

**COMPORTAMENTO DO FÓSFORO FRENTE
À ADUBAÇÃO FOSFATADA EM
LATOSSOLOS COM DIFERENTES
HISTÓRICOS DE USO**

LEANDRO FLÁVIO CARNEIRO

2009

LEANDRO FLÁVIO CARNEIRO

**COMPORTAMENTO DO FÓSFORO FRENTE À ADUBAÇÃO
FOSFATADA EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES HISTÓRICOS
DE USO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Carneiro, Leandro Flávio.

Comportamento do fósforo frente à adubação fosfatada em
latossolos com diferentes históricos de uso / Leandro Flávio
Carneiro. – Lavras : UFLA, 2009.

89 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto.

Bibliografia.

1. Plantio direto. 2. Feijão. 3. Braquiária. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.85

LEANDRO FLÁVIO CARNEIRO

**COMPORTAMENTO DO FÓSFORO FRENTE À ADUBAÇÃO
FOSFATADA EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES HISTÓRICOS
DE USO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do
Solo, para a obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 19 de outubro de 2009

Pesq. Dr. Álvaro Vilela de Resende	Embrapa Milho e Sorgo
Prof. Dr. Carlos Alberto Silva	UFLA
Prof. Dr. Nilton Curi	UFLA
Prof. Dr. Ruy Carvalho	UFLA

Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao meu querido Jesus, pela sabedoria, força e salvação.

OFEREÇO

*Á minha esposa Daniella
Aos meus pais, irmãos, sogra e sogro*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por seu imensurável amor, por sua presença em minha vida, o que me sustentou e permitiu vencer todos os obstáculos e realizar mais um sonho.

À Daniella, minha esposa, por todo o seu amor, amizade, respeito, confiança e companheirismo.

A meus pais, Maurício e Maria Helena, que me ensinaram o caminho pelo qual devo andar. Pelo amor incondicional, incessante incentivo, apoio, orientação e confiança, sempre me fornecendo forças para realizar meus objetivos.

A meus irmãos, Maurício Júnior e Milene, pelos momentos de descontração, carinho e pela motivação que me proporcionam.

A todos os meus familiares, que mesmo estando longe ou perto, torcem pelo meu sucesso.

À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa, no qual este experimento está incluído. Sem este apoio, sua realização não seria possível.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da Bolsa de Estudos.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Furtini Neto, pela orientação desde a iniciação científica, e em especial pelo apoio, confiança, conselhos e incentivo em todos os momentos.

Ao Pesquisador Dr. Álvaro Vilela de Resende, pela amizade, orientações desde a iniciação científica e exemplo de pesquisador.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar os Cursos de Mestrado e Doutorado.

Aos Professores Dr. Nilton Curi, Dr. Valdemar Faquin, Dr. Carlos Alberto, Dr. João José, Dr. Mozar, Dra. Fátima, Dr. Luíz Roberto (Bebeto), que contribuíram para a minha formação.

Aos Srs. proprietários e funcionários da Fazenda Alto Alegre, que acreditaram em nosso trabalho, concedendo as amostras de solos.

Aos amigos Pr. Paulo, Pr. Marcelo, Pr. Disney, Pr^a. Rosane. Pr. Robson, Reginaldo e Ethel, Lucas e Fabrícia, Joel e Ruth, Vinícius e Nathiara, José (Zé) Carlos e Adriana, Wagner e Patrícia, Luis e Ângela pelas orações, amizade e momentos agradáveis que passamos juntos.

À Ana Luíza, pela amizade e apoio ao longo do Curso.

A meus colegas Zilton, Thiago, Lucas e Bruno pela indispensável ajuda ao longo do experimento.

A todos os servidores e técnicos do DCS, em especial ao Roberto, José Roberto(Pezão) e Sr. Antônio pela amizade, apoio e momentos agradáveis.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO GERAL.....	viii
GENERAL ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral.....	1
2 Referências bibliográficas.....	5
CAPÍTULO 2 Frações de fósforo em Latossolos com diferentes históricos de uso e doses de fósforo, cultivados em sucessão feijão-braquiaria.....	7
1 Resumo.....	7
2 Abstract.....	9
3 Introdução.....	10
4 Material e métodos.....	11
5 Resultados e discussão.....	20
5.1 Latossolo Vermelho distrófico.....	20
5.1.1 Frações inorgânicas de fósforo.....	20
5.1.2 Frações orgânicas de fósforo.....	22
5.1.3 Fração inorgânica e orgânica total e P total Bowman.....	26
5.1.4 Disponibilidade de fósforo.....	29
5.1.5 Produtividade do feijoeiro e da braquiaria.....	33
5.1.6 Coeficientes de correlação.....	35
5.2 Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.....	38
5.2.1 Frações inorgânicas de fósforo.....	38
5.2.2 Frações orgânicas de fósforo.....	41
5.2.3 Fração inorgânica e orgânica total e P total Bowman.....	43

5.2.4 Disponibilidade de fósforo.....	46
5.2.5 Produtividade do feijoeiro e da braquiaria.....	50
5.2.6 Coeficientes de correlação.....	52
6 Conclusões.....	54
7 Referencias Bibliográficas.....	55
CAPÍTULO 3 Frações inorgânicas de fósforo em Latossolos com diferentes históricos de uso e doses de fósforo, cultivados em sucessão feijão-braquiaria.....	
1 Resumo.....	61
2 Abstract.....	62
3 Introdução.....	63
4 Material e métodos.....	65
5 Resultados e discussão.....	69
5.1 Formas de P nos solos antes da aplicação dos tratamentos.....	69
5.2 Latossolo Vermelho distrófico.....	71
5.2.1 Formas inorgânicas de P no solo após a adubação fosfatada.....	71
5.3 Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.....	79
5.3.1 Formas inorgânicas de P no solo após a adubação fosfatada.....	79
6 Conclusões.....	86
7 Referências Bibliográficas.....	86

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

TABELA		Página
TABELA 1	Informações básicas sobre o Latossolo Vermelho distrófico (LV) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), na condição cultivada.....	12
TABELA 2	Atributos químicos, físicos e mineralógicos do Latossolo Vermelho distrófico (LV) e do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA) na profundidade de 0-20 cm em diferentes histórico de uso: solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA), antes da aplicação dos tratamentos.....	13
TABELA 3	Atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), após aplicação dos tratamentos e antes do plantio do feijão.....	15
TABELA 4	Atributos químicos no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), após cultivo do feijoeiro (antes do cultivo da braquiaria).....	17
TABELA 5	Teores de fósforo inorgânico (Pi) extraídos sequencialmente por NaHCO ₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	21
TABELA 6	Teores de fósforo orgânico (Po) extraídos sequencialmente por NaHCO ₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	23

TABELA 7	Teores de fósforo inorgânico e orgânico total e P-total Bowman em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	27
TABELA 8	Frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no Latossolo Vermelho, com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de P e épocas de avaliação.....	30
TABELA 9	Coefficientes de correlação entre as diversas formas de P extraídas antes do cultivo do feijoeiro e da braquiaria com a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e da braquiaria e com produção de grãos (GRÃOS) do feijoeiro, no Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA)	37
TABELA 10	Teores de fósforo inorgânico (Pi) extraídos seqüencialmente por NaHCO ₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	39
TABELA 11	Teores de fósforo orgânico (Po) extraídos seqüencialmente por NaHCO ₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	42
TABELA 12	Teores de fósforo inorgânico e orgânico total e P-total Bowman em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	44

TABELA 13	Frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-p. lábil) no Latossolo Vermelho-Amarelo, em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.....	47
TABELA 14	Coefficientes de correlação entre as diversas formas de P extraídas antes do cultivo do feijoeiro e da braquiaria com a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e da braquiaria e com produção de grãos (GRÃOS) do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).....	53

CAPÍTULO 3

TABELA	Página	
TABELA 1	Frações inorgânicas de P, antes da aplicação dos tratamentos, em um Latossolo Vermelho (LV) e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	70
TABELA 2	Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi total, determinados num Latossolo Vermelho, com diferente histórico de uso (solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de fósforo nas épocas avaliadas no experimento.....	72
TABELA 3	Coefficientes de correlação entre as formas de P-inorgânico extraídas antes do feijoeiro e braquiária com a produção de grãos do feijoeiro, matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e braquiária, num LV em solo já cultivado (SC) e solo adjacente (SA).....	78

TABELA 4	Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi total, determinados num Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferente histórico de uso (solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de fósforo nas épocas avaliadas no experimento.....	80
TABELA 5	Coeficientes de correlação entre as formas de P-inorgânico extraídas antes do feijoeiro e braquiária com a produção de grãos do feijoeiro, matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e braquiária, no LVA, no solo já cultivado e solo adjacente.....	85

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

FIGURA	Página
FIGURA 1 Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Hedley et al. (1982)	18
FIGURA 2 Frações de fósforo lábil e pouco lábil num Latossolo Vermelho, com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação. Após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e após cortes sucessivos de braquiaria (AB), respectivamente: (a), (b) e (c) = P lábil e (d), (e) e (f) = P pouco lábil.....	31
FIGURA 3 Produção de grãos (a), matéria seca da parte aérea (b) e conteúdo de P na parte aérea no florescimento (c) do feijoeiro em função das doses de fósforo num Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).	33
FIGURA 4 Matéria seca da parte aérea (a) e conteúdo de P na parte aérea (b) de dois cultivos sucessivos de braquiaria num Latossolo Vermelho distrófico, na condição cultivada (C) e não cultivada (NC).....	34
FIGURA 5 Porcentagem de recuperação pelas plantas (feijoeiro + braquiaria) do P adicionado em função das doses e histórico de uso (solo adjacente (SA) e cultivado (SC)).....	35

FIGURA 6	Frações de fósforo lábil e pouco lábil num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, proveniente de áreas cultivadas com grãos (SC) e em solo adjacente (SA) sob diferentes doses de fósforo e épocas de avaliação. Após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e após cortes sucessivos de braquiaria (AB), respectivamente: (a), (b) e (c) = P lábil e (d), (e) e (f) = P pouco lábil.....	48
FIGURA 7	Produção de grãos (a), matéria seca da parte aérea (b) e conteúdo de P na parte aérea (c) do feijoeiro em função das doses de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo, na condição de solo adjacente (SA) e cultivado (SC).....	50
FIGURA 8	Matéria seca da parte aérea (a) e conteúdo de P na parte aérea (b) da braquiaria de dois cultivos sucessivos em função das doses de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo, na condição de solo adjacente (SA) e cultivado (SC).....	51
FIGURA 9	Porcentagem de recuperação pelas plantas (feijoeiro + braquiaria) do P adicionado em função das doses e histórico de uso (solo adjacente (SA) e cultivado (SC)).....	52

CAPÍTULO 3

FIGURA	Página
FIGURA 1 Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Chang & Jackson (1957)	69

FIGURA 2	Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiaria (AB) em diferentes históricos de uso (solo já cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de P. (a) e (b) = independente do histórico de uso; (c) = solo cultivado (SC) e adjacente (SA); (d) = solo cultivado e (e) = solo adjacente.....	74
FIGURA 3	Frações relativas de P-Al, P-Fe e P-Ca após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiaria (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a), (c) e (e) no solo cultivado (SC) e (b), (d) e (f) no solo adjacente (SA).....	75
FIGURA 4	Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiaria (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a), (b) e (c) = independente do histórico de uso e (d) = no solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA).....	81
FIGURA 5	Frações relativas de P-Al, P-Fe e P-Ca após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiaria (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a) e (d) = solo cultivado (SC), (b) e (e) = solo adjacente (SA) e (c) = independente do histórico de uso.....	83

RESUMO GERAL

CARNEIRO, Leandro Flávio Carneiro. **Comportamento do fósforo frente à adubação fosfatada em Latossolos com diferentes históricos de uso.** 2009. 89p. Tese (Tese em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

O fornecimento de fósforo representa parte expressiva do custo de produção das culturas. No sistema de plantio direto (SPD) existe uma tendência de melhor aproveitamento do P, sobretudo em áreas que já vem sendo cultivadas há mais tempo. Porém, há a necessidade de definição/confirmação da melhor utilização de fertilizantes fosfatados sob SPD. Os objetivos deste trabalho foram: (a) quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas do feijoeiro e braquiária, cultivados em sucessão, em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P; (b) avaliar a dinâmica e disponibilidade de formas inorgânicas de fósforo em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P, cultivados em sucessão com feijoeiro e braquiária. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LV), textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura média, coletadas na profundidade de 0-20 cm. Para cada solo, conduziu-se um experimento disposto em delineamento inteiramente casualizado, arranjos em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois históricos de uso (solos agrícola cultivado por longos períodos (SC), com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, em solo adjacente (SA) sob vegetação de cerrado (cerrado nativo)) e quatro doses de P equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³, com quatro repetições. O fornecimento de P, na forma de superfosfato triplo, foi feito com base no teor de P₂O₅ total da fonte. As frações de fósforo foram determinadas em amostras de solo das unidades experimentais, antes e após a incubação dos tratamentos e após os cultivos do feijoeiro e da braquiária, usando os métodos de Hedley et al. (1982) e Chang & Jackson (1957). As frações orgânicas e inorgânicas de fósforo e as respostas do feijoeiro e da braquiária foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos. A adubação fosfatada aumentou as formas inorgânicas de P no solo, as quais foram maiores naqueles anteriormente cultivados. A adubação fosfatada aumentou as formas orgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos adjacentes, nas maiores doses de P e após cultivo do feijoeiro e braquiária. A adubação

¹ Comitê Orientador: Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Orientador) e Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Milho e Sorgo

fosfatada aumentou a fração lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso nesta fração, foi maior na área cultivada e adjacente no solo com maior e menor capacidade de fixação de P, respectivamente. A adubação fosfatada aumentou a fração pouco lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso foi maior no solo adjacente após o cultivo da braquiária. As respostas do feijoeiro e da braquiária frente à adubação fosfatada foram menores nos solos cultivados, mas nesta condição, as plantas apresentaram maior aproveitamento do P adicionado, pois houve maior absorção e produção, principalmente nas menores doses de P. As frações inorgânicas de fósforo foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos. As frações inorgânicas de P foram maiores nos solos cultivados. A adubação fosfatada aumentou as frações inorgânicas de P nos solos. O P aplicado ao solo encontra-se, principalmente, ligado ao Al e esta é a forma de P no solo que predominantemente fornecendo o nutriente para o feijoeiro e braquiária.

GENERAL ABSTRACT

CARNEIRO, Leandro Flávio. **Behavior of phosphorus in phosphated fertilization in Oxisols with different use histories.** 2009. 89p. Thesis (Thesis in Soil Science) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.²

The supply of phosphorus represents a large part of the production cost of the crops. In the direct planting system (DPS) there is a tendency of better P use, above all in areas which have already been cultivated for some time. However, there is the need for definition/confirmation of the best use of phosphated fertilizers under DPS. The objectives of this work were: (a) to quantify the P inorganic and organic fractions and to evaluate the response of beans and brachiaria, cultivated in succession, in Oxisols distinct in mineralogy and use history on P doses; and (b) to evaluate the dynamics and availability of inorganic forms of phosphorus in Oxisols distinct in mineralogy and use history on P doses, cultivated in succession with beans plant and brachiaria. The experiments were conducted in a greenhouse with samples of a dystrophic Red Oxisol (RL), texture and a dystrophic Red-Yellow Latosol (RYL), medium texture, collected at the depth of 0-20 cm. For each soil, the experiment was arranged in a completely randomized design, with a 2 x 4 factorial scheme, two being use history (agricultural soils cultivated for long periods (CS), with periodic liming and phosphated fertilization and, in adjacent soil (AS) under cerrado vegetation (native cerrado) and four P doses equivalent to 0, 120, 240 and 480 mg.dm⁻³, with four repetitions. The supply of P, in the form of triple superphosphate, was issued based on the total level P₂O₅ of the source. The phosphorus fractions were determined in soil samples of the experimental units, before and after the incubation of the treatments and after the cultivation of beans and brachiaria plants, using the methods of Hedley et al. (1982) and Chang & Jackson (1957). The organic and inorganic fractions of phosphorus and the responses of the beans and brachiaria plants were affected by the use history and P addition to the soils. The phosphated fertilization increased the inorganic forms of P, which were larger in the cultivated soils. The phosphated fertilization increased the organic forms of P, which were higher in the adjacent soils, at the highest P doses and after cultivation of the beans and brachiaria plants. The phosphated fertilization increased the labile fraction of P in the soils and the influence of the use history in this fraction was higher in the cultivated and adjacent in the soil with higher and lower P fixation capacity, respectively. The phosphated fertilization increased the little labile P fraction in the soils and

² Guidance committee: Antônio Eduardo Furtini Neto – UFLA (Major Professor) and Álvaro Vilela de Resende – Embrapa Milho e Sorgo

the influence of the use history was higher in the adjacent soil after the cultivation of the brachiaria. The response of the beans and brachiaria plants to the phosphated fertilization was lower in the cultivated soils and under this condition, the plants presented larger use of the added P, which resulted in higher P uptake and beans and brachiaria plant production, mainly at the lower doses of P. The inorganic fractions of phosphorus were affected by the use history and P addition to the soils. The inorganic P fractions were higher in the cultivated soils. The phosphated fertilization increased the inorganic fractions of P in the soils. Phosphorus applied to the soil is mainly bonded to Al and this is the form of P in the soil that predominantly supplying the nutrient for the beans and brachiaria plants.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O fósforo é imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento nutricional (Marschner, 1995). Ele é constituinte de importantes compostos das células vegetais, incluindo fosfato presente nas moléculas de açúcares intermediários da respiração e fotossíntese, bem como dos fosfolipídeos que compõem as membranas vegetais. É também componente de nucleotídeos e utilizado no metabolismo energético das plantas (Taiz & Zeiger, 2004). Portanto, as plantas têm seu crescimento dependente da concentração de fósforo (P) na solução do solo.

A dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam íons fosfato, ou seja, íons resultantes da desprotonação do ácido ortofosfórico (H_3PO_4), e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. Assim, em solos jovens e nos moderadamente intemperizados, ainda ocorre fósforo em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra na forma orgânica (Po), ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente pelos minerais secundários. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente, resultando em baixos teores de P na solução do solo e, conseqüentemente, limitando a produção agrícola (Oliveira et al., 1982; Cross & Schlesinger, 1995; Novais & Smith, 1999).

Devido à baixa concentração em que ocorre na solução, o fósforo precisa ser continuamente ressuprido pela fase sólida para nutrir adequadamente as culturas. A resistência que o solo oferece à alteração da

concentração de P na solução, ou a capacidade do solo repor o P absorvido da solução, denomina-se capacidade tampão de fosfato ou fator capacidade de P (FCP), o qual depende da relação entre os fatores quantidade (P-lábil) e intensidade (P-solução) e correlaciona-se positivamente com a capacidade de fixação de P do solo. A disponibilidade do nutriente às plantas é muito afetada pelo FCP. Numa comparação simplificada, pode-se considerar que os solos mais argilosos possuem maior FCP que os arenosos e, portanto, competem mais com a planta pelo fósforo adicionado via fertilizante. Desse modo, na conversão de áreas sob cerrado nativo em lavouras, os solos argilosos requerem quantidades mais elevadas de fosfatos na adubação. Por outro lado, apesar de necessitarem de menos fertilizantes fosfatados, os solos arenosos são exauridos mais facilmente com o cultivo contínuo, ou seja, possuem menor capacidade de reserva de P (Lopes, 1983; Novais & Smyth, 1999).

Chama-se atenção para o fato de que, em áreas que já foram adubadas anteriormente, os efeitos do fornecimento de fósforo podem não seguir os padrões típicos das respostas normalmente verificadas nos estudos de adubação fosfatada conduzidos em solos virgens (Kaminski & Peruzzo, 1997; Anghinoni, 2003). Após nova aplicação de fosfatos, a dinâmica que se estabelece entre as formas de P, bem como a biodisponibilidade do nutriente, costuma ser diferenciada, de forma que solos com certa reserva do nutriente tendem a favorecer a equiparação das respostas a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada.

Além disto algumas características do sistema de plantio direto (SPD) podem interferir na dinâmica e disponibilidade do fósforo no solo e conseqüentemente na resposta das culturas à adubação fosfatada. O não revolvimento do solo no SPD, além de reduzir a erosão e propiciar maior teor de água (facilitando o mecanismo de difusão), diminui o contato entre os colóides do solo e o íon fosfato, reduzindo as reações de adsorção. A mineralização lenta

e gradual dos resíduos orgânicos proporciona a liberação e a redistribuição das formas orgânicas de P, mais móveis no solo e menos susceptíveis às reações de absorção, além de manter um fluxo contínuo de diferentes formas de carbono, as quais competem com os íons fosfatos pelos sítios de carga positiva dos colóides inorgânicos e complexam íons de Al^{+3} e Fe^{+3} , formando compostos hidrossolúveis complexos e estáveis, resultando em aumento da disponibilidade de P para as raízes (Rheinheimer & Anghinoni, 2003; Sá, 2003).

