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milho	Após Soja
	-----Fósforo orgânico (mg dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	104,8	121,3
80 FNA	123,7	115,1
80 SFT	133,4	117,2
	-----5-10 cm-----	
0	106,2	110,6
80 FNA	107,9	111,0
80 SFT	95,4	107,1
	-----10-20 cm-----	
0	89,7 B	109,3 A
80 FNA	89,2 B	113,5 A
80 SFT	85,7 B	106,2 A
	-----20-40 cm-----	
0	88,9 B	112,5 A
80 FNA	87,4 A	101,0 A
80 SFT	82,1 B	109,3 A

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

As frações de fósforo orgânico foram variáveis com as épocas de avaliação, mas de forma geral, após o cultivo da soja os valores foram significativamente superiores na camada abaixo de 10 cm. Isto pode ser explicado, em parte, pela decomposição

do sistema radicular do milheto. Assim, através da mineralização e ação de ácidos provenientes desse processo competindo por sítios de adsorção no solo (FRANCHINI et al, 1999; RYAN & DELHAIZE, 2001), provavelmente com o tempo proporcionará maior disponibilidade de formas disponíveis em profundidade. Todavia, houve decréscimo em profundidade, fato este que pode ser causado pelas aplicações anuais de fosfatos na superfície do solo, pelo retorno do P absorvido pelas plantas para a superfície através da deposição dos resíduos vegetais sobre o solo, o que também está de acordo com Cosgrove (1977).

Contudo, esse fato, provavelmente, também decorre do efeito inibidor que os compostos orgânicos tem sobre o processo de cristalização de oxi-hidróxidos de Fe (SCHWERTMANN et al., 1986) e de Al (HUANG & VIOLANTE, 1986), favorecendo a formação de formas microcristalinas de elevada superfície específica. Tais superfícies tem elevada capacidade de retenção de P, mas, ao mesmo tempo, vários compostos orgânicos competem com o ânion ortofosfato pelos sítios de adsorção (LOPES-HERNANDEZ et al., 1986).

Além dos aumentos significativos obtidos por diversos autores nos teores de P-orgânico em superfície em semeadura direta, em longo prazo, parece que em curto prazo, este é influenciado significativamente nas profundidades abaixo de 10 cm pelo cultivo, demonstrando que após o cultivo da soja há aumento desta forma de P em profundidade.

6.8.2 Fósforo solúvel em água

Na camada superficial, 0-5 cm, a avaliação após o milheto apresentou teores de P-solúvel superior estatisticamente à avaliação após a colheita da soja. Para a camada de 5-10 cm não houve diferença entre as épocas avaliadas. Nas camadas subsuperficiais (10-20 e 20-40 cm) os teores de P-solúvel em água apresentaram-se significativamente superiores na avaliação após a colheita da soja (Quadro 30).

Entre as épocas de avaliação observou-se um aumento da fração inorgânica lábil, principalmente em profundidade, porém de caráter transitório, pois segundo Lilienfein et al., (2000) esta forma se transforma lentamente em formas menos disponíveis com o tempo. O aumento, ou seja, a melhor distribuição de P solúvel no perfil do solo pode ser devido ao aumento na contribuição do P orgânico (RHEINHEIMER et al., 1998), em

função de uma possível maior mobilidade de P orgânico no perfil (OLIVEIRA et al., 2002) proveniente da decomposição do sistema radicular do milheto.

Quadro 30. Comparativo entre o fósforo solúvel em água obtido após a dessecação do milheto e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milheto	Após Soja
	-----Fósforo solúvel em água (mg dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	12,0 A	1,4 B
80 FNA	11,8 A	2,1 B
80 SFT	10,1 A	3,0 B
	-----5-10 cm-----	
0	6,6	2,9
80 FNA	7,6	3,3
80 SFT	8,7	4,5
	-----10-20 cm-----	
0	0,0 B	2,2 A
80 FNA	0,0 B	2,5 A
80 SFT	0,0 B	3,0 A
	-----20-40 cm-----	
0	0,0 B	2,2 A
80 FNA	0,0 B	2,6 A
80 SFT	0,0 B	2,4 A

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

Na primeira avaliação, o teor médio de fósforo solúvel em água foi nulo nas profundidades abaixo de 10 cm. Estes resultados já eram esperados, em função da aplicação superficial de adubos fosfatados e, principalmente em função da dinâmica da palha acumulada sobre o solo, que pode liberar o nutriente de acordo com sua degradação. Segundo Tokura et al. (2002), em estudo sobre formas de P no solo, obteve resultados em que os valores de P-inorgânico foram inferiores em áreas não cultivadas, nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, em três classes de solos, sendo que as diferenças entre locais cultivados e não cultivados foram atribuídas ao tempo, ao sistema de cultivo e as classes de solo.

Após a colheita da soja, na média dos tratamentos, apareceu algum P nesta forma até 40 cm de profundidade, demonstrando que o cultivo da soja, assim como o tempo, teve efeito nas formas de P em profundidade.

6.8.3 Fósforo ligado ao ferro

O fósforo ligado ao ferro não foi influenciado pela aplicação da adubação fosfatada, exceto para SFT na camada 5-10 cm, sendo significativa a diferença entre as épocas de avaliação (Quadro 31).

Resultados contrários foram obtidos sob efeito residual por Galvani et al. (2004), onde em avaliação antes da semeadura da soja obtiveram resultados superiores de P-Fe em relação à área fora do experimento, já na colheita da soja, observaram valores superiores a área não cultivada, demonstrando a importância do cultivo na dinâmica das formas de P do solo.