Diante destas considerações, de maneira geral, a resposta das culturas à adição de P no SPD tem sido relativamente pequena, ou seja, as culturas têm requerido doses mais baixas desse nutriente (Resende et al., 2006; Anghinoni, 2007; Rheinheimer et al., 2008). Isso, provavelmente, pode acontecer devido à ineficiência dos métodos de rotina em detectar a disponibilidade das formas orgânicas biodisponíveis de P no solo e à dificuldade de interpretação do nível de resposta a esse nutriente em uma rotação ou seqüência de culturas (Sá, 2004).

Resende et al. (2006) observaram uma produção de milho de 12,54 kg.ha⁻¹ em três cultivos sucessivos no tratamento testemunha (sem adição de P), o qual apresentou baixa disponibilidade de P pelos extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica em um Argissolo Vermelho distrófico argiloso, da região do Cerrado, o qual havia sido cultivado e adubado, e, há cerca de dez anos, não era utilizado para lavouras, permanecendo coberto por capim-braquiária, servindo para o pastejo bovino. Observou-se neste tratamento uma redução das frações inorgânicas e orgânicas de diferentes labilidades ao final dos três anos de cultivo, em relação ao ano de instalação do experimento (Santos et al. 2008).

Visto que o fornecimento de fósforo representa parte expressiva do custo de produção das culturas, especialmente em lavouras conduzidas em alto nível tecnológico e que existe alguma tendência de melhor aproveitamento do P em lavouras conduzidas no sistema de plantio direto, sobretudo em áreas cultivadas por longo período, há uma necessidade de definição/confirmação da melhor

utilização de fertilizantes fosfatados a fim de subsidiar os técnicos e agricultores na tomada de decisão para o adequado manejo da adubação fosfatada.

Desse modo, buscando compreender como a disponibilidade de fósforo é influenciada em áreas anteriormente adubadas, em sistema de plantio direto, sob adição de doses de P e em como isso pode implicar no manejo de adubações fosfatadas futuras, este trabalho foi realizado com os objetivos de: (a) quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas do feijoeiro e braquiária, cultivados em sucessão, em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P. (b) avaliar a dinâmica e disponibilidade de formas inorgânicas de fósforo em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P, cultivados em sucessão com feijoeiro e braquiária.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1 CD-ROM.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 6, p. 873-928.

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, Jan. 1995.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficiência de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31 p. (Boletim técnico, 3).

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic, 1995. 887 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, A. J.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W. J. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1982. 326 p.

RESENDE, A.V.; FURINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPORA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 453-466, maio/jun. 2006.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil Tillage and cropping systems under subtropical conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 15/16, p. 2339-2354, Aug. 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p.576-586, mar./abr. 2008.

SÁ, J. C. M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1 CD-ROM.

SÁ, J. C. M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.p. 201-220.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A.V.; CURTI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 705-714, mar./abr. 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

CAPÍTULO 2

FRAÇÕES DE FÓSFORO EM LATOSSOLOS COM DIFERENTES HISTÓRICOS DE USO E DOSES DE FÓSFORO, CULTIVADOS EM SUCESSÃO FEIJÃO-BRAQUIÁRIA

1 RESUMO

Em solos que já foram adubados anteriormente, os efeitos do fornecimento de fósforo podem não seguir os padrões típicos das respostas das culturas normalmente verificados nos estudos de adubação fosfatada conduzidos em solos virgens. Este trabalho teve como objetivo quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas do feijoeiro e braquiária, cultivados em sucessão, em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LV), textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), textura média, coletadas na profundidade de 0-20 cm. Para cada solo conduziu-se um experimento disposto em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 x 4), sendo dois históricos de uso (solos agrícola cultivado por longos períodos (SC), com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, em solo adjacente (SA) sob vegetação de cerrado (cerrado nativo) e quatro doses de P equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg.dm⁻³, com quatro repetições. O fornecimento de P, na forma de superfosfato triplo, foi feito com base no teor de P₂O₅ total da fonte. As frações de fósforo foram determinadas em amostras de solo das unidades experimentais, antes e após a incubação dos tratamentos e após os cultivos do feijoeiro e da braquiária, usando o método de Hedley et al. (1982). As frações orgânicas e inorgânicas de fósforo e as respostas do feijoeiro e da braquiária foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos. A adubação fosfatada aumentou as formas inorgânicas de P no solo, as quais foram maiores naqueles anteriormente cultivados. A adubação fosfatada aumentou as formas orgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos adjacentes, nas maiores doses de P e após cultivo do feijoeiro e braquiária. A adubação fosfatada aumentou a fração lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso nesta fração, foi maior na área cultivada e adjacente no solo com maior e menor capacidade de fixação de P, respectivamente. A adubação fosfatada aumentou a fração pouco lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso foi maior no solo adjacente após o cultivo da braquiária. As respostas do feijoeiro e da braquiária frente à

adubação fosfatada foram menores nos solos cultivados, mas nesta condição, as plantas apresentaram maior aproveitamento do P adicionado, pois houve maior absorção e produção, principalmente nas menores doses de P.

2 ABSTRACT

In soils that were already previously fertilized, the effects of the phosphorus supply may not follow the response patterns typical of the crops usually verified in studies of phosphated fertilization conducted in virgin soils. This work had as objective to quantify the inorganic and organic P fractions and to evaluate the responses of beans and brachiaria plants, cultivated in succession, in Latosols (Oxisols) with distinct mineralogy and use history on doses of P. Experiments were conducted in a greenhouse with samples of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) (RD), clayey texture and a dystrophic Red-Yellow Latosol (RYL), medium texture, collected at the depth of 0-20 cm. For each soil, the experiment was arranged in a completely randomized design, with a 2 x 4 factorial scheme, two being use history (agricultural soils cultivated for long periods (CS), with periodic liming and phosphated fertilization and, in adjacent soil (AS) under cerrado vegetation (native cerrado) and four P doses equivalent to 0, 120, 240 and 480 mg.dm⁻³, with four repetitions. The supply of P, in the form of triple superphosphate, was issued based on the total level P₂O₅ of the source. The phosphorus fractions were determined in soil samples of the experimental units, before and after the incubation of the treatments and after the cultivation of beans and brachiaria plants, using the methods of Hedley et al. (1982). The organic and inorganic fractions of phosphorus and the responses of the beans and brachiaria plants were affected by the use history and P addition to the soils. The phosphated fertilization increased the inorganic forms of P, which were larger in the cultivated soils. The phosphated fertilization increased the organic forms of P, which were higher in the adjacent soils, at the highest P doses and after cultivation of the beans and brachiaria plants. The phosphated fertilization increased the labile fraction of P in the soils and the influence of the use history in this fraction was higher in the cultivated and adjacent in the soil with higher and lower P fixation capacity, respectively. The phosphated fertilization increased the little labile P fraction in the soils and the influence of the use history was higher in the adjacent soil after the cultivation of the brachiaria. The response of the beans and brachiaria plants to the phosphated fertilization was lower in the cultivated soils and under this condition, the plants presented larger use of the added P, which resulted in higher P uptake and beans and brachiaria plant production, mainly at the lower doses of P.

3 INTRODUÇÃO

A maioria dos solos de regiões tropicais e subtropicais, graças ao avançado intemperismo, apresenta maior eletropositividade e absorção de fosfatos. O solo compete com a planta pelo P adicionado, caracterizando-se, neste caso, como um dreno (Novais et al., 1998; Conte et al., 2003). Esses solos respondem a grandes adições de fertilizantes fosfatados, aumentando a produção vegetal, com reflexos econômicos acentuados.

O uso e o manejo do solo alteram a dinâmica do P, mas as informações sobre as transformações do P adicionado na adubação e do seu efeito residual em sistema de plantio direto (SPD) são ainda limitadas (Rheinheimer, 2000; Gatiboni et al., 2007). O SPD tem sido rapidamente incorporado à exploração agrícola do País e tem sido uma importante alternativa para reduzir os riscos de degradação ambiental sem alterar a produtividade das culturas.

O fracionamento do P tem sido útil para detectar os efeitos da ação antrópica na sua dinâmica nos solos. Em solos tropicais, as maiores proporções de P têm sido encontradas em extrações com NaOH (Araújo & Salcedo, 1997; Rheinheimer & Anghinoni, 2001), estando associadas com óxidos de ferro e alumínio, caulinita e matéria orgânica. Quando se adicionam altas doses de fosfatos tem-se observado aumento nas frações inorgânicas lábeis (extraídas com resina e NaHCO_3), pouco lábeis (extraídas com NaOH) e, em algumas situações, também nas frações com baixa labilidade (Maroko et al., 1999). Os aumentos seguem os compartimentos preexistentes, dependendo sua distribuição da qualidade e da quantidade dos sítios de adsorção no solo (Rheinheimer, 2000).

O método proposto por Hedley et al. (1982) de quantificação das frações orgânicas e inorgânicas do solo, extraídas sequencialmente em frações lábeis, pouco lábeis e não lábeis, apresenta como vantagem a obtenção de informações

sobre a disponibilidade de P a curto e longo prazos. Essas frações, além de permitirem o conhecimento de diferentes graus de disponibilidade do P para as plantas (Silva et al., 2003), possibilitam quantificar o P orgânico lábil no solo (Tokura et al., 2002).

Nesse contexto, estudos que visem a determinação das diferentes frações de P no solo possibilitam conhecer a capacidade de dessorção do nutriente e sua atuação no tamponamento da solução do solo, podendo, dentro do sistema de produção adotado, indicar um manejo mais eficiente da adubação. Este trabalho teve como objetivo quantificar as frações inorgânicas e orgânicas de P e avaliar as respostas do feijoeiro e braquiária, cultivados em sucessão, em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras utilizando-se amostras de dois solos: um Latossolo Vermelho distrófico (LV) textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA) textura média. As amostras dos solos foram coletadas na Fazenda Alto Alegre, localizada no Município de Planaltina de Goiás-GO, situado a 15° 20' 05" de latitude sul e 47° 34' 43" de longitude oeste, a uma altitude média de 1044 m e uma pluviosidade média anual de 1500 mm. As amostras foram obtidas na profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação nativa do cerrado (solo adjacente) e sob diferentes cultivos com braquiária e/ou grãos em plantio direto (solo cultivado). As informações básicas sobre o histórico de uso e manejo dos solos agrícolas são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 Informações básicas sobre o Latossolo Vermelho distrófico (LV) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), na condição cultivada.

Solo	Histórico de uso	Manejo
(LV)	Culturas anuais (soja/milho) há mais de 10 anos no SPD*. Antes da coleta das amostras, este solo estava com 6 anos de plantio contínuo (sem perturbação).	80 kg ha ⁻¹ . ano ⁻¹ de P ₂ O ₅ , mais adubação corretiva com 650 kg ha ⁻¹ com Fosfato de Gafsa (28% de P ₂ O ₅ total) incorporado com arado de aiveca (6 anos antes da coleta das amostras) e mais calagem ocasional.
(LVA)	Cultivado com pastagens por 13 anos, culturas anuais por 5 anos (Soja/milho) no SPD e novamente pastagens por mais 3 anos sem perturbação.	88 kg ha ⁻¹ . ano ⁻¹ de P ₂ O ₅ (soja/milho), mais adubação coretiva 650 kg ha ⁻¹ com Fosfato de Gafsa (28% de P ₂ O ₅ total) incorporado com arado de aiveca antes do cultivo de soja/milho e mais calagem ocasional.

* SPD = Sistema plantio direto.

Após a coleta os solos foram homogeneizados, destorroados e passados em peneira de 4 mm para os experimentos em casa de vegetação. Pequenas amostras foram passadas em peneiras de 2mm de malha e submetidas às análises de atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 2).

Dois experimentos foram realizados em casa de vegetação, sendo um com cada solo, utilizando-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) e, em seguida, braquiária (*Brachiaria decumbens*) como plantas teste, em vasos plásticos com capacidade para quatro dm³ de solo. Os solos receberam carbonato de cálcio e carbonato de magnésio p.a, na relação de quatro partes de cálcio para uma de magnésio, objetivando elevar a saturação por bases a 70% e uma adubação básica.

TABELA 2 Atributos químicos, físicos e mineralógicos do Latossolo Vermelho distrófico (LV) e do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA) na profundidade de 0-20 cm em diferentes histórico de uso: solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA), antes da aplicação dos tratamentos.

Atributos dos solos	SOLOS			
	LV		LVA	
	SA	SC	SA	SC
pH (H ₂ O)	5,5	5,7	5,2	5,7
K (mg dm ⁻³)	43	123	47	156
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,5	2,2	0,5	2,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,2	0,8	0,2	0,7
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,2	1,6	0,3
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	6,5	4,0	6,8	3,3
Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	32,0	28,0	25,0	25,0
P - Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	1	12	2	12
P - Resina (mg dm ⁻³)	4	37	3	13
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)*	0,6	1,1	0,2	0,3
P-remanescente (mg kg ⁻¹)	9,8	14,6	26,7	32,6
CMAP (mg L ⁻¹)	1139	994	196	136
Areia (g kg ⁻¹)	104	126	543	500
Silte (g kg ⁻¹)	326	304	327	350
Argila (g kg ⁻¹)	570	570	130	150
Ct (g kg ⁻¹)	203,1	242,0	17,0	21,0
Gb (g kg ⁻¹)	115,9	111,7	1,9	4,3
Hematita (g kg ⁻¹)	4,7	4,7	0,6	0,7
Goethita (g kg ⁻¹)	35,1	34,1	1,1	1,9

O pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1, 1978), Al e análise granulométrica foram determinados conforme Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez V. et al. (2000). P₂O₅ conforme Vettori (1969), com modificações da Embrapa (1997). CMAP = Capacidade máxima de absorção de fósforo, determinada de acordo com Syers et al. (1973). Caulinita (Ct), gibsita (Gb), hematita e goethita foram estimadas por alocação, a partir de dados do ataque sulfúrico (Resende et al., 1987). * ataque sulfúrico.

Nos dois experimentos os tratamentos foram dispostos num delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (2 x 4), com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos por duas condições de uso anterior do solo [solo adjacente sob vegetação de cerrado

(SA) e solo agrícola cultivado por vários anos (SC)] e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo. Esta fonte foi moída em gral de ágata e posteriormente misturada ao solo. O fornecimento das doses de P foi efetuado com base no teor de P₂O₅ total da fonte (46,1%).

A adubação básica para o feijoeiro foi feita com macro e micronutrientes na forma de reagentes p.a: 100 mg de N; 100 mg de K nos solos não cultivados e 30 mg nos solos cultivados; 40 mg de S; 0,8 mg de B; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 5,0 mg de Zn; 0,15 mg de Mo por dm³ de solo. Os nutrientes foram aplicados na forma de solução e o solo homogeneizado posteriormente à aplicação. Após a aplicação dos tratamentos e incubação por 30 dias, mantendo a umidade em 60% VTP, por meio de pesagem dos vasos e adição de água deionizada, foi feita nova amostragem para análise quanto aos atributos químicos (Tabela 3).

Após a incubação procedeu-se a semeadura de seis sementes de feijão por vaso sendo que, aos 12 dias após o plantio foram efetuados desbastes deixando-se apenas três plantas de feijão por vaso. Durante a condução do experimento a umidade foi mantida em 60% VTP (Freire et al., 1980), por meio de pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Foram feitos rodízios semanais com os vasos.

Adubações de cobertura com N e K foram realizadas de acordo com o crescimento das plantas. Os tratamentos conduzidos nos solos cultivados receberam 300 mg de N e 150 mg de K por dm⁻³, enquanto que os solos não cultivados receberam 300 mg de N e 300 mg de K por dm⁻³ parcelados em três aplicações.

No início do florescimento do feijoeiro (38 DAP), foi colhida a parte aérea de uma planta de cada parcela. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C sendo, posteriormente,

TABELA 3 Atributos químicos do Latossolo Vermelho distrófico (LV) e do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA), após aplicação dos tratamentos e antes do plantio do feijão.

Doses de P (mg dm ³)	Uso	pH (H ₂ O)	P-Mehlich	P-resina	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	P-rem.	Matéria orgânica
LV																
0	SA	5,9	1	1	117	1,3	2,0	0,0	3,3	3,5	3,5	6,8	51	0	8,7	34,0
	SC	5,6	10	32	189	2,6	1,4	0,0	3,6	4,4	4,4	8,0	55	0	9,7	29,0
120	SA	6,0	12	32	121	2,0	2,2	0,0	3,2	4,0	4,0	7,1	55	0	9,2	35,0
	SC	5,7	23	77	111	2,8	1,3	0,0	3,2	4,3	4,3	7,5	57	0	12,0	30,0
240	SA	5,8	36	79	122	2,0	2,2	0,0	3,4	4,4	4,4	7,8	56	0	9,9	34,0
	SC	5,7	53	100	176	2,9	1,3	0,1	3,4	4,7	4,7	8,0	58	1	13,0	30,0
480	SA	6,0	73	131	124	2,3	2,2	0,0	3,6	4,8	4,8	8,4	57	0	12,0	35,0
	SC	5,7	82	144	176	3,2	1,3	0,1	3,6	4,9	5,0	8,5	57	2	15,0	30,0
LVA																
0	SA	5,5	1	4	115	1,6	1,8	0,2	3,2	3,2	3,5	6,5	50	7	26,0	24,0
	SC	5,2	11	13	182	2,2	1,1	0,2	2,9	3,8	4,0	6,7	57	5	25,0	25,0
120	SA	5,3	29	36	117	1,9	2,1	0,2	3,6	4,3	4,4	7,8	54	4	28,0	25,0
	SC	5,2	40	51	179	2,4	1,2	0,2	2,9	4,2	4,4	7,1	59	4	29,0	26,0
240	SA	5,3	88	80	123	2,1	2,3	0,2	3,6	4,8	5,0	8,5	57	4	31,0	25,0
	SC	5,2	91	95	187	2,8	1,4	0,2	3,0	4,7	4,9	7,7	61	4	34,0	25,0
480	SA	5,3	171	149	121	2,2	2,0	0,2	3,6	4,5	4,7	8,1	56	4	35,0	27,0
	SC	5,2	181	163	187	3,0	1,3	0,2	3,0	4,8	5,0	7,9	61	4	39,0	26,0

O pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich -1, 1978) e Al foram determinados conforme Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez V. et al. (2000).

trituras e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997). Com base nos teores de P e na produção de matéria seca, foi calculado o acúmulo do nutriente na parte aérea. As duas plantas restantes foram cultivadas até o final do ciclo (75 DAP), ocasião em que a parte aérea foi colhida, sendo os grãos separados e secos em estufa para avaliação da produção. Caules e vagens foram secos em estufa juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea.

Após a retirada das raízes do feijoeiro procedeu-se a semeadura de dez sementes de braquiária por vaso. A adubação básica da braquiária feita antes da semeadura constituiu-se de: 30 mg de N; 30 mg de K; 128 mg de Ca; 20 mg de Mg; 82 mg de S; 2,5 mg de Zn; 1 mg de Cu; 0,5 mg de B e 0,1 mg de Mo por dm^3 de solo, baseada na interpretação da análise química dos solos após o cultivo do feijoeiro (Tabela 4).

Dez dias após o plantio (DAP) foram efetuados os desbastes, deixando-se apenas três plantas por vaso. Foram realizados dois cortes sucessivos no início do florescimento da braquiária sem nenhuma adição de fósforo, ou seja, o crescimento da braquiária foi dependente do efeito residual das doses de P aplicadas antes do cultivo do feijoeiro. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, sendo posteriormente pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea e trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997).

A adubação de cobertura com N e K para os dois cultivos da braquiária foi realizada de acordo com o crescimento das plantas de forma parcelada, fornecendo-se, respectivamente, 210 e 160 mg.dm^{-3} de solo.

TABELA 4 Atributos químicos no Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), após cultivo do feijoeiro (antes do cultivo da braquiária).

Doses de P (mg dm ³)	Uso	pH (H ₂ O)	P-Mehlich	P-resina	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	P-rem.	Matéria orgânica
LV																
0	SA	5,3	0,8	4,7	317	1,5	2,4	0,1	3,6	4,9	5	8,4	56,4	1	9,6	3,5
	SC	4,8	9,5	29,1	195	2,5	1,7	0,1	4,3	4,5	4,7	9,2	52,4	1	10,3	2,9
120	SA	5,1	13,4	29,1	299	1,7	2,7	0	3,8	5,2	5,2	8,8	58,1	0	10,3	3,7
	SC	4,9	20,6	63,7	166	2,9	1,7	0	4,5	4,6	4,6	9	52,3	0	8,5	3,2
240	SA	5,2	21,3	60,5	268	1,9	2,4	0	3,6	5,2	5,2	8,6	57,4	0	10,4	3,5
	SC	5,0	37,0	93	165	2,9	1,8	0	4,3	5,1	5,1	9,4	54,2	0	12,8	3
480	SA	5,3	58,9	128,7	240	2,2	2,6	0	3,8	5,3	5,3	9,3	56,9	0	12,7	3,6
	SC	5,1	75,3	144,8	158	3,1	1,8	0	4,5	5,3	5,3	9,8	54,1	0	15,3	3
LVA																
0	SA	4,8	2,5	4,6	295	1,6	1,9	0,4	4,3	4,8	5,2	9,1	52	8	23,4	2,8
	SC	5,3	8,8	5,9	162	1,9	1,4	0,1	3	3,8	3,9	6,7	55,7	3	29,2	2,4
120	SA	4,7	26,3	34,2	233	1,7	2,3	0,4	4,3	4,5	5,2	8,5	52	8	25,2	2,6
	SC	5,5	29,8	31,8	122	1,9	1,3	0,1	2,8	3,6	3,6	6,3	56,6	3	32	2,2
240	SA	4,8	57,7	65,5	219	1,8	2,1	0,3	3,9	4,6	4,9	8,6	53	6	27,8	2,6
	SC	5,6	65,6	66,2	115	2,1	1,4	0,2	3	3,7	3,8	6,7	55,5	3,7	34,3	2,4
480	SA	4,9	127,6	117,4	154	1,9	2,3	0,4	4,3	4,6	4,9	8,5	52	8,5	34,7	2,6
	SC	5,5	122,1	142	107	2,2	1,2	0,2	3,1	3,8	4	7	54,6	5	39,7	2,6

O pH em água (H₂O), Ca, Mg, K, P (Mehlich –1, 1978) e Al foram determinados conforme Embrapa (1997). H + Al, carbono orgânico e P-resina, conforme Raij et al. (1987), P-remanescente de acordo com Alvarez V. et al. (2000).

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, no momento da retirada das raízes, foram obtidas amostras de solo de cada vaso que, juntamente com as amostras armazenadas na condição inicial do solo (antes da aplicação dos tratamentos), estas foram preparadas para determinação das frações inorgânicas e orgânicas de P pelo fracionamento de Hedley et al. (1982) e do P total de acordo com Bowman (1989).

No fracionamento proposto por Hedley et al. (1982) (Figura 1), o P inorgânico lábil ($Pi-NaHCO_3$) e o P orgânico ($Po-NaHCO_3$) adsorvidos nas superfícies dos colóides foram extraídos com $NaHCO_3$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; o P inorgânico pouco lábil ($Pi-NaOH$), considerado neste trabalho como moderadamente lábil, associado aos óxidos de Fe e Al e o P orgânico ($Po-NaOH$), associado aos compostos húmicos, foram extraídos com $NaOH$ $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e o P inorgânico pouco lábil ($Pi-NaOH$), associado aos óxidos de Fe e Al e o P orgânico ($Po-NaOH$), associado aos compostos húmicos, foram extraídos com $NaOH$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$. O P total do solo foi determinado pela soma dos extratos obtidos por digestão a 120°C , em meio ácido concentrado e em meio alcalino (Bowman, 1989). O P foi determinado por colorimetria em todos os extratos, segundo Murphy & Riley (1962).

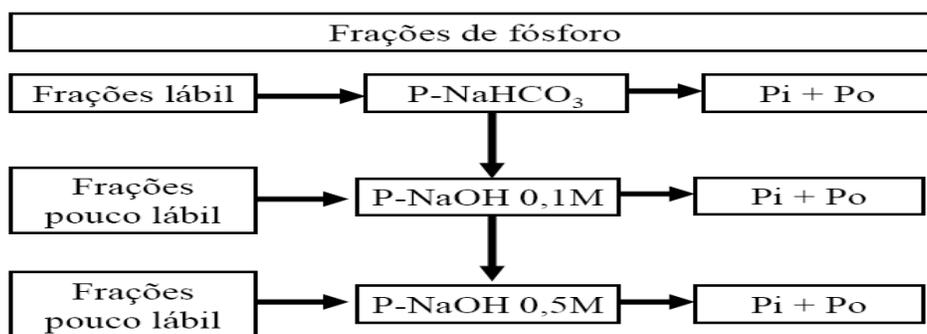


FIGURA 1 Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Hedley et al. (1982).

O conteúdo de P_o das amostras foi estimado a partir da diferença entre o P-total de cada fração ($P_i + P_o$) e o P inorgânico (P_i) recuperado no extrato. O P-total foi determinado numa alíquota que sofreu autoclavagem a 120°C , e o P_i determinado após clarificação de alíquota do mesmo extrato através da acidificação da amostra e centrifugação a 2000 rpm por 15 minutos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de médias (Scott-Knott, 5%) para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Foram ajustadas equações de regressão para as diferentes frações de P no solo como variáveis dependentes das doses de P, utilizando-se o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2000). Também foram realizadas correlações simples por meio de coeficientes de Pearson entre as frações de P no solo após incubação dos tratamentos (antes do feijoeiro) e após o cultivo do feijoeiro (antes da braquiária) com os componentes de produção do feijoeiro e da braquiária, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Latossolo Vermelho distrófico

5.1.1 Frações inorgânicas de fósforo

Observou-se um aumento linear dos teores de P da fração mais lábil (Pi-NaHCO₃) em função das doses do nutriente aplicadas ao solo e, em média, os valores no solo cultivado foram maiores em todas as épocas avaliadas no experimento (Tabela 5). Resultados similares foram observados para as frações inorgânicas de P extraídas com NaOH 0,1M e NaOH 0,5M (menor labilidade), com exceção para Pi-NaOH 0,5M que após o cultivo do feijoeiro que não apresentou diferença significativa entre os históricos de uso (Tabela 5).

A superioridade das frações inorgânicas de P no solo cultivado, principalmente para Pi-NaHCO₃ 0,5M e NaOH 0,1M pode ser explicada pelo fato das adubações fosfatadas anuais, anteriores à instalação do experimento estarem ocupando os sítios de fixação (adsorção + precipitação) de P no solo, e, conseqüentemente, promovendo menor adsorção do P aplicado. Além disso, a adsorção de P, através dos complexos de esfera interna em óxihidróxidos de Fe e Al, provoca aumento das cargas negativas na superfície das partículas do solo, incrementando o potencial elétrico negativo superficial (Lima et al., 2000), bem como a carga elétrica líquida e a CTC efetiva (Dyenia & Camargo, 1998), mesmo em solos altamente intemperizados como os Latossolos da região do Cerrado.

Singh et al. (2006) observaram que a adsorção de fósforo aumentou com a adubação fosfatada, porém, a porcentagem de P adsorvido diminuiu com o incremento das doses de P e estes autores ainda relatam que a adsorção e dessorção de P no solo foi maior e menor, respectivamente, no tratamento correspondente ao histórico de ausência da adubação fosfatada.

TABELA 5 Teores de fósforo inorgânico (Pi) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P inicial	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
				0	120	240	480		
			mg dm ⁻³					
Pi-NaHCO ₃ 0,5 M	AI	SA	5	3 b	16 b	24 b	54 b	Y = 2,5 + 0,10x**	0,99
		SC	19	13 a	32 a	50 a	87 a	Y = 13 + 0,15x**	0,99
	AF	SA	5	5 b	19 b	31 b	60 b	Y = 4,91 + 0,11x**	0,99
		SC	19	20 a	26 a	43 a	91 a	Y = 12,63 + 0,15x**	0,95
	AB	SA	5	4 b	11 b	18 b	47 b	Y = 1,13 + 0,09x**	0,97
		SC	19	13 a	21 a	37 a	66 a	Y = 10,2 + 0,11**	0,98
Pi-NaOH 0,1 M	AI	SA	51	35 b	106 b	150 b	252 b	Y = 43 + 0,44x **	0,99
		SC	168	129 a	216 a	274 a	330 a	Y = 152,7 + 0,4x **	0,93
	AF	SA	51	41 b	116 b	178 b	338 b	Y = 39,01 + 0,62x**	0,99
		SC	168	160 a	212 a	299 a	432 a	Y = 154,44 + 0,58x**	0,99
	AB	SA	51	35 b	87 b	141 b	283 b		
		SC	168	124 a	174 a	243 a	400 a	Y = 70,1 + 0,55x**	0,99
Pi-NaOH 0,5M	AI	SA	46	34 b	53 b	65 b	81 b	Y = 38,6 + 0,09x **	0,95
		SC	107	78 a	76 a	89 a	93 a	Y = 76,54 + 0,03x **	0,82
	AF	SA	46	42 a	53 a	72 a	97 a	Y = 53,07 + 0,12x**	0,99
		SC	107	63 a	78 a	95 a	119 a		
	AB	SA	46	38 b	53,6 b	58 b	99 a	Y = 36,16 + 0,12x **	0,95
		SC	107	62 a	81 a	97 a	24 b	Y = 59,6 + 0,34x - 0,0008x ² **	0,97

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária.

Além da redução da fixação de P em solos cultivados por vários anos, é importante ressaltar também algumas particularidades do sistema de plantio direto (SPD) que contribuem para maiores teores das frações inorgânicas. Neste sistema, tem se observado a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes, inclusive de P, devido à adição consecutiva de fertilizantes na camada superficial e no sulco de plantio, ausência de revolvimento do solo e diminuição da taxa de erosão (Rheinheimer & Anghinoni, 2003; Gatiboni et al., 2007).

É importante observar que, na ausência da adubação fosfatada, as frações inorgânicas de P apresentaram menores valores em relação à condição inicial (Tabela 5), na época, após incubação dos tratamentos. Isso mostra que a instalação do experimento (revolvimento do solo e correção da acidez) contribuiu para modificar a dinâmica destas frações, provavelmente aumentando a fração orgânica de menor labilidade, como observado para Po-NaOH 0,5M (Tabela 6), independente do histórico de uso. Esses resultados não eram esperados, pois, mesmo sem adição de P, com a correção da acidez do solo, possivelmente, ocorreria maior solubilização de compostos de P-Al e P-Fe e mineralização de frações orgânicas de P (Novais & Smyth, 1999), contribuindo para aumentar Pi-NaHCO₃ 0,5M. Também com o revolvimento do solo (mistura do solo com carbonato de cálcio e magnésio), aumentaria o contato do fósforo solubilizado com os sítios de adsorção refletindo em maiores teores de Pi-NaOH neste solo, principalmente por apresentar altos teores de óxidos e Fe e Al.

5.1.2 Frações orgânicas de fósforo

Após a incubação dos tratamentos, observou-se que a fração Po-NaHCO₃, mais lábil entre as frações orgânicas foi maior no solo adjacente em todas as doses de P aplicadas (Tabela 6).

TABELA 6 Teores de fósforo orgânico (Po) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P inicial	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
				0	120	240	480		
.....mg dm ⁻³									
Po-NaHCO ₃ 0,5 M	AI	SA	35	8 a	9 a	14 a	18 a	Y = 7,61 + 0,02x**	0,94
		SC	56	2 b	1 b	11 b	11 b	Y = 1,72 + 0,02x**	0,68
	AF	SA	35	17 b	32 b	60 b	82 b	Y = 18,84 + 0,14x**	0,96
		SC	56	34 a	55 a	72 a	99 a	Y = 36,93 + 0,13x**	0,99
	AB	SA	35	30 a	32 b	39 b	37 b	Y = 31,36 + 0,01x**	0,62
		SC	56	35 a	40 a	48 a	82 a	Y = 29,8 + 0,10x**	0,94
Po-NaOH 0,1M	AI	SA	193	139 b	188 b	264 b	429 a	Y = 125,47 + 0,62x**	0,99
		SC	147	217 a	368 a	348 a	371 b	Y = 233 + 0,94x - 0,001x ² **	0,82
	AF	SA	193	164 b	229 b	261 b	545 a	Y = 133,51 + 0,79x**	0,93
		SC	147	321 a	440 a	486 a	507 b	Y = 364,4 + 0,35x**	0,75
	AB	SA	193	123 b	147 a	202 a	365 a	Y = 99,9 + 0,52x**	0,96
		SC	147	193 a	68 b	82 b	379 a	Y = 189,2 - 1,36x + 0,003x ² **	0,99
Po-NaOH 0,5 M	AI	SA	12	40 b	52 b	88 a	36 b	Y = 34,4 + 0,35x - 0,0007x ² **	0,80
		SC	23	52 a	86 a	80 a	81 a	Y = 55,7 + 0,21x - 0,0003x ² **	0,76
	AF	SA	12	49 b	70 b	136 a	97 b	Y = 41,1 + 0,53x - 0,0008x ² **	0,80
		SC	23	76 a	81 a	132 b	144 a	Y = 75,35 + 0,15x**	0,84
	AB	SA	12	71 b	134 a	146 a	123 b	Y = 99,9 + 0,52x**	0,98
		SC	23	175 a	108 b	90 b	167 a	Y = 173,8 - 0,7x + 0,0014x ² **	0,98

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária.

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, esta fração foi maior na condição de solo cultivado. Este comportamento pode ter ocorrido em função de uma maior atividade biológica na área não cultivada após incubação dos tratamentos, e na condição de solo já cultivado, após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, contribuindo para uma maior incorporação do P aplicado nessa fração, como também destacado por Buehler et al. (2002). Com o incremento das doses de P, houve um ajuste linear para os dois históricos de uso, em todas as épocas avaliadas.

A fração Po-NaOH 0,1M, após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, também foi maior no solo cultivado, com exceção na dose de 480 mg.dm⁻³. As médias se ajustaram ao modelo linear em função das doses de P, exceto no solo cultivado após a incubação dos tratamentos (Tabela 6). Após os cortes da braquiária o Po-NaOH 0,1M foi maior no solo adjacente, exceto no tratamento que não recebeu P. Portanto, de maneira geral, Po-NaOH 0,1M, tendeu a ser maior no solo adjacente, nas maiores doses de P e em condições de maior extração de P pelas plantas. Já as frações de Po-NaOH 0,5M, em geral, tenderam a serem maiores para o solo cultivado sendo que suas médias se ajustaram-se de forma quadrática em função das doses de P (Tabela 6).

A fração de Po-NaOH 0,1M em todos os tratamentos e épocas de avaliação foi maior em relação a Pi-NaOH 0,1M, e com o aumento das doses de P, em geral, aumentaram de forma linear, diferentemente de Conte et al. (2003), que não encontraram diferença nesta fração com o aumento de doses de P em um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto por mais de cinco anos. Estes resultados são importantes pois o compartimento orgânico, além de diminuir a reatividade do P com o solo, ainda é tido como mais dinâmico, principalmente em condições de baixo P ou onde predomina argila de baixa atividade, como o solo em estudo (Sá, 2004; Raij, 2004).

A grande variedade de compostos orgânicos no solo faz com que mais da metade das formas de fósforo orgânico ainda não tenham sido identificadas. Alguns destes, como ácidos nucleicos e fosfolipídios com ligação diéster, possuem estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis e, por isso, as quantidades armazenadas no solo são pequenas. Já os fosfatos monoésteres, como o fosfato de inositol, apresentam alta energia de ligação com a estrutura química da molécula e alta carga residual, o que lhes confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece seu acúmulo no solo, sendo de baixa labilidade e disponibilidade às plantas (Rheinheimer et al., 2002).

Diversos autores reportam às frações menos lábeis uma atuação de fonte ou de dreno do fósforo disponível quando a quantidade de P adicionada via fertilizante é maior que a quantidade exportada pelo sistema (absorção das plantas e perdas), sendo a porção remanescente estabilizada em formas de labilidade intermediária, que atua como dreno do fósforo adicionado. Por outro lado, quando a adição de fertilizantes é aquém da exportação de fósforo do sistema, as formas de fósforo de labilidade intermediária atuam como fonte, mantendo os teores da solução do solo (Conte et al., 2003; Gatiboni et al., 2007).

Neste contexto, observou-se que, após a incubação dos tratamentos, as frações de Po-NaHCO₃ foram menores em relação à condição inicial e também nas menores doses de P, após o cultivo do feijoeiro e os cortes sucessivos da braquiária (Tabela 6). A fração Po-NaOH 0,1M também foi menor em relação à condição inicial nas menores doses de P, mas somente no solo adjacente. Estes resultados indicam que, com a instalação do experimento (revolvimento do solo e correção da acidez), desencadeou-se um processo de mineralização das frações orgânicas de P de labilidade maior e intermediária, evidenciando a importância do Po como fonte de P às plantas, principalmente em solos intemperizados e/ou

em sistemas com baixas adições de fertilizantes fosfatados (Rheinheimer et al., 2008; Santos et al., 2008).

5.1.3 Fração inorgânica e orgânica total e P total Bowman

A fração inorgânica total de P (Pi-total) no solo, determinada no presente estudo, inclui a soma de Pi-NaHCO₃ 0,5 M com Pi-NaOH 0,1 e 0,5M e, do mesmo modo, a fração orgânica total (Po-total). Já o P total Bowman foi obtido pela soma de P do extrato ácido concentrado com o P do extrato álcali.

A fração inorgânica total, orgânica total e o P total Bowman foram maiores no solo cultivado em todas as épocas avaliadas e, doses de fósforo, exceto para Po-total após o cultivo da braquiária, nas doses intermediárias de P e P-total Bowman após o cultivo do feijoeiro na maior dose de P (Tabela 7). As frações Pi e Po-total e P total Bowman apresentaram um aumento crescente em função das doses de P, com exceção do Po-total no solo cultivado após incubação dos tratamentos e cultivo da braquiária, onde as médias se ajustaram ao modelo polinomial quadrático (Tabela 7).

Portanto, estes resultados mostram que o histórico de uso e a adubação fosfatada influenciaram as frações inorgânicas e orgânicas de P no solo. Com a adição de fertilizantes fosfatados há um acúmulo de fósforo em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação e, neste processo, a adsorção do fósforo ocorre primeiramente nos sítios de menor labilidade e, posteriormente, o P remanescente é redistribuído em frações retidas com menor energia e de maior disponibilidade às plantas, comparativamente ao sistema de cultivo convencional (Rheinheimer et al., 2000). Os maiores valores encontrados para o P total Bowman no solo cultivado também indicam que a adubação fosfatada e aplicação de calcário, são as causas dos acréscimos nos teores de P total do solo.

TABELA 7 Teores de fósforo inorgânico e orgânico total e P-total Bowman em amostras do Latossolo Vermelho com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P Inicial	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
				0	120	240	480		
			mg.dm ⁻³					
Pi-total ²	AI	SA	102	73 b	175 b	240 b	387 b	Y = 84,2 + 0,64x **	0,99
		SC	294	213 a	325 a	407 a	511 a	Y = 237 + 0,6x **	0,96
	AF	SA	102	88 b	188 b	281 b	495 b	Y = 158,57 + 0,85x**	0,99
		SC	294	243 a	316 a	437 a	642 a		
	AB	SA	102	77 b	151 b	217 b	429 b	Y = 64,38 + 0,73x **	0,98
		SC	294	199 a	276 a	377 a	488 a	Y = 207,64 + 0,61x **	0,98
Po-total ³	AI	SA	240	187 b	249 b	365 b	476 a	Y = 189,58 + 0,62x **	0,97
		SC	226	277 a	455 a	431 a	477 a	Y = 296,6 + 1x - 0,001x ² **	0,82
	AF	SA	240	230 b	331 b	457 b	724 b	Y = 220,44 + 1,01x**	0,99
		SC	226	431 a	576 a	690 a	750 a	Y = 474,15 + 0,63x**	0,84
	AB	SA	240	223 b	313 a	387 a	525 b	Y = 231,1 + 0,62x**	0,99
		SC	226	395 a	206 b	207 b	628 a	Y = 391 - 2,1x + 0,005x ² **	0,99
P total Bowman ⁴	AI	SA	400	663 b	733 b	896 b	1371 b	Y = 596,1 + 1,52x **	0,96
		SC	543	923 a	981 a	1321 a	1549 a	Y = 901 + 1,4x**	0,94
	AF	SA	400	407 b	859 b	976 b	2105 a	Y = 362,40 + 3,45x**	0,96
		SC	543	967 a	1298 a	1833 a	1834 b	Y = 1099,12 + 1,83x**	0,77
	AB	SA	400	449 b	607 b	782 b	1060 b	Y = 635,22 + 1,19x**	0,99
		SC	543	754 a	905 a	1087 a	1322 a		

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. 1 AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária. ² Pi-total = somatório das frações Pi-NaHCO₃, Pi-NaOH 0,1 M e Pi-NaOH 0,5 M; ³ Po total = somatório das frações Po-NaHCO₃, Po-NaOH 0,1 M e Po-NaOH 0,5 M e ⁴ P total Bowman = fósforo total do solo determinado conforme Bowman (1989).

Em geral, as frações de Po-total apresentaram maiores teores do que as frações de Pi-total em todas as épocas avaliadas no experimento, independente do histórico de uso e doses de P (Tabela 7). A maior preservação do P no compartimento orgânico pode ter ocorrido em função da alta quantidade de minerais de ferro e alumínio, (Tabela 2), responsáveis por uma forte interação com o fosfato de inositol. Essa é a principal forma de Po extraída pelo NaOH e possui alta densidade de cargas podendo precipitar-se como compostos de alumínio e ferro de baixa solubilidade, conferindo maior estabilidade contra o ataque de microrganismos e enzimas (Zhang et al., 1999). Porém, Araújo & Salcedo (1997) observaram em solos de propriedades físicas e químicas diferentes, após dezoito meses da aplicação de P no sulco de plantio da cana-de-açúcar, maior recuperação de formas inorgânicas de P.