Quadro 31. Comparativo entre o fósforo ligado ao ferro obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milheto	Após Soja
	-----Fósforo ligado ao ferro (mg dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	24,5	27,5
80 FNA	28,6	33,3
80 SFT	29,9	39,6
	-----5-10 cm-----	
0	21,2	29,4
80 FNA	21,4	28,3
80 SFT	20,0 B	40,1 A
	-----10-20 cm-----	
0	31,8	25,4
80 FNA	28,4	28,9
80 SFT	32,1	32,0
	-----20-40 cm-----	
0	26,3	24,6
80 FNA	24,1	27,7
80 SFT	27,2	30,4

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.8.4 Fósforo ligado ao cálcio

Os teores de P-Ca apresentaram diferenças significativas entre as épocas de avaliações. Para a camada de 0-5 cm não houve diferença entre épocas para o tratamento com SFT, por outro lado, o FNA e ausência de adubação fosfatada apresentaram teores significativamente maiores na segunda avaliação (Quadro 32). Tal fato pode ser explicado pela adição de Ca da fonte fosfato natural reativo.

Na camada de 5-10 cm, a segunda avaliação foi significativamente superior a primeira em todos os tratamentos. Referente a camada de 10-20 cm houve diferença significativa somente para o SFT. A camada de 20-40 cm apresentou diferença significativa somente para o FNA, sendo superior na segunda avaliação.

Quadro 32. Comparativo entre o fósforo ligado ao cálcio obtido após a dessecação do milheto e após a colheita da soja.

Fósforo kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Após Milheto	Após Soja
	-----Fósforo ligado ao cálcio (mg dm ⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	21,7 B	43,5 A
80 FNA	22,7 B	73,8 A
80 SFT	24,6	36,2
	-----5-10 cm-----	
0	12,0 B	55,3 A
80 FNA	13,4 B	96,2 A
80 SFT	11,5 B	73,7 A
	-----10-20 cm-----	
0	24,5	23,2
80 FNA	23,2	35,5
80 SFT	25,4 B	59,3 A
	-----20-40 cm-----	
0	16,5	23,2
80 FNA	18,2 B	24,3 A
80 SFT	16,9	22,0

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

As condições apresentadas quanto ao melhor condicionamento químico do solo, principalmente com a elevação do teor de Ca no solo pela aplicação de

insumos na semeadura proporcionaram esses resultados. Porém, diferentemente do ocorrido para o P-Fe, quando das análises realizadas na colheita da soja, os teores de P-Ca, foram superiores a avaliação antes da semeadura da soja, demonstrando o efeito da adubação fosfatada e o cultivo na dinâmica de P do solo.

6.8.5 Fósforo ocluso

O teor de fósforo ocluso apresentou superioridade significativa para a primeira avaliação em relação à segunda para as camadas de 0-5 e 5-10 cm. Na camada de 10-20 cm não houve diferença significativa entre as épocas estudadas (Quadro 33).

Ainda no quadro 33, observa-se que na camada de 20-40 cm a segunda avaliação apresentou diferença significativa favorável em relação à primeira, exceto na ausência de adubação fosfatada, a qual não foi diferente entre si.

No quadro 33 observa-se que o fósforo ocluso diminuiu nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, permaneceu semelhante de 10-20 cm e aumentou na profundidade de 20-40 cm quando da aplicação de ambos os fosfatos. Assim, podemos dizer que o fósforo que não é exportado pelas colheitas permanece no solo em formas potencialmente disponíveis, uma vez que as perdas por erosão são pequenas e os sítios de adsorção de fosfatos com maior energia já estão saturados, exceto para a profundidade abaixo de 20 cm. Portanto, sistemas que envolvem culturas que não exportam grãos e com maior habilidade de reciclagem de fósforo, como, por exemplo, o milheto, pode aumentar a percentagem de recuperação dos fertilizantes fosfatados aplicados.

O teor de P-occluso foi superior nas camadas superficiais antes da semeadura da soja. Quando da análise de resultados obtidos após a colheita da soja, foram observados maiores teores de P-occluso na camada 20-40 cm, nos tratamentos que receberam fosfato, enquanto que, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade, os menores teores de P-occluso foram encontrados após a colheita da soja. Este fato pode ser explicado pelo cultivo da soja e aplicação sucessiva de fertilizantes fosfatados com o decorrer do tempo, aumentando o teor de P e alterando suas formas no solo.

Quadro 33. Comparativo entre fósforo ocluso obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milheto	Após Soja
	-----Fósforo ocluso (mg dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	87,2 A	45,9 B
80 FNA	89,4 A	42,4 B
80 SFT	84,1 A	36,7 B
	-----5-10 cm-----	
0	87,4 A	40,9 B
80 FNA	89,1 A	44,1 B
80 SFT	88,4 A	49,1 B
	-----10-20 cm-----	
0	76,4	52,6
80 FNA	61,9	62,1
80 SFT	63,9	50,3
	-----20-40 cm-----	
0	48,8 A	72,5 A
80 FNA	44,5 B	99,2 A
80 SFT	41,7 B	94,4 A

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

6.8.6 Fósforo total

O teor de fósforo total não foi alterado pelos tratamentos na camada de 0-5 cm após as avaliações na cultura do milho e soja. Nas demais camadas estudadas houve aumento significativo nos teores de fósforo total, exceto na ausência de adubação fosfatada nas camadas 5-10 e 10-20 cm.