É importante ressaltar o incremento de Po-total em função da adubação fosfatada, principalmente no solo cultivado, diferentemente do que foi observado por Conte et al. (2003). Esse incremento, provavelmente é consequência da adição consecutiva de fertilizantes fosfatados a mais de dez anos e ausência de revolvimento do solo, que, juntos, proporcionaram saturação dos sítios de adsorção de maior afinidade pelo fósforo (Rheinheimer et al., 2000), favorecendo as formas orgânicas de P.

Esses resultados são importantes, pois com a mineralização do P-orgânico, o P inorgânico pode ser reassimilado pelos microrganismos, reagir com os componentes minerais do solo e ser absorvido pelas plantas. Essa dinâmica provavelmente ocorreu com as frações orgânicas neste trabalho, pois além delas terem aumentado após a aplicação de P, principalmente na condição cultivada, também tenderam a diminuir após o cultivo da braquiária. Do ponto de vista de manejo, este aspecto seria bastante relevante, pois, em solos altamente intemperizados sob sistema de plantio direto por longo tempo, a disponibilidade de P pode depender mais da ciclagem da matéria orgânica do

solo do que da dessorção de P inorgânico (Raij, 2004), o que permitiria a redução das doses de P nos cultivos subseqüentes.

Chamam a atenção os baixos valores do P total Bowman, principalmente para a condição inicial (anterior à aplicação dos tratamentos) e também quando foram fornecidas as menores doses de P para o cultivo do feijoeiro, sugerindo haver um baixo P residual nesses solos, confrontando com outros resultados de pesquisas que tem mostrado comportamento inverso (Santos et al., 2008b). No entanto, deve-se considerar que foram utilizadas diferentes metodologias de extração para as frações de P e para o P total, o que pode ter contribuído para tal comportamento.

5.1.4 Disponibilidade de fósforo

No presente trabalho, a fração de P considerada disponível para as plantas foi obtida pelo fracionamento de Hedley et al. (1982) constituída pela soma do $P_i + P_o\text{-NaHCO}_3$ (P-lábil) e a fração pouco lábil de P foi obtida pela soma de $P_i + P_o\text{ NaOH } 0,1$ e $\text{NaOH } 0,5\text{M}$.

Em geral, as frações lábeis e pouco lábeis de P foram maiores na condição cultivada, independente das doses de P e épocas de avaliação (Tabela 8).

As frações de P-lábil aumentaram de forma linear em função das doses de P em todas as épocas avaliadas do experimento, independente do histórico de uso (Figuras 2a, 2b e 2c). Para a fração de P pouco lábil, o ajuste às médias observadas em função das doses de P foi quadrático e linear, respectivamente, após a incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, independente do histórico de uso (Figuras 2d e 2e). Já após o cultivo da braquiária os ajustes em função das doses de P foram quadrático e linear, respectivamente, na condição cultivada e não cultivada (Figura 2f).

TABELA 8 Frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-pouco lábil) no Latossolo Vermelho, com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de P e épocas de avaliação.

Fósforo	Épocas ¹	Uso	P inicial	Doses de P			
				0	120	240	480
.....mg.dm ⁻³							
P-lábil	AI	SA	40	12 a	24 b	39 b	69 b
		SC	75	14 a	33 a	58 a	102 a
	AF	SA	40	22 b	51 b	91 b	142 b
		SC	75	54 a	81 a	115 a	190 a
	AB	SA	40	34 b	43 b	57 b	84 b
		SC	75	47 a	61 a	85 a	149 a
P-pouco lábil	AI	SA	302	244 b	397 b	565 b	795 b
		SC	445	465 a	751 a	755 a	908 a
	AF	SA	302	296 b	468 b	647 b	1077 b
		SC	445	620 a	811 a	1012 a	1202 a
	AB	SA	302	276 b	421 a	532 a	870 a
		SC	445	538 a	426 a	547 a	968 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ AI = após incubação dos tratamentos; AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivos da braquiária.

A superioridade dos valores de P-lábil e P-pouco lábil (após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro) na condição cultivada se deve ao fato dessa área ter recebido adubações anuais de P por mais de dez anos para o plantio de milho e soja em rotação e também de uma adubação corretiva de 650 kg.ha⁻¹ de fosfato de Gafsa. Isso provavelmente promoveu, além de uma saturação dos sítios de adsorção, um aumento na densidade de cargas negativas e consequentemente menor adsorção do P aplicado (Buehler et al., 2002; Singh et al., 2006). Outro fator que também pode ajudar a explicar esse comportamento, apesar de ter sido comum para os dois históricos de uso, é a calagem feita antes da aplicação dos tratamentos, diminuindo a adsorção de P seja pelo aumento de cargas negativas do solo, maior solubilização de compostos de P-Fe e P-Al ou

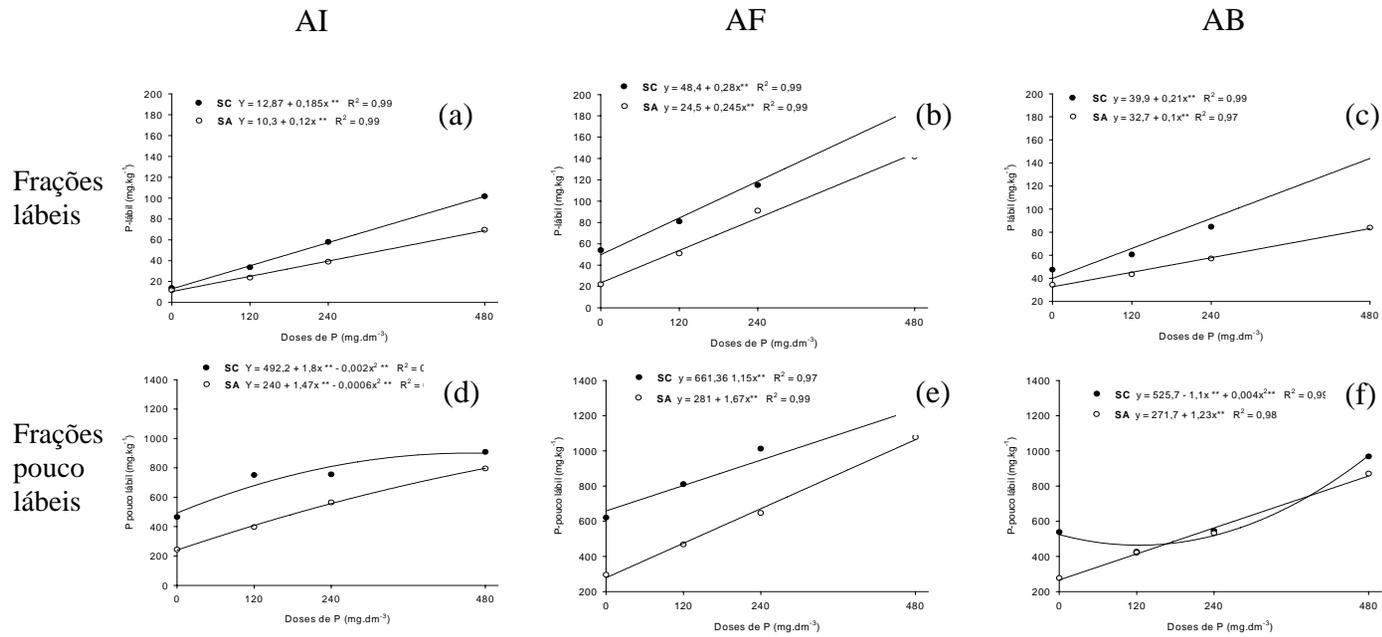


FIGURA 2 Frações de fósforo lábil e pouco lábil num Latossolo Vermelho, com diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação. Após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e após cortes sucessivos de braquiária (AB), respectivamente: (a), (b) e (c) = P lábil e (d), (e) e (f) = P pouco lábil.

por propiciar uma maior decomposição da matéria orgânica e consequentemente aumentar a mineralização do Po no solo cultivado (Silva et al., 2000).

É importante destacar que, assim como as frações de Pi e Po extraídas com NaHCO_3 0,5M, NaOH 0,1 e NaOH 0,5M, na maioria dos tratamentos, aumentaram seus valores com o cultivo do feijoeiro em relação ao período após incubação dos tratamentos, as frações P-lábil e P-pouco lábil também apresentaram o mesmo comportamento. Alguns fatores podem explicar o aumento destas frações após o cultivo do feijoeiro: maior crescimento da biomassa microbiana, transformação de formas mais estáveis de Po em formas mais lábeis com o cultivo do feijoeiro (Chen et al., 2002), dessorção e readsorção de P com diferentes energias de ligação, solubilização de compostos de Pi ligados a Fe, Al, Ca, e da própria fonte de P utilizada. Fatores relacionados com o preparo do solo, os tratamentos, correção da acidez do solo e cultivo com o feijoeiro podem ter contribuído em diferentes intensidade para que estas reações acontecessem.

Após o cultivo da braquiária, tanto a fração lábil como a pouco lábil tiveram seus valores reduzidos, expressando seu caráter fonte, principalmente a fração pouco lábil na condição cultivada (10 anos de SPD), refletindo as alterações das frações Pi e Po NaOH 0,1M (Tabelas 5 e 6) que, além de representarem maior participação na fração pouco-lábil, mostraram a mesma tendência de redução após o cultivo da braquiária. Portanto, esses resultados sugerem que há uma maior reposição do P para a solução do solo das frações de Pi e Po-NaOH 0,1M, principalmente na condição cultivada, o que contribuiu para que a fração pouco lábil não diferisse entre os históricos de uso após o cultivo da braquiária nos tratamentos que receberam fósforo (Tabela 8).

5.1.5 Produtividade do feijoeiro e da braquiária

A produção de grãos, matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de P na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro aumentaram em função das doses de P, independente do histórico de uso (Figuras 3a, 3b e 3c). Para a produção de MSPA e CPPA, acumulados de dois cortes da braquiária, as médias se ajustaram com o aumento das doses de P ao modelo polinomial linear nos históricos de uso (Figuras 4a e 4b).

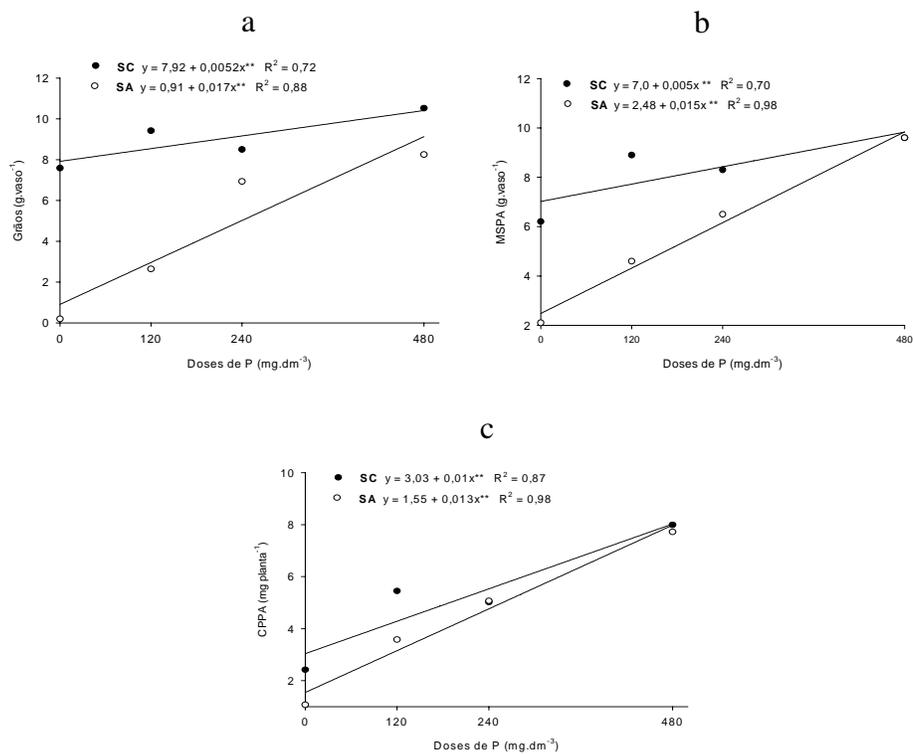


FIGURA 3 Produção de grãos (a), matéria seca da parte aérea (b) e conteúdo de P na parte aérea no florescimento (c) do feijoeiro em função das doses de fósforo num Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

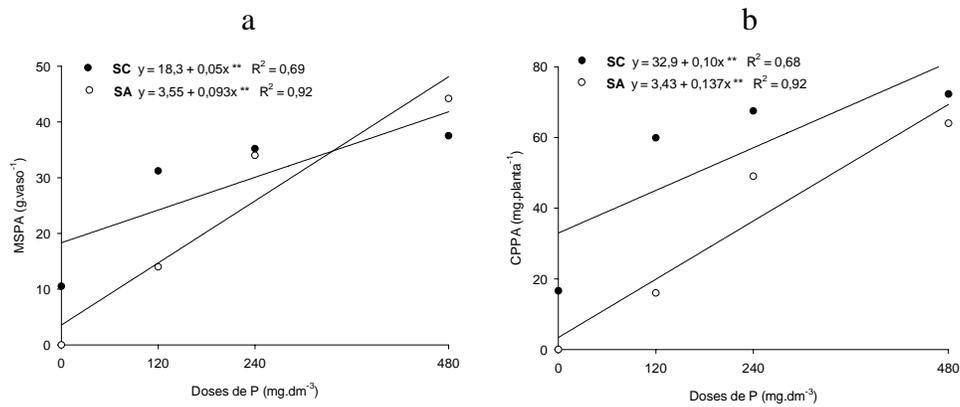


FIGURA 4 Matéria seca da parte aérea (a) e conteúdo de P na parte aérea (b) de dois cultivos sucessivos de braquiária em função das doses de fósforo num Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

As maiores produções estiveram associadas à condição de solo cultivado. Porém, para a produção de grãos do feijoeiro, MSPA e CPPA do feijoeiro e da braquiária, observou-se maior incremento por unidade de P adicionado na condição de solo não cultivado (maiores resposta à adubação fosfatada), como mostra o coeficiente angular do modelo linear ajustado para as médias observadas (Figura 3), o que contribuiu para uma tendência de equiparação na produção de grãos na maior dose de P. No solo adjacente, precisou-se de uma dose em torno de 500 mg dm^{-3} , para as variáveis relacionadas ao feijoeiro e CPPA da braquiária se igualassem com as médias observadas no solo cultivado e para a produção de MSPA da braquiária a dose que proporcionou este resultado foi de 400 mg dm^{-3} . Isso confirma as informações de Raj (1991) de que os efeitos da adubação fosfatada sobre as culturas são mais visíveis em solos de baixa fertilidade.

Observa-se também que a porcentagem de recuperação de P adicionada pelas plantas (feijoeiro + braquiária) diminuiu com o aumento das doses de P e foi maior no solo cultivado (Figura 5).

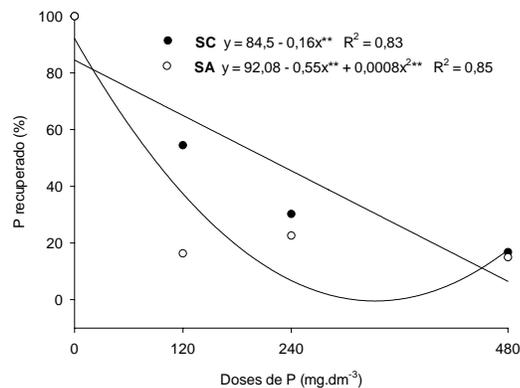


FIGURA 5 Porcentagem de recuperação pelas plantas (feijoeiro + braquiária) do P adicionado em função das doses e histórico de uso (solo adjacente (SA) e cultivado (SC)).

Deste modo, esses resultados mostram que, quando já existe alguma saturação dos sítios de adsorção de P no solo, uma porção mais expressiva do nutriente fornecido na adubação subsequente é incorporada pelo vegetal, aumentando a eficiência de absorção do fósforo. Neste contexto, é provável que uma eventual redução nas adubações de manutenção, baseadas em tabelas de interpretação de análises de solo de rotina, não tenha maior impacto na produtividade de áreas que vêm sendo cultivadas por longos períodos e sem revolvimento do solo.

5.1.6 Coeficientes de correlação

O teor do nutriente extraído por um método de análise química é indicador da disponibilidade do mesmo, se apresentar correlação significativa

com algum indicador da planta, como a quantidade do nutriente absorvida ou a produção (Corey, 1987). Neste trabalho, observou-se que, em geral, houve uma correlação significativa e positiva da produção de MSPA e CPPA do feijoeiro e da braquiária e também da produção de grãos do feijoeiro com as frações de P no solo, extraídas pelo fracionamento de Hedley nos dois históricos de uso (Tabela 9).

Neste trabalho observou-se, em geral, que as correlações foram mais expressivas para o solo na condição não cultivada, indicando que nessa condição há maior dependência entre as variáveis das plantas e as diversas formas de P no solo em relação à condição já cultivada anteriormente. Por outro lado, os coeficientes de correlação entre a produção de MSPA da braquiária, na condição cultivada, com as frações de Pi-NaOH 0,1 e NaOH 0,5M e P-pouco lábil não foram significativos, mostrando que a intensidade da relação entre essas variáveis é baixa ou inexistente. Porém, é importante destacar que os teores destas frações tenderam a reduzir-se após os cultivos da braquiária quando comparados com o período após o cultivo do feijoeiro, o que não descarta a hipótese de que estas frações contribuíram para a nutrição da braquiária.

TABELA 9 Coeficientes de correlação entre as diversas formas de P extraídas antes do cultivo do feijoeiro e da braquiária com a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e da braquiária e com produção de grãos (GRÃOS) do feijoeiro, no Latossolo Vermelho, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

Variável	Pi bic	Po bic	Pi hid 0,1	Po hid 0,1	Pi hid 0,5	Po hid 0,5	P-total	Pp.lábil	P lábil
Feijoeiro									
Solo cultivado									
MSPA	0,66 **	0,79 **	0,72 **	0,79 **	0,75 **	0,61 **	0,70 **	0,81 **	0,76 **
CPPA	0,86 **	0,91 **	0,89 **	0,84 **	0,90 **	0,74 **	0,77 **	0,92 **	0,90 **
GRÃOS	0,72 **	0,71 **	0,70 **	0,63 **	0,71 **	0,51 *	0,56 *	0,74 **	0,77 **
Solo adjacente									
MSPA	0,97 **	0,96 **	0,97 **	0,91 **	0,96 **	0,61 **	0,94 **	0,97 **	0,97 **
CPPA	0,96 **	0,96 **	0,97 **	0,90 **	0,95 **	0,64 **	0,94 **	0,96 **	0,97 **
GRÃOS	0,92 **	0,97 **	0,91 **	0,80 **	0,92 **	0,82 **	0,85 **	0,90 **	0,96 **
Braquiaria									
Solo cultivado									
MSPA	0,73 **	0,75 **	-0,05 ns	0,62 *	0,08 ns	-0,46 *	0,76 **	0,38 ns	0,68 *
CPPA	0,71 **	0,61 *	0,72 **	0,09 ns	-0,03 ns	-0,45 ns	0,81 **	0,37 ns	0,67 **
Solo adjacente									
MSPA	0,88 **	0,68 **	0,92 **	0,88 **	0,87 **	0,57 *	0,93 **	0,93 **	0,92 **
CPPA	0,88 **	0,65 **	0,92 **	0,87 **	0,85 **	0,56 *	0,94 **	0,92 **	0,91 **

Pi e Po bic = Pi e Po NaHCO₃ 0,5M, Pi e Po hid 0,1 e 0,5 = Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M, Pp. Lábil = P pouco lábil (somatório de Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M) e P-lábil = somatório de Pi e Po NaHCO₃ 0,5M. ns = não significativo. ** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

5.2 Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico

5.2.1 Frações inorgânicas de fósforo

As frações inorgânicas de P extraídas com NaHCO_3 0,5M, NaOH 0,1 e NaOH 0,5M em geral foram maiores no solo cultivado em todas as épocas avaliadas e doses de P e ainda foram crescentes com o aumento das doses de fósforo (Tabela 10).

Os maiores teores das frações inorgânicas de P no solo cultivado, assim como observado no LV, podem ser explicados em função de uma maior saturação dos sítios de ligação de P pelas adubações recebidas antes da instalação do experimento (Tabela 2).

O Latossolo Vermelho-Amarelo possui menor fator capacidade de fósforo (FCP) por apresentar menor teor de argila, óxidos de Fe e Al e maior P-remanescente (Tabela 2), em relação ao Latossolo Vermelho. Essa diferença é essencial para o entendimento do comportamento da planta em diferentes solos, dos extratores de P, do aproveitamento de fontes de P, da recomendação de adubação, possíveis perdas e do efeito residual do P aplicado ao solo (Novais et al., 2007).

Assim, a redução dos teores das frações de Pi-NaHCO_3 0,5M e Pi-NaOH 0,1M, principalmente no solo cultivado, logo após o cultivo do feijoeiro em relação à época após incubação dos tratamentos (o que não foi verificado no LV), pode ser explicada pelo menor FCP, mostrando uma menor capacidade de manter a concentração de P disponível após absorção pelas plantas. A maior magnitude de recuperação de Pi-NaHCO_3 0,5M em relação a Pi-NaOH 0,5M foi observada para o LVA, possivelmente em função do menor teor de argila e óxidos de Fe e Al e, conseqüentemente menor FCP.

TABELA 10 Teores de fósforo inorgânicos (Pi) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P Inicial		Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
					0	120	240	480		
					mg dm ⁻³					
Pi-NaHCO ₃ 0,5 M	AI	SA	5	4 b	28 b	54 b	130 a	Y = 4,2 + 0,16x + 0,0002x ² **	0,99	
		SC	14	12 a	37 a	81 a	136 a	Y = 11,2 + 0,26x**	0,99	
	AF	SA	5	3 b	19 b	46 b	98 b	Y = - 0,83 + 0,20x**	0,99	
		SC	14	7 a	27 a	57 a	107 a	Y = 4,88 + 0,21x**	0,99	
	AB	SA	5	3 b	16 b	35 b	79 b	Y = 2,85 + 0,1x + 0,00018x ² **	0,99	
		SC	14	7 a	23 a	43 a	98 a	Y = 2,26 + 0,19x**	0,98	
Pi-NaOH 0,1 M	AI	SA	23	18 b	68 b	118 b	211 b	Y = 19,4 + 0,4x**	0,99	
		SC	56	60 a	103 a	170 a	271 a	Y = 57,2 + 0,45x**	0,99	
	AF	SA	23	16 b	74 b	111 b	212 a	Y = 19,43 + 0,4x**	0,99	
		SC	56	47 a	101 a	145 a	213 a	Y = 55,13 + 0,34x**	0,99	
	AB	SA	23	15 b	48 b	85 b	72 b	Y = 12,1 + 0,43x - 0,00065x ² **	0,97	
		SC	56	33 a	69 a	106 a	181 a	Y = 32,2 + 0,31x**	0,99	
Pi-NaOH 0,5M	AI	SA	7	8 b	12 b	16 b	28 b	Y = 10,85 + 0,042x**	0,99	
		SC	14	15 a	18 a	25 a	35 a			
	AF	SA	7	8 b	14 b	16 b	24 b	Y = 8,78 + 0,03x**	0,97	
		SC	14	15 a	19 a	23 a	30 a	Y = 15,53 + 0,03x**	0,99	
	AB	SA	7	8 b	11 b	13 b	19 b	Y = 7,85 + 0,02x**	0,99	
		SC	14	13 a	16 a	21 a	27 a	Y = 12,8 + 0,03x**	0,99	

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária.

Após os cortes da braquiária as frações inorgânicas diminuíram, inclusive a Pi-NaOH 0,5M. Portanto, o comportamento dessa fração diante de uma maior extração de P, mostra que ela é similar à fração NaOH 0,1M, mas devido à sua maior interação com o solo seus efeitos são observados mais tardiamente após depleção dos estoques de P das frações mais lábeis, principalmente em solos mais oxídicos, como o LV utilizado neste trabalho, pois, no LV, após os cortes da braquiária, a redução de Pi-NaOH 0,5M não foi tão clara, ocorrendo apenas em alguns tratamentos (Tabela 5).

O fósforo adicionado do solo no LVA tendeu a acumular-se em todas as etapas avaliadas, na seguinte ordem: Pi-NaOH 0,1M > Pi-NaHCO₃ 0,5M > Pi-NaOH 0,5M.

Com o cultivo do feijoeiro e da braquiária, Pi-NaHCO₃ 0,5M e Pi-NaOH 0,1M, tenderam a reduzir os seus teores em relação à condição inicial (Tabela 10). Houve redução também para Pi-NaOH 0,5M, mas apenas no solo cultivado e após os cortes da braquiária (Tabela 10). Esse comportamento indica que, possivelmente, houve um suprimento de P para as plantas, proveniente destas frações de Pi. Gatiboni et al. (2007) observaram que em tratamentos com os teores de P-resina abaixo do nível crítico, as formas inorgânicas de P foram responsáveis por, em média, 20% do P absorvido pelas plantas. Já nas amostras acima do nível crítico, estas foram responsáveis, em média, por 51% do P absorvido.

A disponibilidade de P às plantas é muito afetada pelo FCP, o qual depende da relação entre os fatores quantidade (P-lábil) e intensidade (P-solução) e correlaciona-se positivamente com a capacidade de fixação de P no solo. Numa comparação simplificada, pode-se considerar que os solos mais arenosos (LVA) possuem menor FCP que os argilosos (LV) e, portanto, competem menos com a planta pelo fósforo adicionado via fertilizante devido a uma menor fixação e maior incremento do P disponível após adubações,

proporcionando maior absorção do nutriente pelas plantas. Porém, os solos arenosos são exauridos mais facilmente com o cultivo contínuo, ou seja, possuem menor capacidade de reserva de P (Novais & Smyth, 1999).

5.2.2 Frações orgânicas de fósforo

Com aumento das doses de P e extrações do nutriente pelas plantas, a fração Po-NaHCO₃ 0,5M tendeu a ser maior no solo cultivado. Em todas as etapas avaliadas ao longo do experimento as médias foram ajustadas ao modelo linear e quadrático, respectivamente, no solo adjacente e cultivado (Tabela 11). Este comportamento pode ter ocorrido em função de um maior estímulo à atividade biológica na área não cultivada contribuindo para uma maior incorporação do P aplicado em Po-NaHCO₃ 0,5M, como também observado por Buehler et al. (2002) e no LV após a incubação dos tratamentos (Tabela 6).

A fração Po-NaOH 0,1M foi maior no solo cultivado, exceto na maior dose de P (480 mg dm⁻³) após a incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro. Após o cultivo da braquiária as médias já foram maiores no solo adjacente, exceto no tratamento sem fósforo (Tabela 11). O ajuste desta fração, em todas as etapas do experimento, foi linear e quadrático, respectivamente, na condição não cultivada e cultivada.

É importante destacar a redução dos teores de Po-NaOH 0,1M em relação à condição inicial nas menores doses de P (0 e 120 mg dm⁻³) em todas as épocas avaliadas (Tabela 11), indicando que deve estar havendo uma mineralização do Po dessa fração, podendo o P mineralizado suprir as formas lábeis de P e ser absorvido pelas plantas ou ser adsorvido em formas menos

TABELA 11 Teores de fósforo orgânico (Po) extraídos sequencialmente por NaHCO₃ 0,5M, NaOH 0,1M e NaOH 0,5M em amostras do Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P Inicial	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
				0	120	240	480		
			mg.dm ⁻³					
Po-NaHCO ₃ 0,5 M	AI	SA	18	34 b	54 b	85 a	102 a	Y = 38,84 + 0,14x **	0,93
		SC	31	47 a	70 a	73 b	86 b	Y = 48,6 + 0,15x - 0,00016x ² **	0,95
	AF	SA	18	12 b	28 a	34 a	43 a	Y = 16,29 + 0,06x**	0,90
		SC	31	22 a	18 b	14 b	29 b	Y = 23,1 - 0,07x + 0,0002x ² **	0,95
	AB	SA	18	46 a	61 a	70 a	80 a	Y = 50 + 0,07x **	0,91
		SC	31	47 a	38 b	43 b	61 b	Y = 46,3 - 0,07x + 0,0002x ² **	0,97
Po-NaOH 0,1M	AI	SA	86	82 b	67 b	111 b	103 a	Y = 77,8 + 0,06x**	0,42
		SC	143	97 a	119 a	290 a	85 b	Y = 70,5 + 1,32x - 0,0026x ² **	0,69
	AF	SA	86	63 b	73 b	94 b	178 a	Y = 50,34 + 0,24x**	0,94
		SC	143	86 a	89 a	159 a	119 b	Y = 75,3 + 0,43x - 0,0007x ² **	0,62
	AB	SA	86	72 b	92 a	95 a	188 a	Y = 61,8 + 0,23x**	0,90
		SC	143	86 a	79 b	97 a	121 b	Y = 78,54 + 0,08x**	0,84
Po-NaOH 0,5 M	AI	SA	1	18 b	41 a	68 a	84 a	Y = 24,23 + 0,13x **	0,92
		SC	6	28 a	26 b	25 b	34 b	Y = 27,7 - 0,03x + 0,00009x ² **	0,99
	AF	SA	1	10 b	19 b	28 b	36 b	Y = 12,14 + 0,05x**	0,96
		SC	6	26 a	35 a	55 a	73 a	Y = 25,89 + 0,1x**	0,98
	AB	SA	1	61 a	68 a	61 a	68 a	ns	-
		SC	6	69 a	13 b	18 b	29 b	Y = 63,7 - 0,4x + 0,00068x ² **	0,85

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária.

lábeis no solo, como também destacado por Santos (2008). Este comportamento também foi observado no LV, mas somente na condição não cultivada (Tabela 6). Rheinheimer, et al. (2008) destacaram que em condições de baixa disponibilidade de P, formas de Po de labilidade intermediárias atuam como fonte, principalmente em solos com menor teor de argila e óxidos de Fe e Al, pois apresentam menor proteção física da matéria orgânica contra o ataque dos microrganismos decompositores (Moreira & Siqueira, 2006).

Ao comparar a magnitude dos teores das frações orgânicas, após a extração das plantas, observa-se que após o cultivo do feijoeiro, todas estas tenderam a diminuir, exceto o Po-NaOH 0,5M no solo cultivado, nos tratamentos que receberam doses de fósforo e após o cultivo da braquiária. Esse comportamento foi melhor visualizado para as frações Po-NaOH 0,1 e 0,5M no solo cultivado e nas doses intermediárias de P (Tabela 11).

Esses resultados mostram que, provavelmente, ocorreu maior mineralização e/ou transformação de frações orgânicas de labilidade intermediária em frações de maior labilidade após o cultivo das plantas (aumento de Po-NaHCO₃ 0,5M) no solo já cultivado anteriormente, devido, provavelmente, a uma menor recalcitrância destes compostos e/ou maior atividade de microrganismos decompositores. O mesmo comportamento foi observado no LV, porém apenas para Po-NaOH 0,1, após os cortes da braquiária (Tabela 6).

5.2.3 Fração inorgânica e orgânica total e P total Bowman

A fração de Pi-total foi maior no solo cultivado em todas as épocas avaliadas no experimento e teve modelos lineares de ajuste (Tabela 12). A fração de Po-total foi maior no solo cultivado, exceto na maior dose de P após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro. Os modelos de resposta foram, respectivamente, quadrático e linear, após a incubação dos tratamentos e após

TABELA 12 Teores de fósforo inorgânico e orgânico total e P-total Bowman em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

44

Frações de P	Épocas ¹	Uso	P Inicial	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
				0	120	240	480		
.....mg.dm ⁻³									
Pi-total ²	AI	SA	35	29 b	109 b	188 b	359 b	Y = 27,12 + 0,68x**	0,99
		SC	84	88 a	158 a	277 a	443 a	Y = 83 + 0,75x**	0,99
	AF	SA	35	27 b	107 b	173 b	334 b	Y = 26,12 + 0,64x**	0,99
		SC	84	69 a	147 a	225 a	350 a	Y = 74,17 + 0,59x**	0,99
	AB	SA	35	26 b	75 b	134 b	170 b	Y = 38,37 + 0,3x**	0,93
		SC	84	52 a	107 a	170 a	306 a	Y = 47,3 + 0,53x**	0,99
Po-total ³	AI	SA	105	134 b	170 b	265 b	289 a	Y = 125 + 0,66x - 0,0006x ² **	0,94
		SC	180	169 a	207 a	388 a	195 b	Y = 142 + 1,5x - 0,003x ² **	0,70
	AF	SA	105	85 b	120 b	156 b	257 a	Y = 77,56 + 0,370x**	0,98
		SC	180	134 a	142 a	228 a	221 b	Y = 142,918 + 0,19x**	0,71
	AB	SA	105	179 b	222 a	227 a	336 a	Y = 174,5 + 0,32x**	0,94
		SC	180	202 a	130 b	158 b	212 b	Y = 194,1 + 0,48x + 0,0011x ²	0,81
P total Bowman ⁴	AI	SA	105	259 b	387 a	503 a	565 b	Y = 255,5 + 1,38x - 0,0015x ² **	0,99
		SC	240	306 a	303 b	449 b	637 a	Y = 291,3 + 0,33x + 0,0008x ² **	0,96
	AF	SA	105	205 b	312 b	502 b	879 a	Y = 172,63 + 1,44x**	0,99
		SC	240	279 a	443 a	656 a	862 a	Y = 303,41 + 1,22x**	0,97
	AB	SA	105	235b	300 b	421 b	711 b	Y = 203,3 + 1,02x**	0,98
		SC	240	346 a	397 a	666 a	963 a	Y = 307,4 + 1,36x**	0,97

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivo da braquiária.

cultivo do feijoeiro, independente do histórico de uso (Tabela 12). Já no período após o cultivo da braquiária, as médias foram maiores no solo adjacente, exceto no tratamento que não recebeu fósforo sendo o ajuste linear e quadrático, respectivamente, na condição não cultivada e cultivada.

Pode-se observar que, após o cultivo do feijoeiro e da braquiaria, houve uma tendência de redução nos teores de P_i e P_o -total em relação às épocas avaliadas antes do cultivo destas plantas, principalmente nas maiores doses de P e no solo cultivado (Tabela 12). Esses resultados indicam que, em solos que já vem sendo cultivados, as frações orgânicas e inorgânicas biodisponíveis apresentam maior capacidade de fornecer P para as plantas e, nesta condição, poderá ocorrer redução das doses de fertilizantes fosfatados em cultivos sucessivos.

Os maiores incrementos observados em relação à condição inicial, em função das doses de P, ocorreram nas frações inorgânicas, independente do histórico de uso deste solo (Tabela 12), assim como observado no LV, no solo adjacente. No entanto, a intensidade relativa das acumulações, tendo como base a condição inicial, variou para cada fração do P_i (Tabela 10). A fração de P_i - $NaHCO_3$ 0,5M foi a que mais aumentou sua importância relativa no acúmulo de P no solo em funções das adubações fosfatadas, assim como observado por Conte et al. (2003). Diante destas observações, seria importante identificar as formas preferencialmente acumuladas no solo com a adição de P e, conseqüentemente, escolher um método mais adequado (extrator) para a avaliação do P disponível e seu efeito residual em um determinado sistema de manejo, visto que compostos de P ligados a Fe, Al e Ca possuem diferentes solubilidades no solo e podem ter seu equilíbrio alterado pelo aumento das doses de P no solo (Raij, 2004).

Em relação ao P total do solo (P total Bowman), após a incubação dos tratamentos, não houve um efeito claro do histórico de uso pois verificou-se que

nas doses 0 e 480 mg.dm⁻³ a fração P-total foi maior no solo cultivado; nas doses intermediárias, esta fração já foi maior no solo adjacente e os ajustes dos modelos, em função das doses de P, foram quadráticos, independente do histórico de uso (Tabela 12). Porém, após o cultivo do feijoeiro e os cortes da braquiária, o P-total foi maior no solo cultivado, exceto na maior dose de P após o cultivo do feijoeiro. Os modelos se ajustaram em função das doses de P, nas últimas épocas avaliadas, de forma linear, independente do histórico de uso (Tabelas 12). Isso mostra que a adubação fosfatada e a aplicação de calcário, possivelmente, foram as principais práticas de manejo no SPD que contribuíram para os acréscimos nos teores de P-total do solo, pois as mesmas afetam as formas de Pi e Po do solo.

5.2.4 Disponibilidade de fósforo

Em relação ao P-lábil observa-se que, após incubação dos tratamentos, as médias foram maiores no solo cultivado, exceto na maior dose de P. Nas épocas subseqüentes, observou-se maiores valores no solo adjacente, com exceção para o tratamento que não recebeu P (Tabela 13). Em todas as etapas avaliadas no experimento, houve ajuste linear, independente do histórico de uso (Figura 6a, 6b e 6c).

Para a fração de P pouco lábil, após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, os valores observados foram maiores no solo cultivado, exceto na maior dose de P (Tabela 13) e ajustes polinomiais, respectivamente, quadrático e linear para estas etapas em função das doses de P (Figuras 6d e 6e). Após o cultivo da braquiária, a fração de P-pouco lábil já foi maior no solo adjacente, exceto no tratamento que não recebeu fósforo (Tabela 13) e os ajustes polinomiais foram lineares, com o aumento das doses de P para os históricos de uso avaliados (Figura 6f).

TABELA 13 Frações de fósforo lábil (P-lábil) e pouco lábil (P-p. lábil) no Latossolo Vermelho-Amarelo, em diferentes históricos de uso (solo adjacente (SA) e solo cultivado (SC)), doses de fósforo e épocas de avaliação.

Fósforo	Épocas ¹	Uso	P inicial	Doses de P			
				0	120	240	480
.....mg.dm ⁻³							
P-lábil	AI	SA	23	40 b	83 b	135 b	232 a
		SC	45	59 a	107 a	154 a	223 a
	AF	SA	23	15 b	47 a	80 a	141 a
		SC	45	30 a	45 a	71 b	136 a
	AB	SA	23	49 a	78 a	106 a	159 a
		SC	45	54 a	58 b	86 b	159 a
P-p. lábil	AI	SA	117	127 b	192 b	316 b	421 a
		SC	219	203 a	255 a	532 a	380 b
	AF	SA	117	97 b	180 b	249 b	450 a
		SC	219	174 a	244 a	382 a	435 b
	AB	SA	117	156 b	231 a	246 a	347 a
		SC	219	193 a	176 b	242 a	359 a

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e época de avaliação não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). P-lábil = somatório das frações Pi e Po-NaHCO₃; P-pouco lábil = somatório das frações Pi e Po NaOH 0,1 e 0,5M. ¹ AI = após incubação dos tratamentos; AF = após cultivo do feijoeiro e AB = após cultivos da braquiária.

Quando se compara a magnitude dos valores de P-lábil entre as épocas de avaliação nota-se que houve redução desta fração após o cultivo do feijoeiro, assim como observado para Pi e Po-NaHCO₃ 0,5M. Mas após os cortes sucessivos da braquiária houve um aumento do P-lábil, refletindo o comportamento do Po-NaHCO₃ 0,5M. O Po-NaHCO₃ 0,5M pode estar intimamente relacionado com o conteúdo de P da biomassa de microrganismos, indicando que, provavelmente, durante o cultivo da braquiária, o Pi tamponado por outras frações tenha sido utilizado para o crescimento da biomassa microbiana (Moreira & Siqueira, 2006), além, é claro, para a nutrição da braquiária, pois o Pi-NaHCO₃ 0,5M diminuiu após os cortes desta planta.

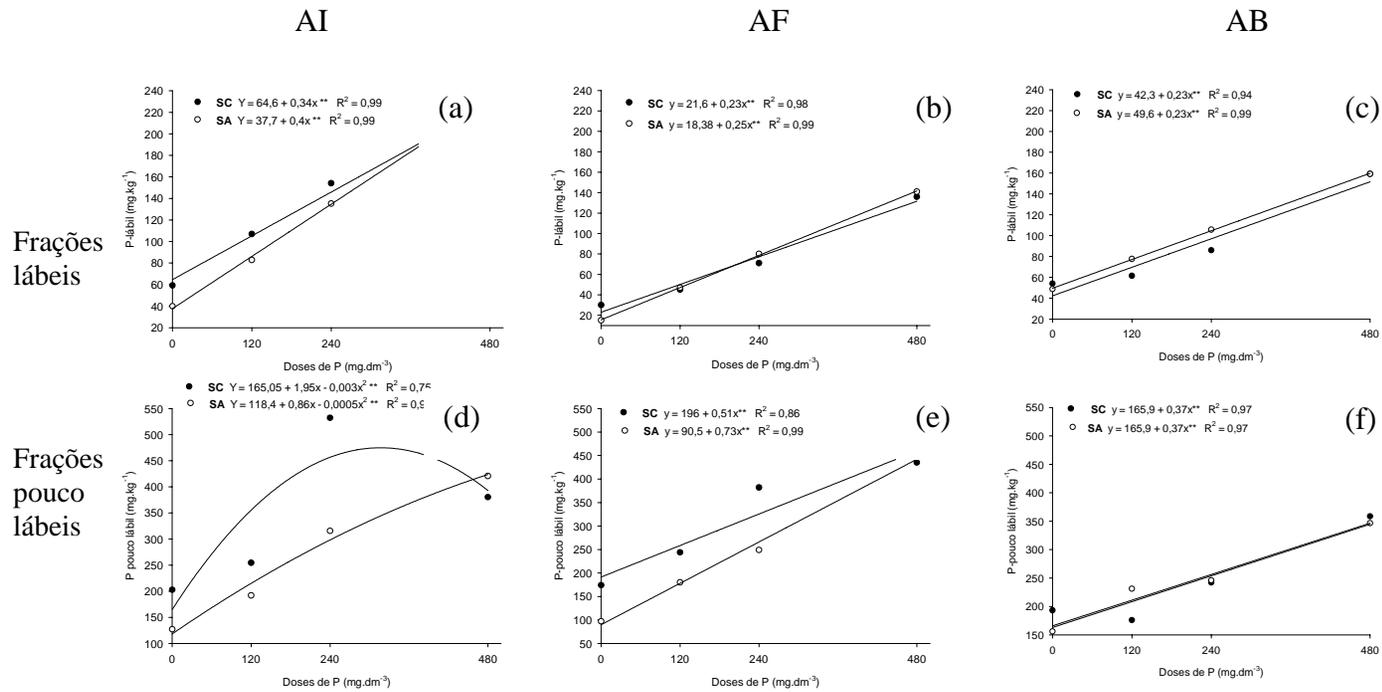


FIGURA 6 Frações de fósforo lábil e pouco lábil num Latossolo Vermelho-Amarelo, proveniente de áreas cultivadas com grãos (SC) e em solo adjacente (SA) sob diferentes doses de fósforo e épocas de avaliação. Após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e após cortes sucessivos de braquiária (AB), respectivamente: (a), (b) e (c) = P lábil e (d), (e) e (f) = P pouco lábil.