No SSD, os fertilizantes aplicados em superfície do solo sem a posterior incorporação, tem aumentado grandemente os teores de P total na camada superficial. No entanto, o aumento nas formas orgânicas não acompanha o rápido incremento no P total (SELLES et al., 1997; RHEINHEIMER et al., 1998). Também, tem-se observado que podem ocorrer aumentos nos teores de C e N total sem alterar os teores de P orgânico (KINGERY et al., 1996). Isto indica que a ciclagem de P é menos eficiente do que a do N e do C, pois sofre reações de adsorção, e é mineralizado preferencialmente, o que resulta em acúmulo pronunciado de P inorgânico na camada superficial. Kuniski et al. (1982), também

constatarem que o P adicionado na superfície permaneceu como fosfato de Ca, tornando-se menos adsorvido pelos colóides do solo sob SSD por três anos.

Quadro 34. Comparativo entre o fósforo total obtido após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milho	Após Soja
	-----Fósforo total (mg dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	250,4	230,1
80 FNA	276,5	266,6
80 SFT	281,7	241,7
	-----5-10 cm-----	
0	233,2 A	239,5 A
80 FNA	239,5 B	282,9 A
80 SFT	223,7 B	274,4 A
	-----10-20 cm-----	
0	222,7 A	212,4 A
80 FNA	202,5 B	242,0 A
80 SFT	207,4 B	250,6 A
	-----20-40 cm-----	
0	180,6 B	235,5 A
80 FNA	173,8 B	255,8 A
80 SFT	163,8 B	258,2 A

As médias seguidas por letras distintas maiúsculas na horizontal diferem entre si estatisticamente pelo teste LSD a 5% de probabilidade.

A aplicação de fósforo na linha de semeadura da soja e a dissolução deste pode saturar o solo da região próxima a linha de deposição do fertilizante, pelos produtos da reação solo-fertilizante, diminuindo a energia de ligação do fosfato com os colóides do solo. Além disso, os teores de matéria orgânica são mais elevados, cujas substâncias húmicas, ou mesmo ácidos orgânicos de baixa massa molecular, podem auxiliar na diminuição dos sítios de adsorção e da energia de ligação fosfato-solo.

De modo geral, houve significativa diferença no teor de P total entre as épocas de avaliação, aumentando com a profundidade. Por outro lado, os maiores valores de P total foram encontrados nas camadas superficiais, para ambas as épocas, o que provavelmente ocorre por causa da manutenção do teor de matéria orgânica (Quadro 36) e ao conseqüente aumento da adsorção de P nas formas lábeis (Quadro 30) e pouco lábeis (Quadros 31 e 32)

nesta profundidade (SILVA et al., 1997). Este fato pode ser explicado pelo cultivo da soja e aplicação sucessiva de fertilizantes fosfatados com o decorrer do tempo, aumentando o teor de P e alterando suas formas no solo. Pode-se observar que no tempo decorrido entre as duas amostragens houve aumento significativo do P-total no solo nos tratamentos que receberam fosfato, inclusive para ausência de P no triticle para a profundidade de 20-40 cm, demonstrando a importância do cultivo na dinâmica de P do solo.

Neste sistema, os valores de P-total serão maiores com o decorrer do tempo e provavelmente ocorra aumento do retorno dos nutrientes ao solo, favorecendo a atividade dos microrganismos e, conseqüentemente, a mineralização do P orgânico. Assim, os fatores intemperismo do solo e presença de plantas parecem ser mais importantes na dinâmica de P que a própria adubação fosfatada.

6.8.7. Acidez do Solo

A acidez do solo não apresentou diferença significativa entre as épocas estudadas, nem para as profundidades e tratamentos aplicados (Quadro 35).

Quadro 35. Comparativo da acidez do solo obtida após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Acidez do solo (pH em solução de CaCl ₂)	
	Após Milho	Após Soja
-----0-5 cm-----		
0	5,30	5,32
80 FNA	5,41	5,21
80 SFT	5,36	5,23
-----5-10 cm-----		
0	4,81	4,94
80 FNA	4,93	4,81
80 SFT	4,92	4,85
-----10-20 cm-----		
0	4,54	4,74
80 FNA	4,66	4,67
80 SFT	4,53	4,68
-----20-40 cm-----		
0	4,28	4,42
80 FNA	4,37	4,40
80 SFT	4,31	4,37

Tal situação pode ser explicada, em parte, pelo não incremento significativo de matéria orgânica (Quadro 36), o que poderia reduzir a acidez, visto que o sistema não recebe calagem desde sua implantação (safra 1998/1999).

6.8.8. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica não se alterou significativamente após o cultivo da soja, porém mostrou leve incremento nos teores de matéria orgânica na camada superficial.

A razão do não acréscimo no teor de matéria orgânica se deve as altas temperaturas e precipitações que ocorrem nesta região, acelerando as taxas de decomposição, visto que em condições secas de inverno e início de primavera não possibilitam uma ótima produtividade de matéria seca das plantas, principalmente do milho. Mormente, Machado & Silva (2001) relatam que o aumento da matéria orgânica geralmente não ocorre nos primeiros anos de adoção de SSD, mas sim, após 6 ou 7 anos de início do sistema.

Quadro 36. Comparativo entre a matéria orgânica do solo obtida após a dessecação do milho e após a colheita da soja.