A fração P-pouco lábil expressou seu maior caráter fonte nas menores doses de P após o cultivo do feijoeiro, porém, após os cortes da braquiária esse comportamento foi mais expressivo nas maiores doses de P, principalmente no solo cultivado. Este comportamento confirma que em solos menos oxídicos sob SPD ocorre um maior efeito residual das adubações fosfatadas, podendo-se reduzir as doses de P para as culturas subseqüentes e garantir maior lucratividade para o produtor. Porém, deve-se considerar que o efeito residual de longo prazo é menor nestes solos, pois possuem menor FCP (Novais & Smyth, 1999).

No LV, P-lábil e P-pouco lábil aumentaram após o cultivo do feijoeiro e reduziram-se consideravelmente após o cultivo da braquiária. A redução destas frações, logo após o cultivo do feijoeiro no LVA, pode ser explicada pelo menor fator capacidade de P em relação ao LV, ou seja, menor capacidade do LVA em repor o P absorvido pelo feijoeiro, refletindo os maiores teores de P-rem, em relação ao LV (Tabela 2).

É importante ressaltar também que a fração P-lábil tendeu a aumentar após o cultivo da braquiária em relação ao período após cultivo do feijoeiro devido ao aumento da fração $Po-NaHCO_3$. Apesar desta fração ter sido o menor compartimento entre as frações orgânicas de P, a mesma pode fornecer quantidades suficientes de P para garantir, pelo menos, o crescimento inicial da maioria das culturas (Moreira & Siqueira, 2006). Pode-se explicar o incremento de $Po-NaHCO_3$ 0,5M após o cultivo da braquiária, uma vez que esta gramínea possui um grande potencial para ciclar o P no solo devido ao seu maior crescimento radicular, tolerância ao alumínio, absorção eficiente do nutriente, associação micorrízica e maior habilidade em usar o P em condições de baixa disponibilidade (Rao, 2001). Esse fato pode ainda ser melhor comprovado, pois nos dois solos em estudo, foi observada redução das frações pouco lábeis, após os cultivos da braquiária (principalmente as frações Pi e $Po-NaOH$ 0,1M),

principalmente nas áreas já cultivada, contribuindo para a equiparação das frações pouco lábeis entre os históricos de uso (Tabelas 8 e 13).

5.2.5 Produtividade do feijoeiro e da braquiária

A produção de grãos, matéria seca da parte aérea e conteúdo de P na parte aérea do feijoeiro, aumentou em função das doses de P, independente do histórico de uso (Figura 7). Para a produção de matéria seca da parte aérea e conteúdo de P na parte aérea, acumulada dos dois cortes da braquiária, as médias também aumentaram em função das doses de P (Figura 8).

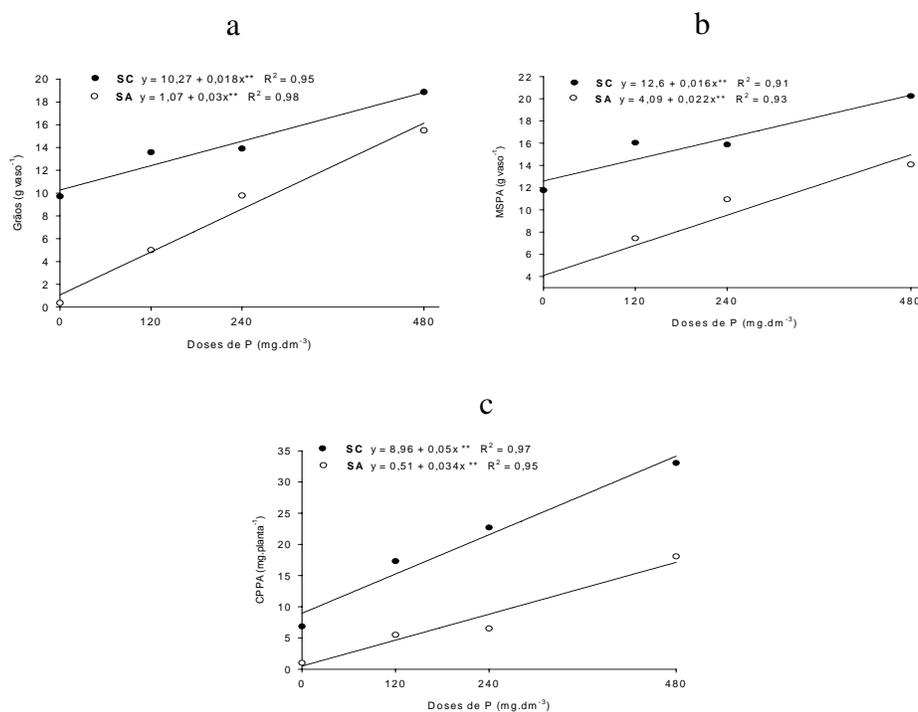


FIGURA 7 Produção de grãos (a), matéria seca da parte aérea (b) e conteúdo de P na parte aérea (c) do feijoeiro em função das doses de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo, no solo adjacente (SA) e cultivado (SC).

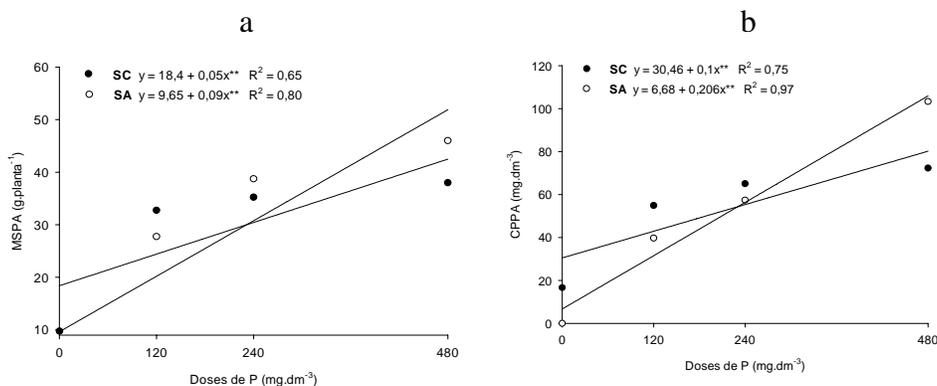


FIGURA 8 Matéria seca da parte aérea (a) e conteúdo de P na parte aérea (b) da braquiária de dois cultivos sucessivos em função das doses de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo, na condição de solo adjacente (SA) e cultivado (SC).

As maiores médias de produção de grãos, MSPA e CPPA do feijoeiro, estiveram associadas ao solo cultivado. Já os maiores incrementos por unidade de P adicionada foram observados no solo adjacente, para produção de grãos e MSPA do feijoeiro, como mostram os coeficientes angulares do modelo linear ajustados às médias observadas (Figuras 7 a e 7b), o que contribuiu para uma tendência de equiparação destas variáveis nas maiores doses de fósforo, assim como observado no LV. Esse comportamento foi mais nítido para a produção de MSPA e CPPA da braquiária, onde observou-se que, respectivamente, a partir das doses de 230 e 224 mg.dm⁻³, as médias foram maiores na condição não cultivada (Figura 8a e 8b).

Nota-se que a produção de grãos MSPA e CPPA do feijoeiro foi maior no LVA em relação ao LV. Esses resultados confirmam que solos de textura mais leve proporcionam melhor condição de aproveitamento do P pela planta porque apresentam menor fixação do P adicionado e conseqüentemente maior quantidade de P disponível às plantas (Novais & Smyth, 1999; Silva et al., 2003).

O maior acúmulo de P na parte aérea do feijoeiro e da braquiária, foi observado principalmente nas menores doses de P (Figuras 7c e 8b) e a maior porcentagem de recuperação de P pelas plantas ocorreu quando as mesmas plantas cresceram em solos já cultivados (Figura 9). Isto é um aspecto agronomicamente relevante, pois indica que, quando já existe alguma saturação dos componentes consumidores de P no solo, uma porção mais expressiva do nutriente fornecido na adubação subsequente é incorporada pelo vegetal, sugerindo uma redução nas doses de manutenção de P nos cultivos subsequentes.

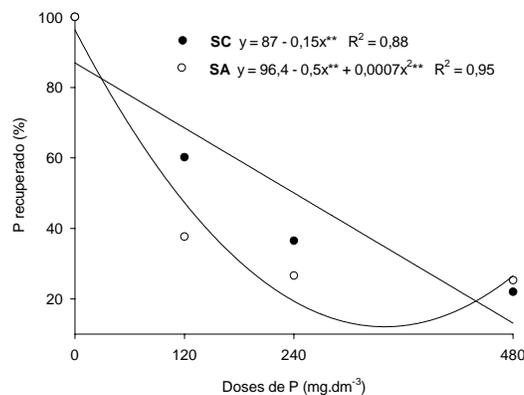


FIGURA 9 Porcentagem de recuperação pelas plantas (feijoeiro + braquiária) do P adicionado em função das doses e histórico de uso (solo adjacente (SA) e cultivado (SC)).

5.2.6 Coeficientes de correlação

Quanto à relação entre crescimento das plantas, absorção de P e produção de grãos, para o feijoeiro com as formas de P no solo, verifica-se que houve uma correlação significativa e positiva dessas variáveis da planta com quase todas as formas de P no solo para os dois históricos de uso (Tabela 14).

TABELA 14 Coeficientes de correlação entre as diversas formas de P extraídas antes do cultivo do feijoeiro e da braquiária com a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e da braquiária e com produção de grãos (GRÃOS) do feijoeiro, no Latossolo Vermelho-Amarelo, na área de solo cultivada (SC) e solo adjacente (SA).

Variável	Pi bic	Po bic	Pi hid 0,1	Po hid 0,1	Pi hid 0,5	Po hid 0,5	P-total	Pp.lábil	P lábil
Feijoeiro									
LVA cultivado									
MSPA	0,89 **	0,46 *	0,92 **	0,33 ns	0,89 **	0,87 **	0,88 **	0,82 **	0,89 **
CPPA	0,94 **	0,40 ns	0,97 **	0,51 *	0,93 **	0,94 **	0,95 **	0,92 **	0,93 **
GRÃOS	0,94 **	0,45 *	0,94 **	0,40 ns	0,93 **	0,90 **	0,92 **	0,84 **	0,93 **
LVA não cultivado									
MSPA	0,94 **	0,97 **	0,96 **	0,85 **	0,95 **	0,98 **	0,93 **	0,94 **	0,96 **
CPPA	0,97 **	0,87 **	0,98 **	0,97 **	0,96 **	0,91 **	0,98 **	0,98 **	0,94 **
GRÃOS	0,97 **	0,94 **	0,98 **	0,91 **	0,96 **	0,99 **	0,97 **	0,97 **	0,98 **
Braquiaria									
LVA cultivado									
MSPA	0,71 **	0,14 ns	0,77 **	0,43 ns	0,75 **	-0,86 **	0,70 **	0,52 *	0,60*
CPPA	0,72 **	0,33 ns	0,78 **	0,46 *	0,72 **	-0,78 **	0,71 **	0,56 *	0,66 **
LVA não cultivado									
MSPA	0,84 **	0,94 **	0,93 **	0,72 **	0,88 **	0,25 ns	0,81 **	0,88 **	0,90 **
CPPA	0,95 **	0,95 **	0,80 **	0,91 **	0,95 **	0,38 ns	0,92 **	0,96 **	0,97 **

ns = não significativo. ** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

De modo geral, os coeficientes da correlação foram maiores e altamente significativos para o solo da área adjacente, indicando que nessa condição há maior dependência entre as variáveis das plantas e as diversas formas de P no solo em relação ao solo cultivado. Esse comportamento pode estar ligado à maior deficiência de P nos solos não cultivados anteriormente, refletindo em maior confiabilidade desta relação em função de respostas mais diretas e intensas das plantas com a adubação fosfatada. Esses resultados ressaltam a possibilidade de redução nas doses das adubações fosfatadas de manutenção em solos já cultivados anteriormente, pois reflete um comportamento de menor resposta das plantas à adubação, enquadrando-se, entretanto, na classe de disponibilidade dita como alta (Cantarutti et al., 2007).

Apesar de não ter ocorrido significância de correlação da fração de Po-NaOH 0,1M com alguns componentes de produção das culturas no solo cultivado, é importante destacar que houve uma redução considerável desta fração, não podendo-se descartar a hipótese de que a mesma contribuiu para a nutrição das plantas. Todavia, por apresentar coeficiente de correlação baixo e não significativo, Po-NaOH 0,1M não deve ser usada para uma posterior avaliação e calibração da disponibilidade de P para as plantas.

6 CONCLUSÕES

- As frações orgânicas e inorgânicas de fósforo e as respostas do feijoeiro e da braquiária foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos.
- A adubação fosfatada aumentou as formas inorgânicas de P no solo, as quais foram maiores naqueles anteriormente cultivados.
- A adubação fosfatada aumentou as formas orgânicas de P no solo, as quais foram maiores nos solos adjacentes, nas maiores doses de P e após cultivo do feijoeiro e braquiaria.

- A adubação fosfatada aumentou a fração lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso nesta fração, foi maior na área cultivada e adjacente no solo com maior e menor capacidade de fixação de P, respectivamente.
- A adubação fosfatada aumentou a fração pouco lábil de P nos solos sendo que, a influência do histórico de uso foi maior no solo adjacente após o cultivo da braquiária.
- As respostas do feijoeiro e da braquiária frente à adubação fosfatada foram menores nos solos cultivados, mas nesta condição, as plantas apresentaram maior aproveitamento do P adicionado, pois houve maior absorção e produção, principalmente nas menores doses de P.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 27-32, maio 2000.

ARAÚJO, M. S.; 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**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 643-650, set. 1997.

BOWMAN, R. A. A sequential extraction procedure with concentrated sulfuric acid and dilute base for soil organic phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 53, n. 2, p. 362-366, Mar./Apr. 1989.

BUEHLER, S.; OBERSON, A.; RAO, J. M.; FRIESEN, D. K.; FROSSARD, E. Sequential phosphorus extraction of a ³³P-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 868-877, May 2002.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 13, p. 769-850.

CHEN, C. R.; CONDRON, L. M.; DAVIS, M. R.; SHERLOCK, R. R. Phosphorus dynamics in the rhizosphere of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and radiata pine (*Pinus radiata* D. Don.). **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 4, p. 487-499, Apr. 2002.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 896-900, set/out. 2003.

COREY, R. B. Soil test procedures: correlation. In: BROWN, J. R. (Ed.). **Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation**. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 15-22. (SSSA Special. Publication, 21).

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A. Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from central Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 5/6, p. 755-762, Mar. 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.

FREIRE, J. C.; RIBEIRO, M. A.V.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, set. 1980.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 691-699, jul./ago. 2007.

HEDLEY, M. J.; STEWARD, W. B.; CHAUHAN, B. S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fraction induced by cultivation practices and laboratory incubation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 970-976, Sept. 1982.

LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in hapludoxs. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 895-897, May 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MAROKO, J. B.; BURESH, R. J.; SMITHSON, P. C. Soil phosphorus fractions in unfertilized fallow-maize systems two tropical soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 2, p. 320-326, Mar./Apr. 1999.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 9, n. 6, p. 477-492, 1978.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 26, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F. A natureza não tem palito de fósforo! **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 24-26, nov. 1998.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 8, p. 471-550.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van. Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. cap. 5, p. 245-259.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo pra fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. 107 p.

RAO, I. M. Adapting tropical forages to low-fertility soils. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba. **Annals...** Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry, 2001. p. 247-254.

RESENDE, M.; BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Mineralogia da argila de Latossolos estimada por alocação a partir do teor total de óxidos do ataque sulfúrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 17-23, jan./abr. 1987.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil Tillage and cropping systems under subtropical conditions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 35, n. 15/16, p. 2339-2354, Aug. 2003.

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

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; FLORES, A. F. Organic and inorganic phosphorus as characterized by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance in subtropical soils under management systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 11/12, p. 1853- 1871, July 2002.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 345-354, abr./jun. 2000.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 211 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p.576-586, mar./abr. 2008.

SÁ, J. C. M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 201-220.

SANTOS, J. Z. L. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em latossolos de cerrado, com diferentes texturas, mineralogia e histórico de uso**. 2008. 87 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, J. Z. L.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A.V.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; COSTA, S. E. V. G. A. Frações de fósforo em solo adubado com fosfatos em diferentes modos de aplicação e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 705-714, 2008.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; GUILHERME, L. R. G. Uso de cromatografia de exclusão por tamanho na caracterização de substâncias húmicas de Latossolo Vermelho-Escuro sob efeito de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 495-503, mar. 2000.

SILVA, M. A. da; NÓBREGA, J. C. A.; CÚRI, N.; SIQUEIRA, J. O.; SÁ, J. J. G. de; MARQUES, M.; MOTTA, P. E. F. Frações de fósforo em latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1197-1207, out. 2003.

SINGH, V.; DHILLION, N. S.; BRAR, B. S. Influence of long-term of fertilizers and farmyard manure on the adsorption-desorption behavior and bioavailability of phosphorus in soils. **Nutrient in Cycling Agroecosystems**, Dordrecht, v. 75, n. 1/3, p. 67-78, July 2006.

SYERS, J. K.; BROWMAN, M. G.; SAMILLE, G. W.; COREY, R. B. Phosphate sorption by soils evaluated by the Langmuir adsorption equation. **Soil Science Society America Proceedings**, Madison, v. 37, n. 3, p. 358-363, May 1973.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURTI, 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**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, out. 2002.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim técnico, 7).

ZHANG, T. Q.; MACKENZIE, A. F.; SAURIOL, F. Nature of soil organic phosphorus as affected by long-term fertilization under continuous corn (*Zea Mays* L.): ³¹P NMR study. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n. 9, p. 662-670, Sept. 1999.

CAPÍTULO 3

Frações inorgânicas de fósforo em Latossolos com diferentes históricos de uso e doses de fósforo, cultivados em sucessão feijão-braquiária

1 RESUMO

O fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos. Fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que estão ligados. A metodologia de Chang & Jackson (1957) identifica a predominância e a contribuição das frações inorgânicas de P na nutrição das plantas, as quais tendem a aumentar com o incremento da adubação fosfatada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica e disponibilidade de formas inorgânicas de fósforo em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P, cultivados em sucessão com feijoeiro e braquiária. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação com amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LV), textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, coletadas na profundidade de 0-20 cm. Para cada solo conduziu-se um experimento disposto em delineamento inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois históricos de uso (solos agrícola cultivado por longos períodos (SC), com calagem e adubações fosfatadas periódicas e, em solo adjacente (SA) sob vegetação de cerrado (cerrado nativo)) e quatro doses de P equivalentes a 0, 120, 240 e 480 mg.dm⁻³, com quatro repetições. O fornecimento de P, na forma de superfosfato triplo, foi feito com base no teor de P₂O₅ total da fonte. As frações de fósforo foram determinadas em amostras de solo das unidades experimentais, antes e após a incubação dos tratamentos e após os cultivos do feijoeiro e da braquiária, usando o método de Chang & Jackson (1957). As frações inorgânicas de fósforo foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos. As frações inorgânicas de P foram maiores nos solos cultivados. A adubação fosfatada aumentou as frações inorgânicas de P nos solos. O P aplicado ao solo encontra-se principalmente ligado ao Al e esta é a forma de P que está predominantemente no solo foi a que forneceu o nutriente para o feijoeiro e braquiária.