Fósforo kg P₂O₅ ha⁻¹	Após Milheto	Após Soja
	-----Matéria orgânica do solo (g dm⁻³)-----	
	-----0-5 cm-----	
0	12	15
80 FNA	14	15
80 SFT	14	14
	-----5-10 cm-----	
0	11	11
80 FNA	11	11
80 SFT	12	10
	-----10-20 cm-----	
0	10	9
80 FNA	10	9
80 SFT	10	10
	-----20-40 cm-----	
0	10	9
80 FNA	9	9
80 SFT	7	9

Quando ocorre a alteração no teor de matéria orgânica, tanto em quantidade como em qualidade, tem implicações graduais nas alterações do pH, toxidez de Al, na dinâmica do N, do P e S. Muzilli (1983), Sidiras & Pavan (1985), em trabalho conduzido no Sul do Brasil, região de clima temperado, observaram aumentos significativos no teor de matéria orgânica na camada de 0-5 cm somente após 5 anos de adoção de SSD. Provavelmente, para condições como esta, clima subtropical, resultados semelhantes ocorram após 8-10 anos de início do sistema. Sá (1995) observou em Latossolo Roxo e Terra Roxa estruturada do Estado do Paraná aumentos significativos na camada de 0-20 cm após 4 anos de adoção de SSD. Ainda no norte de Paraná, foi observado que após 15 anos de SSD ocorreu aumento de 27% no teor de matéria orgânica na camada de 0 a 10 cm.

No Sul do Brasil, em termos gerais, tem-se observado um aumento no teor de matéria orgânica de 0,5 a 1,5% na camada de 0 a 10 cm em cerca de 10 anos (LOPES et al., 2005).

7. CONCLUSÕES

- A adubação fosfatada na linha de semeadura da soja promoveu uma distribuição mais uniforme no perfil do solo da fração de P solúvel em água, comparado a aplicação a lanço na cultura do triticales.
- O cultivo da soja fez que fossem diminuídos os teores de P-ocluso em superfície e aumentados os teores de P orgânico e P-total no perfil do solo.
- O fracionamento propiciou constatar que após o cultivo da soja, as formas de P não-lábil (P-ocluso) em relação ao P total tendem a diminuir, sendo acompanhadas por aumento das formas lábeis (P-solúvel em água) e pouco lábeis (P-Fe e P-Ca).
- O fracionamento de P mostrou que após o cultivo e a decomposição dos resíduos vegetais de soja há melhor distribuição de P no perfil do solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEPTU, J.A. & COREY, R.B. Changes in N and P availability and P fractions in two soils from Nigeria under intensive cultivation. **Plant and Soil**, v.46, p.309-316, 1977.

AE, N., ARIHARA, J.; OKADA, K.; YOSHIHARA, T.; JOHANSEN, C. Phosphorus uptake by pigeon pea and its role in cropping systems of the Indian subcontinent. **Soil Science**, Baltimore, v.248, p.477-480, 1990.

AFIF, E.; BARRÓN, V. & TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.159, p.207-211, 1995.

AGUILAR, S. A.; VAN DIEST, A. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. **Plant and Soil**, The Hague, v.61, p.27-42, 1981.

ALVES, G. L. N. **Micorriza vesicular-arbusculares no crescimento e utilização do fósforo do solo pela braquiária e estilósantes**. 1988. 42 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na Região Nordeste, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.4, p.643-650, 1997.

ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.G.R. & SAMPAIO, E.V.S.B. Frações de fósforo após extrações com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.259-268, 2004.

BAHIA FILHO, A.F.C; BRAGA, J.M. Fósforo em latossolo do estado de Minas gerais-II: quantidade de fósforo disponível. **Revista Ceres**, Viçosa, v.22, n.119, p.50-61, 1975.

BAHIA FILHO, A.F.C; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.221-226, 1983.

BARBOSA FILHO, M. P.; KINJO, T. & MURAOKA, T. Relações fósforo extraível, frações inorgânicas de fósforo e crescimento do arroz em função de fontes de fósforo, calagem e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, p.147-155, 1987.

BAYER & MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (ed.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.

BECHE, B.N. Aluminium and iron phosphate studies relating to soil. I. Solution and hydrolysis of variscite and strengite. **Journal Soil Science.**, v.14, p. 113-123, 1963.

BECK, M.A. & SANCHES, A.P. Soil phosphorus fraction dynamic during 18 years of cultivation on a typic Paleudult. **Soil Science**, v.54, p.1424-1431, 1994.

BEKELE, T.; CINO, B. J.; EHLERT, P. A.I.; VAN DER MAAS, A. A.; VAN DIEST, A. An evaluation of plant-borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. **Plant and Soil**, The Hague, v.75, p.361-378, 1983.

BHATTI, J.S.; COMEFORD, N.B. & JOHNSTON, C.T. Influence of oxalate and soil organic matter on sorption and desorption of phosphate onto a Spodic horizon. **Soil Science Society of America Journal**, v.62, p.1089-1095, 1998.

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

BRAUM, S.M., HELMKE, P.A. White lupine utilizes soil phosphorus that is unavailable to soybean. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.176, p.95-100, 1995.

CAIRES, E.F. Manejo da fertilidade do solo nos sistema plantio direto: experiências no Estado do Paraná. In: FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000 (CD ROM).

CARNEIRO, R. G.; MENDES, I. C.; LOVATO, P. E.; CARVALHO, A. M.; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.661-669, 2004.

CASSIOLATO, M.E.; MEDA, A.R.; PAVAN, M.A.; OLIVERIRA, E.L. de & MIYAZAWA, M. **Avaliação da eficiência de resíduos vegetais na solubilidade e reatividade de fosfatos na absorção pela plantas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999 (CD-ROM).

CATANI, R.A. & BATAGLIA, O.C. Formas de ocorrência do fósforo no solo latosólico roxo. In: **Anais...** E.S.A. "Luiz de Queiroz", Vol. XXV, p.99-119, 1968.

CHANG, S. C.; JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Science**, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144, 1957.

CHIEN, S.H.; HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potencial of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of America Journal**, v.42, p.935-939, 1978.

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.

CHOUDHARY, M.; PECK, T.R.; PAUL, L.E.; BAILEY, L.D. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. **Canadian Journal of Plant Science**, v.74, p.303-310, 1994.

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

CONDRON, L.M.; MOIR, J.O.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Critical evaluation of methods for determining total organic phosphorus in tropical soils. **Soil Science of America Journal**, Madison, v.54, p.1261-1266, 1990.

CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Formas de acumulação de fósforo em solo no sistema de plantio direto com aplicações crescentes de fertilizante fosfatado. In: FERTBIO 2000, Santa Maria, 2000 (CD ROM).

COSGROVE, D.J. Microbial transformations in the phosphorus cycle. In: ALEXANDRE, M. (ed.). **Advances in microbial ecology**. New York: Plenum, v.1, p.95-135, 1977.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, v.64, n.3/4, p.197-214, 1995.

DAMODAR REDDY, D.; SUBBA RAO, A. & SINGH, M. Crop residue addition effects on myriad forms and sorption of phosphorus in a Vertisol. **Bioresource Technology**, v.80, p.93-99, 2001.

DE MARIA, I. C., CASTRO, O. M. de. Fósforo, potássio e matéria orgânica em um LATOSSOLO ROXO, sob sistemas de manejo com milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.471-7, 1993.

DAROUB, S.H.; PIERCE, F.J.; ELLIS, B.G. Phosphorus fractions and fate of phosphorus-33 in soils under plowing and no tillage. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.1, p.170-176, 2000.

EIRA, A. F. Solubilização microbiana dos fosfatos. **In: Microbiologia do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, Brasil, 1992.

EMBRAPA. **Avaliação agronômica de fontes alternativas de fósforo em solo de cerrado**. Morel Pereira Barbosa Filho, Nand Kumar Fageria e Fernando Maida Dall'Acqua. Goiânia, 1983. 12 p. (Documentos, 7).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. Rio de Janeiro-RJ. EMBRAPA SOLOS, 1999. 412 p.

ESTEVES, J. A. de F. **Substituição de fosfato solúvel por reativo em soja cultivada em semeadura direta em função de níveis de fósforo e modo de aplicação**. Botucatu, 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. 2004.

FARDEAU, J. C. Dynamics of phosphate in soils. Na isotopic outlook. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.45, p.91-100, 1996.

FASSBENDER, H.W. **Química de Suelos**. Turrialba, IICA, 1975. 398p.

FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A.E. e CURI, N. Formas de fósforo em solos de várzea e biodisponibilidade para o feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.373-383, 2002.

FERNANDEZ, I.E.J. **Reversibilidade de fósforo não-lábil em diferentes solos, em condições naturais e quando submetidos à redução microbiológica ou química**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 94p. (Tese de Doutorado).

FOTYMA, M.; HAMMOND, L.; KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v.43, p.83-86, 1996.

FRANCHINI, J.C. MALAVOLTA, E. MIYAZAWA, M. PAVAN, M.A. Chemical changes in acid soils after application of plant residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.533-542, 1999.

GAHOONIA, T.S., CARE, D., NIELSEN, N.E. Root hairs and acquisition of phosphorus by wheat and barley cultivars. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.191, p.181-188, 1997.

GALVANI, R.; ROSOLEM, C.A.; ESTEVES, J.A.F. & HOTTA, L.F.K. Formas de fósforo no solo cultivado com soja adubada com duas fontes de fósforo em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, (No prelo) 2004.

GARDNER, W. K.; BARBER, D. A.; PARBERRY, D. G. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.70, p.107-124, 1983.

GAZZIERO, D.L.P. **Controle de plantas daninhas no plantio direto**. In: Plantio direto no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 124 p.

GEELHOED, J.S.; van RIEMSDIJK, W.H. & FINDENEGG, G.R. Simulation of the effect of citrate exudation from roots on the plant availability of phosphate adsorbed on goethite. **European Journal Soil Science**, v.50, p.379-390, 1999.

GILLESPIE, A.R.; POPE, P.E. Rhizosphere acidification increases phosphorus recovery of Black Locust – II: model predictions and measured recovery. **Soil Science Society of American Journal**, v.54, p.538-541, 1990.

GOEDERT, W. J., LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.15, nº3, p.311-318, 1980.

GOEDERT, W.J. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina, EMBRAPA – CPAC, 1986. 21 p. (Documentos, 24).

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. Uso eficiente de fertilizantes fosfatados. In: Seminário Fósforo, Cálcio, Magnésio, Enxofre E Micronutrientes – Situação Atual e Perspectivas na Agricultura, 1, 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: MANAH S/A, 1986. p.21-53.

GOEPFERT, C.F.; TEDESCO, A. Efeito de fontes, níveis de fósforo e granulometria de fosfatos naturais sobre o rendimento de grãos de colza e de soja. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, p.53-59, 1986.