2 ABSTRACT

Soil phosphorus is divided in two large groups. Inorganic phosphorus (Pi) and organic phosphorus (Po), depending on the nature of the compound to which it is linked. The Chang & Jackson (1957) methodology identifies the predominance and the contribution of the inorganic fractions in plant nutrition, which tend to increase with the increment of the phosphated fertilization. The objective of this work is to evaluate the dynamics and availability of inorganic forms of phosphorus in Latosols (Oxisols) distinct in mineralogy and use history on doses of P, with beans and brachiaria plants cultivated in succession. Experiments were conducted in a greenhouse with samples of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) (RL), clayey texture and a dystrophic Red-Yellow Latosol (RYL), medium texture, collected at the depth of 0-20 cm. For each soil, the experiment was arranged in a completely randomized design, with a 2 x 4 factorial scheme, two being use history (agricultural soils cultivated for long periods (CS), with periodic liming and phosphated fertilization and, in adjacent soil (AS) under cerrado vegetation (native cerrado) and four P doses equivalent to 0, 120, 240 and 480 mg.dm⁻³, with four repetitions. The supply of P, in the form of triple superphosphate, was issued based on the total level P₂O₅ of the source. The phosphorus fractions were determined in soil samples of the experimental units, before and after the incubation of the treatments and after the cultivation of beans and brachiaria plants, using the methods of Hedley et al. (1982) and Chang & Jackson (1957). The inorganic phosphorus fractions were affected by the use history and addition of P to the soils. The inorganic P fractions were higher in the cultivated soils. The phosphated fertilization increased the inorganic P fractions in the soils. Phosphorus applied to the soil is mainly bonded to Al and this is the form of P in the soil that predominantly supplying the nutrient for the beans and brachiaria plants.

3 INTRODUÇÃO

Para entender a sua dinâmica, entenda-se: O fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos; fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que estão ligados (Rheinheimer et al, 2008). A remoção de P pelas plantas e as alterações na sua disponibilidade pela calagem e adubações fosfatadas ou orgânicas alteram as formas deste elemento no solo, sendo, porém, raros, os trabalhos que procuram esclarecer as formas preferenciais para onde migra o P adicionado e de quais destas formas provém o P absorvido pelas plantas. Segundo Araújo & Salcedo (1997), as alterações preferenciais nas frações de P, após adubação fosfatada, em geral, ocorrem nas formas inorgânicas.

A divisão das formas de fósforo no solo é fundamentada nos extratores usados para estimá-las. Chang & Jackson (1957) desenvolveram um método de fracionamento das formas de fósforo que estabeleceu as bases para a sua identificação de acordo com o extrator usado para acessá-las, que distingue principalmente as frações de P ligado a alumínio (P-Al), P ligado a Fe (P-Fe) e P ligado a Ca (P-Ca). Portanto, esta metodologia identifica a predominância e a contribuição das frações inorgânicas na nutrição das plantas (Novais & Smyth, 1999). Este método, que por sua simplicidade, possibilita revelar a causa da deficiência deste nutriente e prever a resposta das culturas à adubação fosfatada, tem sido muito utilizado nos estudos sobre o comportamento químico do P nos solos (Barbosa Filho et al., 1987). Entretanto, a distribuição das formas inorgânicas de P varia de acordo com a mineralogia do solo (Rheinheimer & Anghinoni, 2001) e, além dos fosfatos inorgânicos o solo contém fosfatos orgânicos, que podem representar parte considerável do P total (Raij, 2004).

Santos (2008), avaliando o comportamento das frações inorgânicas e orgânicas de P, em Latossolos da região do Cerrado com diferentes históricos de

uso, observou que quando se adiciona o P no solo há uma passagem mais rápida do mesmo para o compartimento inorgânico naqueles solos já cultivados anteriormente. Houve uma tendência de que nas menores doses de P, este se acumulasse, preferencialmente, no comportamento orgânico em ambos históricos de uso (cultivado e não cultivado anteriormente); nas doses mais elevadas o acúmulo ocorreu preferencialmente no compartimento inorgânico.

Segundo Kuo et al. (2005), em áreas não cultivadas há uma maior preservação do P no estoque orgânico e, à medida que doses crescentes do nutriente são aplicadas ao solo, ocorre uma diminuição deste compartimento em relação ao compartimento inorgânico. Com o objetivo de determinar as formas preferenciais de acumulação do P proveniente da adição de doses de fosfato solúvel em Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto por 66 meses, Conte et al. (2003) observaram que os incrementos de P-total ocorreram na fração inorgânica, principalmente a extraída por NaOH. No entanto, à medida em que se adicionou P ao solo, aumentou a importância das frações orgânicas mais lábeis e a fração orgânica moderadamente lábil (Po-NaOH), mesmo sem aumento após adubação fosfatada, predominou entre as frações até a dose de 980 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, evidenciando a importância do Po como fonte de P para as plantas, principalmente em solos intemperizados e/ou em sistemas com baixas adições de fertilizantes fosfatados.

O P-lábil é uma fonte de P para as plantas e se essa fração é constituinte das formas inorgânicas de P, as quais tendem a aumentar com o incremento da adubação fosfatada como já relatado, pode-se querer saber a que libera mais facilmente o nutriente para as plantas ou a que mais contribui para o valor de P-lábil do solo. Com esse objetivo, Novais & Kamprath (1978) cultivaram, sucessivamente, amostras de cinco solos do Estado da Carolina do Norte (EUA), medindo, inicialmente e depois de cada cultivo, o teor de P em cada uma das formas. Depois de nove cultivos, foi possível verificar que a forma que mais

liberou P para a nutrição das plantas foi o P-Al, seguida, de P-Fe e, finalmente, de P-Ca.

A predominância de P-Fe e de P-Al sobre P-Ca é uma das características de solos mais intemperizados, como os do cerrado, distróficos, pobres em Ca trocável e, por conseqüência, geralmente ácidos. (Bahia Filho & Braga, 1975; Novais et al., 2007). Pode-se deduzir que solos menos intemperizados, ricos em Ca trocável e de pH elevado deverão ser mais ricos em P-Ca e pobres em P-Fe e P-Al. Pode-se também esperar que uma calagem maciça de solos ácidos fará com que P-Ca aumente, diminuindo as outras duas formas.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar a dinâmica e disponibilidade de formas inorgânicas de fósforo em Latossolos distintos em mineralogia e histórico de uso sob doses de P, cultivados em sucessão com feijoeiro e braquiária.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando-se amostras de dois solos: um Latossolo Vermelho distrófico (LV) textura argilosa e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVA) textura média. As amostras dos solos foram coletadas na Fazenda Alto Alegre, localizada no Município de Planaltina de Goiás-GO, situado a 15° 20' 05" de latitude sul e 47° 34' 43" de longitude oeste, a uma altitude média de 1044 m e uma pluviosidade média anual de 1500 mm. As amostras foram obtidas na profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação nativa do cerrado (solo adjacente) e sob diferentes cultivos com braquiária e/ou grãos em plantio direto (solo cultivado). As informações básicas sobre o

histórico de uso e manejo dos solos agrícolas são apresentadas na Tabela 1 (Capítulo 2).

Após a coleta os solos foram homogeneizados, destorroados e passados em peneira de 4 mm para os experimentos em casa de vegetação. Pequenas amostras foram passadas em peneiras de 2 mm de malha e submetidas às análises de atributos químicos, físicos e mineralógicos (Tabela 2, Capítulo 2).

Dois experimentos foram realizados, em casa de vegetação, sendo um em cada solo, utilizando-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) e, em seguida, braquiária (*Brachiaria decumbens*) como plantas teste, em vasos plásticos com capacidade para quatro dm^3 de solo. Os solos receberam carbonato de cálcio e carbonato de magnésio p.a, na relação de quatro partes de cálcio para uma de magnésio, objetivando elevar a saturação por bases a 70% e uma adubação básica.

Nos dois experimentos, os tratamentos foram dispostos num delineamento inteiramente casualizados, em esquema fatorial (2 x 4), com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos de duas condições de uso anterior do solo [solo adjacente sob vegetação de cerrado (SA) e solo agrícola cultivado por vários anos (SC)] e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm^{-3}), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo. Esta fonte foi moída em gral de ágata e posteriormente misturada ao solo. O fornecimento das doses de P foi efetuado com base no teor de P_2O_5 total da fonte (46,1%).

A adubação básica para o feijoeiro foi feita com macro e micronutrientes na forma de reagentes p.a: 100 mg de N; 100 mg de K nos solos não cultivados e 30 mg nos solos cultivados; 40 mg de S; 0,8 mg de B; 1,5 mg de Cu; 3,6 mg de Mn; 5,0 mg de Zn; 0,15 mg de Mo por dm^3 de solo. Os nutrientes foram aplicados na forma de solução e o solo homogeneizado posteriormente à aplicação. Após a aplicação dos tratamentos e incubação por 30 dias, mantendo a umidade em 60% VTP, por meio de pesagem dos vasos e adição de água

deionizada, foi feita nova amostragem para análise quanto aos atributos químicos (Tabela 3, Capítulo 2).

Após a incubação, procedeu-se a semeadura de seis sementes de feijão por vaso sendo que aos 12 dias após o plantio foram efetuados desbastes deixando-se apenas três plantas de feijão por vaso. Durante a condução do experimento a umidade foi mantida em 60% VTP (Freire et al., 1980), por meio de pesagem dos vasos e adição de água deionizada. Foram feitos rodízios semanais com os vasos.

Adubações de cobertura com N e K foram realizadas de acordo com o crescimento das plantas. Os tratamentos conduzidos nos solos cultivados receberam 300 mg de N e 150 mg de K por dm^{-3} enquanto que os solos não cultivados receberam 300 mg de N e 300 mg de K por dm^{-3} , parcelados em três aplicações.

No início do florescimento do feijoeiro (38 DAP), foi colhida a parte aérea de uma planta de cada parcela. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, sendo, posteriormente, trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997). Com base nos teores de P e na produção de matéria seca foi calculado o acúmulo do nutriente na parte aérea. As duas plantas restantes foram cultivadas até o final do ciclo (75 DAP), ocasião em que a parte aérea foi colhida, sendo os grãos separados e secos em estufa para avaliação da produção. Caules e vagens foram secos em estufa juntamente com as folhas que senesceram e caíram ao longo do ciclo da cultura a fim de determinar a produção de matéria seca da parte aérea.

Após a retirada das raízes do feijoeiro procedeu-se a semeadura de dez sementes de braquiária por vaso. A adubação básica da braquiária feita antes da semeadura constituiu-se de: 30 mg de N; 30 mg de K; 128 mg de Ca; 20 mg de Mg; 82 mg de S; 2,5 mg de Zn; 1 mg de Cu; 0,5 mg de B e 0,1 mg de Mo por

dm³ de solo, baseado na interpretação da análise química dos solos após o cultivo do feijoeiro (Tabela 4, Capítulo 2).

Dez dias após o plantio (DAP) foram efetuados os desbastes, deixando-se apenas três plantas por vaso. Foram realizados dois cortes sucessivos. No início do florescimento da braquiária, sem nenhuma adição de fósforo, ou seja, o crescimento da braquiária foi dependente do efeito residual das doses de P aplicadas antes do cultivo do feijoeiro. As plantas colhidas foram secas em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, sendo, posteriormente, pesadas para a obtenção da matéria seca da parte aérea e trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores totais de P (Malavolta et al., 1997).

A adubação de cobertura com N e K para os dois cultivos da braquiária foi realizada de acordo com o crescimento das plantas de forma parcelada, fornecendo-se, respectivamente, 210 e 160 mg dm⁻³ de solo.

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária, no momento da retirada das raízes, foram obtidas amostras de solo de cada vaso que juntamente com as amostras armazenadas na condição inicial do solo (antes da aplicação dos tratamentos) e foram preparadas para determinação das frações inorgânicas de P pelo fracionamento de Chang & Jackson (1957).

No fracionamento de Chang & Jackson (1957) (Figura 1) foram separadas seqüencialmente as formas de P ligadas a Al (P-Al), extraídas com NH₄F 0,5M a pH 8,2; P ligado a Fe (P-Fe), extraídas com NaOH 0,1M e P ligado a Ca (P-Ca), extraídas com H₂SO₄ 0,25M. O P foi determinado por colorimetria em todos os extratos, segundo Murphy & Riley (1962).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de médias (Scott-Knott, 5%) para avaliar as diferenças entre os tratamentos. Foram ajustadas equações de regressão para as diferentes frações de P no solo como variáveis dependentes das doses de P, utilizando-se o software estatístico Sisvar

(Ferreira, 2000). Também foram realizadas correlações simples, por meio de coeficientes de Pearson, entre as frações de P e os componentes de produção do feijoeiro e da braquiária.

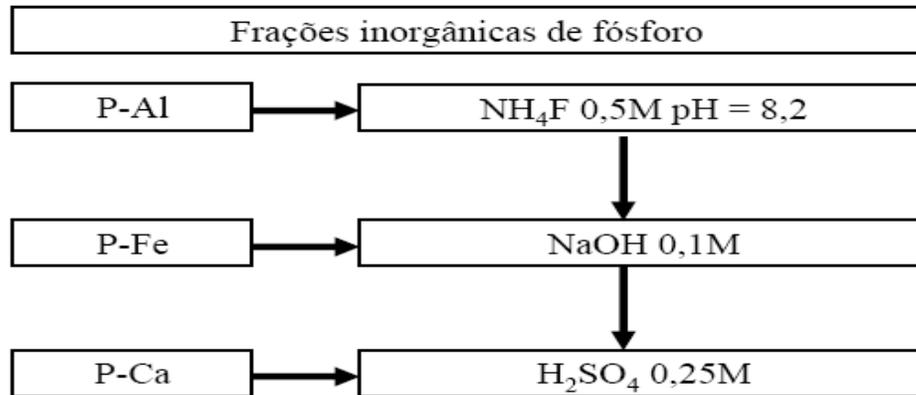


FIGURA 1 Fluxograma operacional de algumas frações de fósforo, conforme Chang & Jackson (1957).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Formas de P nos solos antes da aplicação dos tratamentos.

Os resultados obtidos no fracionamento do P inorgânico, antes da aplicação dos tratamentos, mostraram maiores valores absolutos e relativos de P-Fe (Tabela 1), independentemente do solo avaliado e do histórico de uso, seguido da fração de P-Al e depois de P-Ca. Esses resultados corroboram os dados de pesquisa em solos brasileiros, os quais mostram $P\text{-Fe} > P\text{-Al} > P\text{-Ca}$ (Raij, 2004).

TABELA 1 Frações inorgânicas de P, antes da aplicação dos tratamentos, em um Latossolo Vermelho (LV) e um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Solo	Uso	Frações de P				Participação relativa		
		P-Al	P-Fe	P-Ca	Pi-total*	P-Al	P-Fe	P-Ca
	mg.dm ⁻³%.....		
LV	SA	12	52	7	71	17	73	10
	SC	78	13	24	234	33	56	10
LVA	SA	10	26	7	43	24	59	17
	SC	31	44	14	893	35	49	16

* Pi-total = somatório de P-Al, P-Fe e P-Ca.

É importante ressaltar que os teores dos constituintes mineralógicos nos solos em estudo seguiram a seguinte ordem: caulinita>gibbsita>goethita>hematita. Apesar dos maiores teores de caulinita (tetraedro de Si + octaedro de Al) e gibbsita (octaedro de Al), os maiores valores de P foram observados para a fração de P-Fe, com maiores teores no Latossolo Vermelho, o qual possui maiores teores de óxidos de Fe em relação ao Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 2, capítulo 2).

É importante esclarecer que a sorção de P, que inclui tanto adsorção na superfície de minerais quanto sua precipitação como fosfatos de baixa solubilidade é comum em solos argilosos, ácidos e relativamente ricos em óxidos de Fe e de Al (Raij, 1991), como é o caso do Latossolo Vermelho (Tabela 2). Neste contexto, além da quantidade de argila, a constituição mineralógica dos solos também é de suma importância na adsorção de P, o que se justifica pela peculiaridade da energia de ligação entre o P e cada fração adsorvente.

Nesse aspecto, os óxidos de Fe e de Al são tidos como os constituintes da fração argila mais efetivos na adsorção de P (Parfitt, 1979), sendo a goethita considerada o principal componente da fração argila responsável por este fenômeno em solos do Brasil Central (Bahia Filho et al., 1983), por apresentar

maior superfície reativa e conseqüentemente, por facilitar o acesso dos fosfatos a grupos OH de superfície (Ruan & Gilkes, 1996).

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. Todavia, em razão da sua ocorrência em grandes quantidades em alguns Latossolos argilosos muito velhos, sua contribuição, em termos de adsorção total pode ultrapassar a dos óxidos de ferro (Curi et al., 1988; Mesquita Filho & Torrent, 1993). O papel da caulinita na adsorção de P parece secundário em comparação com os componentes oxídicos. Ker (1995) observou que o aumento do caráter caulínítico em diversos Latossolos do Brasil ocasionava a redução relativa da capacidade de adsorção de P.

5.2 Latossolo Vermelho distrófico

5.2.1 Formas inorgânicas de P no solo após a adubação fosfatada

Observou-se que os teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total, independente da dose aplicada de P, foram maiores no solo cultivado em todas as épocas avaliadas no experimento (Tabela 2). A superioridade das frações inorgânicas de P no solo já cultivado pode ser explicada pelo fato de as adubações fosfatadas anuais, anteriores à instalação do experimento, estarem ocupando os sítios de fixação (adsorção + precipitação) de P no solo, contribuindo para um aumento de cargas negativas e, conseqüentemente, promovendo menor adsorção do P aplicado (Dyenia & Camargo, 1998; Lima et al., 2000).

TABELA 2 Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi total, determinados num Latossolo Vermelho, com diferente histórico de uso (solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de fósforo nas épocas avaliadas no experimento.

Doses P (mg.dm ⁻³)	Após incubação (AI)		Após feijoeiro (AF)		Após braquiaria (AB)	
	SA	SC	SA	SC	SA	SC
.....P-Al (mg.kg ⁻¹).....						
0	16 b	74 a	13 b	72 a	15 b	67 a
120	62 b	128 a	54 b	118 a	63 b	108 a
240	112 b	182 a	104 b	172 a	71 b	162 a
480	220 b	267 a	242 b	329 a	216 b	279 a
.....P-Fe (mg.kg ⁻¹).....						
0	51 b	124 a	51 b	112 a	55 b	123 a
120	89 b	156 a	88 b	151 a	91 b	143 a
240	115 b	183 a	112 b	161 a	134 b	167 a
480	161 b	215 a	164 b	196 a	179 b	204 a
.....P-Ca (mg.kg ⁻¹).....						
0	4 b	15 a	5 b	19 a	7 b	28 a
120	7 b	21 a	10 b	20 a	13 b	26 a
240	11 b	21 a	12 b	23 a	15 b	37 a
480	13 b	26 a	19 b	31 a	22 b	37 a
.....Pi-total * (mg.kg ⁻¹).....						
0	72 b	213 a	69 b	204 a	77 b	218 a
120	159 b	306 a	152 b	289 a	167 b	277 a
240	239 b	386 a	228 b	356 a	220 b	367 a
480	394 b	509 a	425 b	556 a	417 b	520 a

* somatório de P-Al, P-Fe e P-Ca.

Médias seguidas de mesmas letras na linha e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%).

Após a incubação dos tratamentos observou-se um incremento linear das frações de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total com o aumento das doses de P (Figura 2a). Após o cultivo do feijoeiro, as frações de P-Al, P-Ca e Pi-total aumentaram com as doses de P (Figura 2b). O estudo para P-Fe foi feito para cada histórico de uso, com aumentos crescentes, em função das doses de P (Figura 2c). No período após o cultivo da braquiária também houve interação entre os fatores para as frações de P-Al, P-Fe e Pi-total, as quais se ajustaram ao modelo linear, no solo cultivado (Figura 2d) e no solo adjacente (Figura 2e). A fração de P-Ca, após o cultivo da braquiária, independente do histórico de uso, também aumentou de forma linear, apresentando a seguinte equação: $Y = 17,67 + 0,026x$ $R^2 = 0,93$, com valor máximo de 30 mg dm^{-3} .

É importante destacar que nos tratamentos que receberam menor dose de P observou-se maiores teores de P-Fe. Porém, com o aumento das doses de P, a fração de P-Al tendeu a ser superior, a partir da dose de 228 mg dm^{-3} de P (Figura 2a), após incubação dos tratamentos e das doses 227 e 366 mg dm^{-3} de P, respectivamente, no solo cultivado (Figura 2d) e adjacente (Figura 2e), após o cultivo da braquiária. Esses resultados evidenciam que, apesar de os teores absolutos de P-Fe e P-Al aumentarem quando ocorre adição de P no solo, os teores de P-Al aumentam com maior intensidade que aqueles de P-Fe, principalmente no solo cultivado, pois nesta condição a dose que proporcionou o ponto de equilíbrio entre as frações foi menor, como observado após o cultivo da braquiária (Figuras 2d e 2e). Esses resultados corroboram com aqueles obtidos em um Latossolo Vermelho Escuro por Bahia Filho et al. (1982).

Esse comportamento pode ser melhor visualizado nos valores destas frações relativos ao Pi-total, com o aumento das doses de P (Figura 3).