GONÇALVES, J.L.M.; FIRME, D.J.; NOVAIS, R.F. & RIBEIRO, A.C. Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p. 107-111, 1985.

GREMILLION, L. R., McCLELLAN, G. H. Evaluation of phosphatic raw materials. In: Khasawneh, F. E.; Sample, E.C.; Kamprath, E.J. (eds) *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, **American Society Agronomy**, p.43-80, 1980.

GUERRA, J.G.M. **Produção sazonal de Brachiaria decumbens STAPF. conteúdo de fósforo orgânico e microbiano em solos tropicais de baixa fertilidade natural**. Rio de Janeiro, 1993. 234 p. (Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro).

GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.de; SANTOS, G.A.; FERNANDES, M.S. Conteúdo de fósforo orgânico em amostras de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.4, p.291-299, 1996.

GUO, F.; YOST, R.S. Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n.10, p.822-833, 1998.

HASS, F. D. **Aspectos básicos de fertilidade sob plantio direto**. In: Fertilidade do solo em plantio direto - Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo sob plantio direto. Cruz Alta - RS. p.19-31, 1999.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil plant system. **Advances in Agronomy**, v.37, p.249-315, 1984.

HEDLEY, M. J.; STEWART, J. W. B.; GHANUHAN, B. S. Changes in inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, n.4, p.970-976, 1982.

HOFFLAND, E.; FINDENEGG, G.R.; NELEMANS, J.A. Solubilization of rock phosphate by rape. I. Evaluation of the role of the nutrient uptake pattern. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.113, p.155-160, 1989.

HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência de dois fosfatos naturais afetada pelo tamanho de partícula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.41-47, 2003.

HU, H.Q.; HE, J.Z.; LI, X.Y. e LIU, F. Effect of several organic acids on phosphate adsorption by variable charge soils of central China. **Environment International**, v.26, p.353-358, 2001.

HUANG, P.M. & VIOLANT, A. Influence of organic acids on crystallization and surface properties of precipitation products of aluminium In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M., eds. Interaction of soil minerals with natural organics and microbes. Madison, **Soil Science Society of America Journal**, Wisconsin, 1986. p.159-221. (SSSA Special Publication, 17).

HUE, N.V.; CRADDOCK, G.R. & ADAMS, F. Effect of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. **Soil Science Society of America Journal**, Wisconsin, v.50, p.28-34, 1986.

HSU, P.H. Aluminium oxides and oxyhydroxids. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (ed.) **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, p.99-144, 1977.

JAYACHANDRAN, K.; SCHWAB, A.P.; HETRICK, B.A.D. Mycorrhizal mediation of phosphorus availability: synthetic iron chelate effects on phosphorus solubilization. **Soil Science Society American Journal**, Wisconsin, v.53, p.1701-1706, 1989.

KAMINSKI, J. **Efeito de cinco fosfatos pré -, com - e pós - aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo em três solos ácidos**. ESALQ - USP, Piracicaba, 1983. 126 p. (Tese de Doutorado).

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

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 181p. (Tese de Doutorado).

KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, New York, v.30, p.159-206, 1978.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 262p. 1979.

KINGERY, W. L.; WOOD, C. W.; WILLIAMS, J.C. Tillage and amendment effects on soil carbon and nitrogen mineralization and phosphorus release. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.37, n.4, p. 239-250, 1996.

KIRK, G.J.D. A model of phosphate solubilization by organic anion excretion from plant roots. **European Journal Soil Science**, v.50, p.369- 378, 1999.

KIRK, G. J. D.; SANTOS, E. E.; SANTOS, M. B. Phosphate solubilization by organic anion excretion from rice growing in aerobic soil: rates of excretion and decomposition, effects on

rhizosphere pH and effects on phosphate solubility and uptake. **New Phytology**, v.142, p.185-200, 2000.

KORNDÖRFER, G.H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais de fornecerem fósforo para plantas de trigo**. Porto Alegre, 1978. 61p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

KORNDÖRFER, G.H.; CABEZAS, W.A.L.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1997, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.145, 1997.

KUNISHI, H.M.; BANDEL, V.A.; MULFORD, F. R. Measurement of available soil phosphorus under conventional and no-till management. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.13, n.8, p. 607-618, 1982.

LAJTHA, K.; HARRISON, A.F. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plants species and communities. In: TIESEN, H. (Ed.). Phosphorus in the global environment: transfers, cycles and management. **Chichester: John Wiley**, p.139-146, 1995.

LEHR, J.R.; McCLELLAN, G.H. A revised laboratory reactivity scale for evaluating phosphate rocks for direct application. **Muscle Shoals: National Fertilizer Development Center**, TVA, 1972. 36p. (Bulletin Y-43).

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L Agronomic Potencial of Eleven Phosphate Rocks from Brazil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.798-802, 1986.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYRZA, M.A.; VILETLA, L. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under different land use. **Geoderma**, Amsterdam, v.96, n.1/2, p.31-46, 2000.

LOPES, A.S. The use of phosphate rocks to build up soil P and increase food production in acid soils: the brazilian experience. In: **Nutrient Management for Sustainable Food Production in Asia**. Bali: IMPHOS-AARD/CSAR, 1996.

LOPES, A.S.; WIETHOLTER, S. GUILHERME, L.R.G.& SILVA, C.A. **Sistema Plantio Direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. ANDA (Associação Nacional para Difusão de Adubos), São Paulo-SP, 2005, 115p.

LOPEZ HERNANDEZ, D.; SIEGERT, G. & RODRIGUEZ, J.V. Competitive adsorption of phosphate with malate and oxalate by tropical soil. **Soil Science Society America Journal**, v.57, p.1460-1462, 1986.

MACHADO, M. I. C. S.; BRAUNER, J. L.; VIANNA, A. C. T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n. 3, p.331-336, 1993.

MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fraction in set-aside soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.149, n.1, p.111-119, 1993.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba. Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2^a ed., 1997, 319 p.

MARSCHNER, H. Root-induced changes in the availability of micronutrients in the rhizosphere. In: WASEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, p.503-528, 1991.

MARWAHA, B.C. Rock phosphate holds the key to productivity in acid soils – a review. **Fertiliser news**, v.34, n.3, p.23-29, 1989.

McLAUGHILIN, R.R.; RYDEN, J.C. & SYERS, J.R. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum containing components. **Journal Soil Science**, v.32, p.365-377, 1981.

McLAUGHILIN, M.J. DANN, P.R.; JAMES, T.R.; GARDEN, D.L. Glasshouse comparasion of North Carolina phosphate rock, alkalitreated Christmas Island phosphate rock and single superphosphate as P fertilizers on an acidic soil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p.1667-1691, 1992.

MINHONI, M.T.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; EIRA, A.F. Efeito de cinco tipos de matéria orgânica na solubilização microbiana de fosfato de rocha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, p.29-35, 1991.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. POTAFOS, **Informações Agronômicas** (Encarte Técnico), piracicaba, n.92, p.1-8, 2000.

MONTECINOS, C. Manejo biológico del fósforo en el suelo. **Agroecologia y Desarrollo**. Revista de CLADES. Numero Especial 8/9 Noviembre, 1997.

MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analysis Chimical Acta**, v.27, p.31-36, 1962.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, 1983.

MUZILLI, O. Fertilidade do solo em plantio direto. In: FACELLI, A. L.; TORRADO, P. V.; MACHADO, J. (Ed.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, p.147-160, 1985.

NAHAS, E. **Ciclo do fósforo: Transformações microbianas**. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 67p.

NAHAS, E. Microrganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, p.267-275, 2002.

NEPTUNE, A.M.L.; TABATABAI, M.A.; HANWAY, J.J. Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, p.51-55, 1975.

NETTO, A.R. **Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiras**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 144p. (Tese de Mestrado)

NEUMANN, G. & ROMHBELD, V. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.211, p.121-130, 1999.

NEUMANN, G., MASSONNEAU, A., MARTINO, E., ROMHELD, V. Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupine. **Plant and Soil**, v.208, p.373-382, 1999.

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

NOVELINO, J.O. **Disponibilidade de fósforo e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizado com fósforo, avaliada por diferentes métodos de extração**. 1999. 70 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1999.

NUERNBERG, N. J. **Conceitos e Fundamentos do sistema plantio direto**. Lages, SC. NRS - SBCS, 1998, 160 p.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; CANTARUTTI, R.B. & BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, p.393-486, 2002.

OLSEN, S.R. & SOMMER, L.E. Phosphorus. In: PAGE, A. L.; MILLER, R.H. & KEENEY, Q. R., eds. **Methods of soil analysis**, Part 2. Chemical and microbiological properties. 2 ed. Madison, ASA-Soil Science Society America, p.403-430, 1982.

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

PARFITT, R.L. The availability of P from phosphate-goethite binding complexes, desorption and uptake by ryegrass. **Plant and Soil**, v.53, p.55-65, 1979.

PAUL, N.B.; RAO, W.V.B.S. Phosphate-dissolving bacteria in the rhizosphere of some cultivated legumes. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.35, n.1, p.127-132, 1971.

RAIJ, B. V. & QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solos para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim Técnico 81).

RAIJ, B VAN, QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. FERREIRA, M.E. LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. VAN; FEITOSA, C. T.; GROHMANN, F. Eficiência agronômica de fosfatos naturais brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18, 1981. Salvador. **Mesa Redonda sobre adubação fosfatada no Brasil**. CEPLAC, 1981. p.46-67.

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

RAMOS, M. A. **Sistemas de preparo mínimo do solo: técnicas e perspectivas para o Paraná**. Ponta Grossa: Embrapa-CNPSO, 1976. 23 p. (Comunicação Técnica, 1).

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21. 1994, Petrolina-PE. **Anais...** EMBRAPA/CPATSA, 1994. p.38-40.

RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. LUPATINI, G.C. & SANTOS, E.J.S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.4, p.713-721, 1998.

RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J. & ANGHINONI, I. Fósforo orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: genesis, 1999, 508 p.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & KAMINSKI, J. Depleção de fósforo inorgânico de diferentes frações provocadas pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.345-354, 2000.

RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.36, n.1, p.151-160, 2001.

ROELOFS, R.F.R.; RENGEL, Z.; CAWTHRAY, G.R.; DIXON, K.W.; LAMBERS, H. **Plant Cell Environment**. v.24, p.891-, 2001

ROESSING, A. C., CAMPO, R. J., SFREDO, G. J., PALHANO, J.B. **Aspectos econômicos da racionalização de adubação da soja no Paraná e no Brasil**. II Seminário Nacional de Pesquisa de Soja – EMBRAPA (CNPSo). Brasília – DF, p.659-669, 1981.

RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. **Annual Reviews in Plant Physiology and Molecular Biology**, Palo Alto, v.52, p.527-560, 2001.

SÁ, J.C.M. **Plantio direto: transformações e benefícios ao agroecossistema**. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISETMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro. Anais...Castro: Fundação ABC, p.9-20, 1995.

SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO,

A.E. & CARVALHO, J.G. (eds.). **Interrelação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: SBCS, p.267-319, 1999.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M. & FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for tillage cronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society America Journal**, v.64, p.1486-1499, 2001.

SÁ, J.C.M. Adubação fosfatada no Sistema Plantio Direto. In: **Simpósio Sobre Fósforo na Agricultura Brasileira**. São Pedro-SP, 2003 (CD-ROM).

SALINAS-GARCIA, J.G.; HONS, F.M. & MATOCHA, J.E. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. **Soil Science Society American Journal**, v.61, p.152-159, 1997.

SCHWERTMAN, W.U.; KODAMA, H. & FISCHER, W.R. Mutual interactions between organics and iron oxides. In: HUANG, P.M.& SCHNITZER, M., eds. Interactions of soil minerals with natural organic and microbes. **Soil Science Society America Journal**, Madison, p.223-250, 1986 (Special Publication 17).

SELLES, F.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; ZENTNER, R.P.; FAGANELLO, A. Distribution of phosphorus fractions in Brazilian Oxisol under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.44, p. 23-34, 1997.

SFREDO, G. J., CAMPO, R J., PALHANO, J.B., BORKERT, C.M., CORDEIRO, D.S. **Efeitos de níveis e fontes de fósforo sobre a disponibilidade de fósforo e sobre o rendimento da soja**. II Seminário Nacional de Pesquisa de Soja – EMBRAPA (CNPSO). Brasília – DF, p.659-669, 1981.

SFREDO, G. J., LATMANN, AF. CAMPO, R. J., BORKERT, C. M. **Soja: nutrição mineral, adubação e calagem**. Gede Jorge Sfredo, Áureo Francisco Lantmann, Rubens José Campo, Clóvis Manuel Borkert. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1986. 51p. (Documentos, 17)

SIBANDA, H.M. & YOUNG, S.D. Competitive adsorption of humic acids and phosphate on goethite, gibbsite and two tropical soils. *J. Soil Science*, v.37, p.197-204, 1986.

SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA FILHO, G. N.; VIDOR, C. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v.24, n.2, p.311-329, 2000.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P.; LIMA, J.M. de; CARVALHO, A.M. de. Rotação adubo verde-milho e adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.6, p.649-654, 1997.

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

SINGH, C.P. & AMBERGER, A. Organic acids and phosphorus solubilization in straw compostest with rock phosphate. *Bioresource Technology*, v.63, p.13-16, 1998.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, UFRGS, Faculdade de Agrônômica, 1992. 162 p. (Tese de Doutorado).

SOUSA, D.M.G. & LOBATO, E. Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto: experiência no cerrado. **In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 24, 2000, Santa Maria. Fertbio 2000. Santa Maria:SBCS, 2000. CD-ROM.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University, 1989. 277p.

SMILEY, R. W. Rhizosphere pH as influenced by plants, soils, and nitrogen fertilizers. *Soil Science Society America Proceeding*. v.38, p.795-801, 1974

SYLVESTER-BRADLEY, R.; ASAKAWA, N.; LA TORRACA, S.; MAGALHÃES, F.M.M.; OLIVEIRA, L.; PEREIRA, R.M. Levantamento quantitativo de microrganismos solubilizadores de fosfatos na rizosfera de gramíneas e leguminosas forrageiras na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v.12, n.1, p.15-22, 1982.

SYERS, J.K.; WILLIAMS, J.D.H.; WALKER, T.W. The determination of total phosphorus in soils and parent materials. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.11, n.1, p. 757-762, 1968.

SWART, P.H.& VAN DIEST, A. The rock-phosphate solubilizing capacity of *Pueraria javanica* as affected by soil ph, superphosphate priming effect and symbiotic N₂ fixation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.100, p.135-147, 1987.

TEDESCO, M.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. 2º ed. Revisada e ampliada. Porto Alegre. Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 174p.

THOMAS, G. W. Mineral nutrition and fertilizer placement. In: SPRAGUE, M.A. & TRIPLETT, G.B. **No-tillage and surface-tillage agriculture; the tillage revolution**. New York: John Wiley, p.1-18, 1986.

TIESSSEN, H.; STEWART, J. W. B.; MOIR, J. O. Changes in organic and inorganic phosphorus of two grassland and their particle size fraction during 60-90 years of cultivation. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.34, p.815-823, 1983.

TIESSSEN, H.; STEWART, J. W. B. & COLE, C.V. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. **Soil Science Society American Journal**, v.48, p.853-858, 1984.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p. 1497-1476, 2002.

VARGAS, L. C. Biomassa e atividade microbiana em sistema de manejo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 111p. (Tese de Mestrado).

VERNETTI, F. J. **Soja**. Campinas, Fundação Cargill, v. 2, 1983. 990p.

WAGAR, B.J.; STEWART, J.W.B. & MOIR, J.O. Changes with time in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on Chernozemic soils. **Canadian Journal Soil Science**, v.66, p.105-119, 1986.

WHITELAW, M.A. Growth promotion of plant inoculated with phosphate-solubilizing fungi. **Advances in Agronomy**, New York, v.69, p.99-151, 2000.