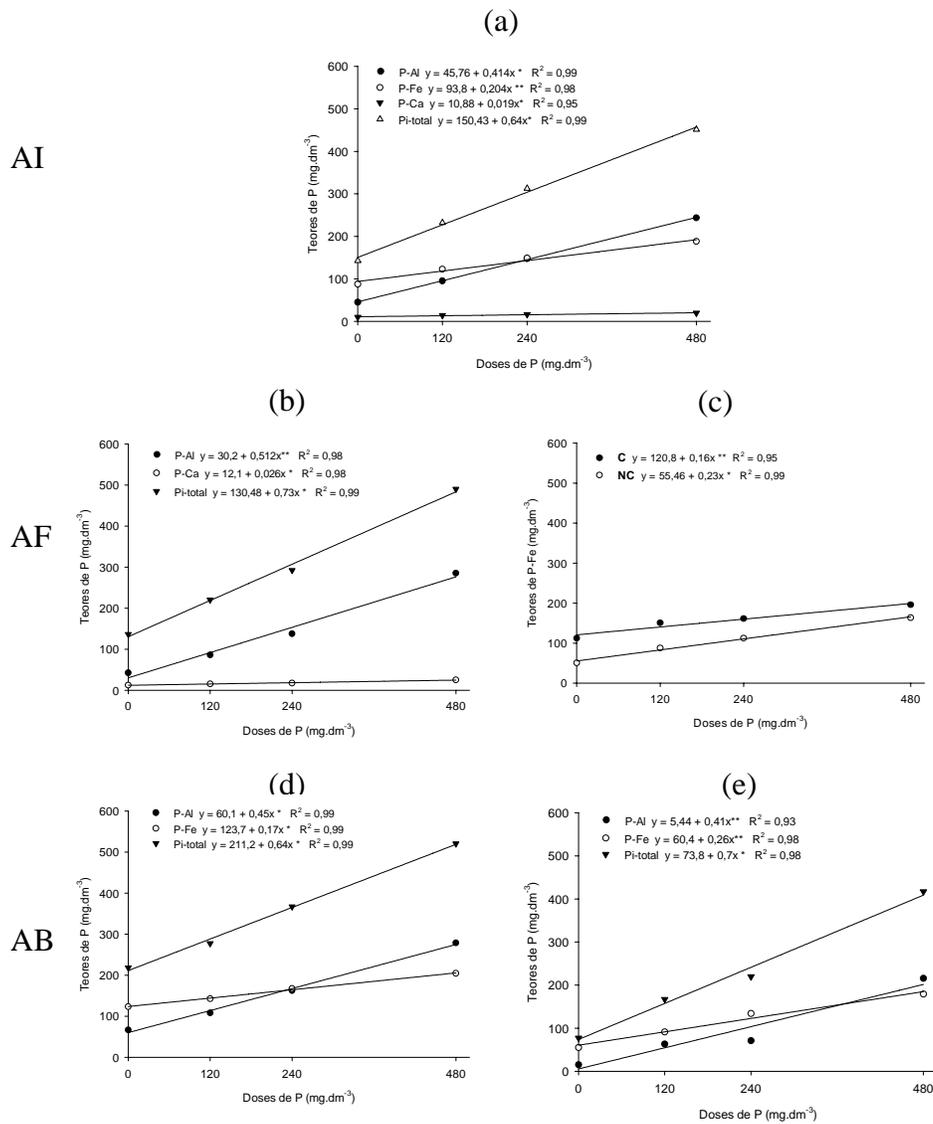


FIGURA 2 Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiária (AB) em diferentes históricos de uso (solo já cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de P. (a) e (b) = independente do histórico de uso; (c) = solo cultivado (SC) e adjacente (SA); (d) = solo cultivado e (e) = solo adjacente.

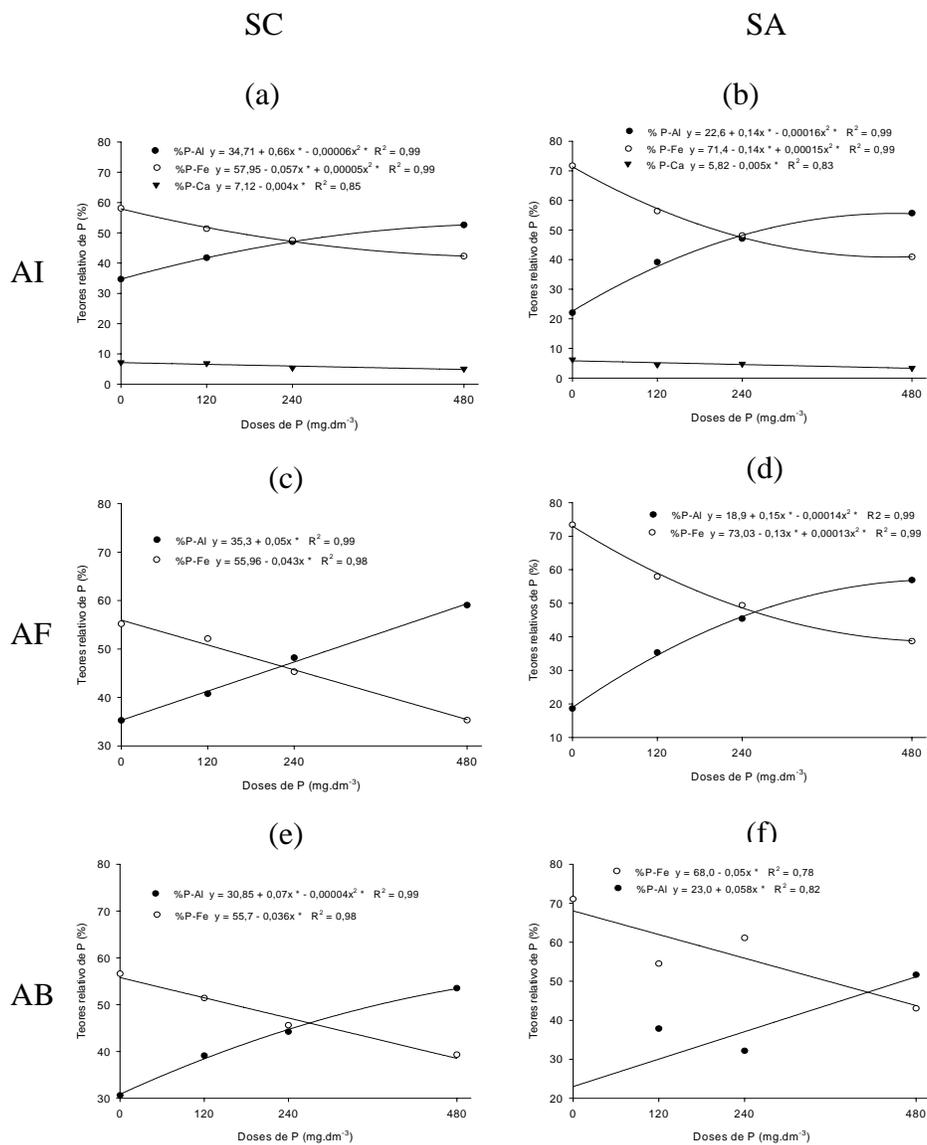


FIGURA 3 Frações relativas de P-Al, P-Fe e P-Ca após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiária (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a), (c) e (e) no solo cultivado (SC) e (b), (d) e (f) no solo adjacente (SA).

Para explicar as elevadas taxas de conversão do fósforo adicionado, em P-Al, pode-se considerar que além dos elevados teores de gibbsita no LV (Tabela 2, capítulo 2), provavelmente na forma cristalina devido à própria gênese do Latossolo, há também que se considerar o $\text{Al}(\text{OH}_3)$, uma gibbsita amorfa resultante do processo de calagem. Formam-se assim muitas superfícies de adsorção, a princípio de íons OH^- e de água, depois trocados pelo íon H_2PO_4^- (Novais et al., 2007). Além da riqueza do solo em gibbsita, deve-se considerar ainda que as ligações químicas no complexo $\text{Al}-\text{H}_2\text{PO}_4^-$ são mais fracas que aquelas do complexo $\text{Fe}-\text{H}_2\text{PO}_4^-$, pelo fato do Fe^{+3} , um íon metálico de transição ser um ácido de Lewis mais forte que o Al^{+3} , um metal representativo (ou íon de pós-transição). Portanto, a prevalência de Al ligado a P deve-se, basicamente, ao efeito quantidade de Al precipitado como gibbsita amorfa ou cristalina e pela maior solubilidade dos compostos formados (Shriver & Atkins, 2004). Juo & Ellis (1968), afirmam que o P-Al cristaliza-se numa velocidade inferior à do P-Fe e permanecendo disponível para as plantas por mais tempo.

Estes resultados são coincidentes com os de Bahia Filho et al. (1982), que também observaram maiores incrementos relativos para P-Al quando aplicaram superfosfato triplo no solo.

Os valores relativos da fração de P-Ca, apesar do incremento observado para os teores absolutos, diminuíram com o aumento das doses de P, após incubação dos tratamentos no solo cultivado e adjacente (Figuras 3a e 3b). Os mesmos, após cultivo do feijoeiro e braquiária também diminuíram com as doses de P, independentemente do histórico de uso, com as respectivas equações: $Y = 8,73 - 0,016x + 0,00002x^2$ $R^2 = 0,99$ e $Y = 10,52 - 0,009x$ $R^2 = 0,92$.

Observa-se que no solo cultivado, após o cultivo da braquiária, mesmo com o aumento relativo das frações de P-Al e redução das frações de P-Fe, houve a necessidade de uma maior dose de P para que estas frações se

igualessem (Figura 3f). Portanto, em solos que vem recebendo adubações fosfatadas anuais, existe uma maior predominância das frações de P-Al com doses mais intermediárias de P, provavelmente em função da maior estabilidade dos compostos de P-Fe e, em solos não cultivados, estes dados indicam também que houve maior absorção de P pela braquiária proveniente da forma de P-Al. Takahashi & Anwar (2006) observaram, após 23 anos de cultivo com fertilizações anuais em um Andossolo, que o P-Al também foi a forma que mais contribuiu para a absorção de P pelas plantas, seguido do P-Fe.

Quanto à relação entre as variáveis de crescimento das culturas com as frações inorgânicas de P, verifica-se que houve uma correlação significativa e positiva dessas variáveis com P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total, exceto para P-Ca com a produção de MSPA e CPPA da braquiária no solo cultivado (Tabela 3).

Neste trabalho, foi observado que, com o aumento das doses de P, houve incremento das frações inorgânicas de P extraídas pelo fracionamento de Chang & Jackson (1957) (Figura 2). Entretanto, houve um acúmulo preferencial de P-Al (Figura 3), o qual apresentou coeficientes de correlação positivos e significativos com a produção de grãos do feijoeiro, MSPA e CPPA do feijoeiro e da braquiária (Tabela 3). Estes resultados ajudam a afirmar que, P-Al, dentre as frações inorgânicas, foi a que mais contribuiu para o suprimento de P para as plantas.

De modo geral, as correlações foram mais expressivas para os solos adjacentes, indicando que nessa condição há uma maior dependência entre as variáveis das plantas e as diversas formas de P inorgânico no solo em relação à condição já cultivada anteriormente. Esse comportamento pode estar ligado à maior deficiência de P nos solos não cultivados anteriormente, condição que potencializa a maioria das formas de P como fornecedora do P disponível para as plantas, refletindo em maior confiabilidade desta relação em função de respostas mais diretas e intensas das plantas com a adubação fosfatada. Esses

resultados ressaltam a possibilidade de redução das adubações fosfatadas de manutenção em solos já cultivados anteriormente pois reflete um comportamento de menor resposta das plantas à adubação, enquadrando-se, entretanto, na classe de disponibilidade dita como alta (Cantarutti et al., 2007).

TABELA 3 Coeficientes de correlação entre as formas de P-inorgânico extraídas antes do feijoeiro e braquiária com a produção de grãos do feijoeiro, matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e braquiária, num LV, no solo já cultivado (SC) e solo adjacente (SA).

Variável	P-Al	P-Fe	P-Ca	Pi-total
Feijoeiro				
Solo adjacente				
MSPA	0,96 **	0,97 **	0,96 **	0,97 **
CPPA	0,94 **	0,98 **	0,96 **	0,95 **
GRÃOS	0,87 **	0,94 **	0,88 **	0,90 **
Solo cultivado				
MSPA	0,73 **	0,88 **	0,64 **	0,77 **
CPPA	0,90 **	0,93 **	0,85 **	0,92 **
GRÃOS	0,74 **	0,79 **	0,71 **	0,76 **
Braquiaria				
Solo adjacente				
MSPA	0,85 **	0,97 **	0,89 **	0,92 **
CPPA	0,83 **	0,97 **	0,87 **	0,90 **
Solo cultivado				
MSPA	0,75 **	0,78 **	0,42 ns	0,75 **
CPPA	0,72 **	0,76 **	0,47 ns	0,74 **

** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

5.3 Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico

5.3.1 Formas inorgânicas de P no solo após a adubação fosfatada

Observou-se que nos teores de P-Al não houve diferença significativa entre os históricos de uso após a incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro. Porém, após o cultivo da braquiária, esta fração foi maior no solo cultivado. A fração de P-Fe, independente da dose de P aplicada, foi maior no solo cultivado ao longo de todo o experimento (Tabela 4). A fração de P-Ca também tendeu a ser maior no solo cultivado nas épocas avaliadas, sendo que em alguns tratamentos não houve diferença significativa entre os históricos de uso (Tabela 4). O Pi-total também foi maior na condição cultivada nas etapas avaliadas, com exceção na dose de 480 mg.dm^{-3} após incubação e cultivo do feijoeiro.

A fração de P-Ca apresentou bem menos expressiva em relação aos demais compartimentos de P inorgânico (Tabela 4). Tal fato pode ser explicado em virtude dos valores de pH, os quais ficaram entre 5,3 e 6,0 e, concomitantemente, aos baixos teores de cálcio trocável (Tabela 2, capítulo 2) (Barbosa Filho et al., 1987). À medida que os solos vão se tornando mais intemperizados pela remoção de bases e sílica, as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe (Hsu, 1989).

Após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, as frações de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total aumentaram de forma linear com o incremento das doses de P (Figuras 4a e 4b). Após o cultivo da braquiária, as frações de P-Al e Pi-total também aumentaram de forma linear em função das doses de P (Figura 4c) e, para a fração de P-Fe houve interação entre os históricos de uso e as doses de P, sendo que as médias aumentaram nos dois históricos de uso (Figura 4d). Para P-Ca houve efeito somente do histórico de uso, onde os teores foram maiores no solo já cultivado ($19,3 \text{ mg dm}^{-3}$) em relação ao solo adjacente (7 mg dm^{-3}).

TABELA 4 Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi total, determinados no solo Latossolo Vermelho-Amarelo, com diferente histórico de uso (solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de fósforo nas épocas avaliadas no experimento.

Doses P (mg.dm ⁻³)	Após incubação (AI)		Após feijoeiro (AF)		Após braquiaria (AB)	
	NC	C	NC	C	NC	C
P-Al (mg.kg ⁻¹)						
0	13 a	30 a	11 a	20 a	13 b	24 a
120	56 a	75 a	52 a	57 a	49 a	52 a
240	103 a	123 a	89 a	97 a	87 b	98 a
480	215 a	220 a	187 a	197 a	168 b	180 a
P-Fe (mg.kg ⁻¹)						
0	29 b	54 a	19 b	39 a	21 b	40 a
120	53 b	83 a	42 b	66 a	43 b	59 a
240	68 b	104 a	66 b	86 a	58 b	80 a
480	92 b	124 a	88 b	112 a	80 b	111 a
P-Ca (mg.kg ⁻¹)						
0	5 a	12 a	2 b	7 a	4 a	13 a
120	7 b	18 a	5 b	11 a	6 b	17 a
240	8 a	14 a	5 b	12 a	8 b	27 a
480	17 a	21 a	7 b	14 a	10 a	19 a
Pi-total * (mg.kg ⁻¹)						
0	46 b	97 a	32 b	66 a	38 b	78 a
120	116 b	176 a	100 b	135 a	97 b	127 a
240	179 b	241 a	160 b	195 a	153 b	206 a
480	333 a	356 a	292 a	313 a	259 b	311 a

* somatório de P-Al, P-Fe e P-Ca. Médias seguidas de mesmas letras na linha e para cada fração de P não diferem entre si (Scott-Knott, a 5%).

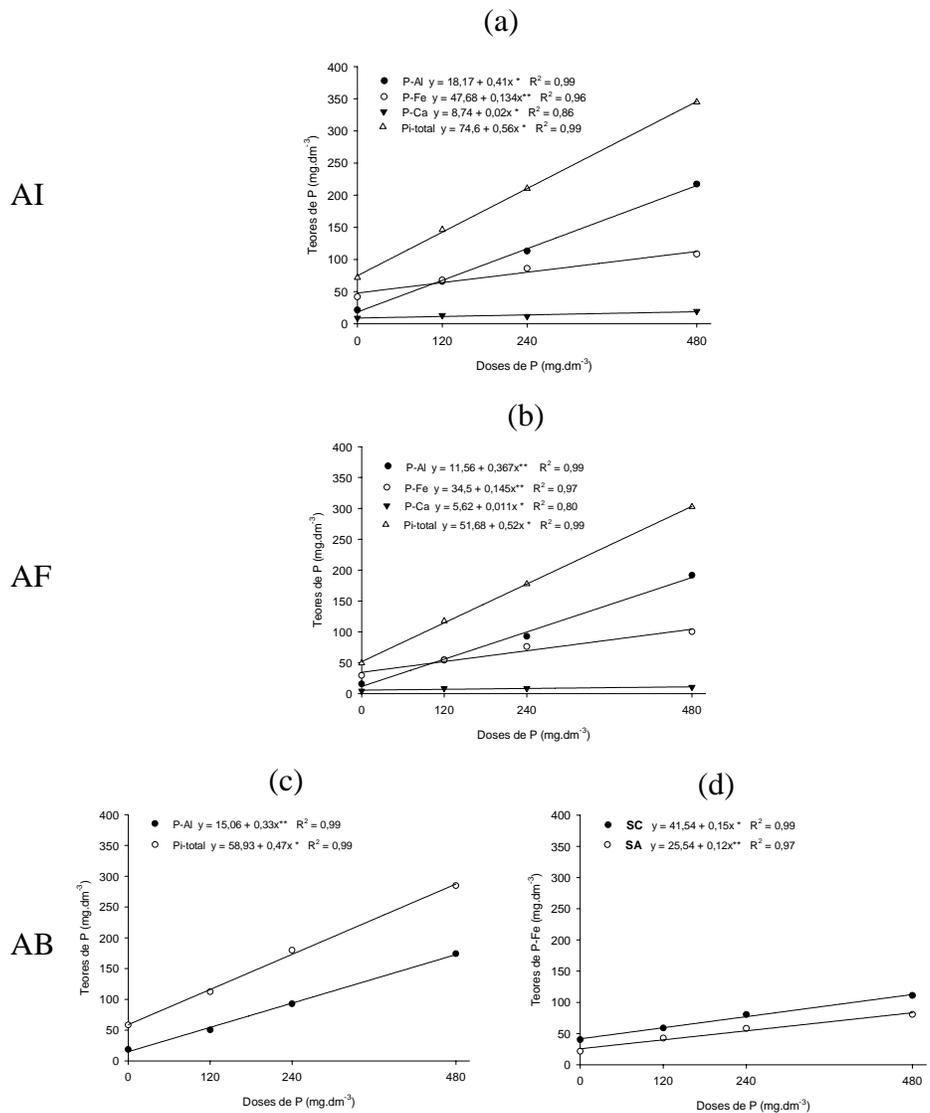


FIGURA 4 Teores de P-Al, P-Fe, P-Ca e Pi-total após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiária (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a), (b) e (c) = independente do histórico de uso e (d) = no solo cultivado (SC) e adjacente (SA).

Portanto, observou-se nos tratamentos que receberam menor dose de P, maiores teores de P-Fe. Porém, com o aumento das doses de P, a fração de P-Al tendeu a ser superior, como observado no LV. Em um estudo com cinco solos da Carolina do Norte, sendo quatro de textura média a arenosa e um caulínítico e argiloso, Novais & Kamprath (1978) mostraram que o P-Al foi a forma que mais contribuiu com o fornecimento do nutriente para as plantas.

Assim como no LV, esse comportamento pode ser melhor visualizado nos valores destas frações relativos ao Pi-total com o aumento das doses de P (Figura 5). Os valores relativos da fração de P-Ca, apesar do incremento observado para os teores absolutos, após incubação dos tratamentos e cultivo do feijoeiro, diminuíram com o aumento das doses de P (Figuras 5a, 5b e 5c). Após o cultivo da braquiária, os teores relativos de P-Ca também diminuíram, independentemente do histórico de uso, e as médias se ajustaram à seguinte equação: $Y = 12,75 - 0,016x$ $R^2 = 0,94$.

As formas inorgânicas biodisponíveis de P no solo, em sua maioria, foram compostas pelas frações P-Al e P-Fe e, em menor intensidade, P-Ca. Isso, certamente, demonstra a influência da mineralogia sobre o comportamento do fósforo no solo, uma vez que foi aplicado P originalmente ligado a Ca (superfosfato triplo), e em função das altas quantidades de Fe e Al disponíveis por meio dos argilominerais (Tabela 2, capítulo 2) houve uma conversão deste P-Ca em P-Fe e, principalmente, P-Al.

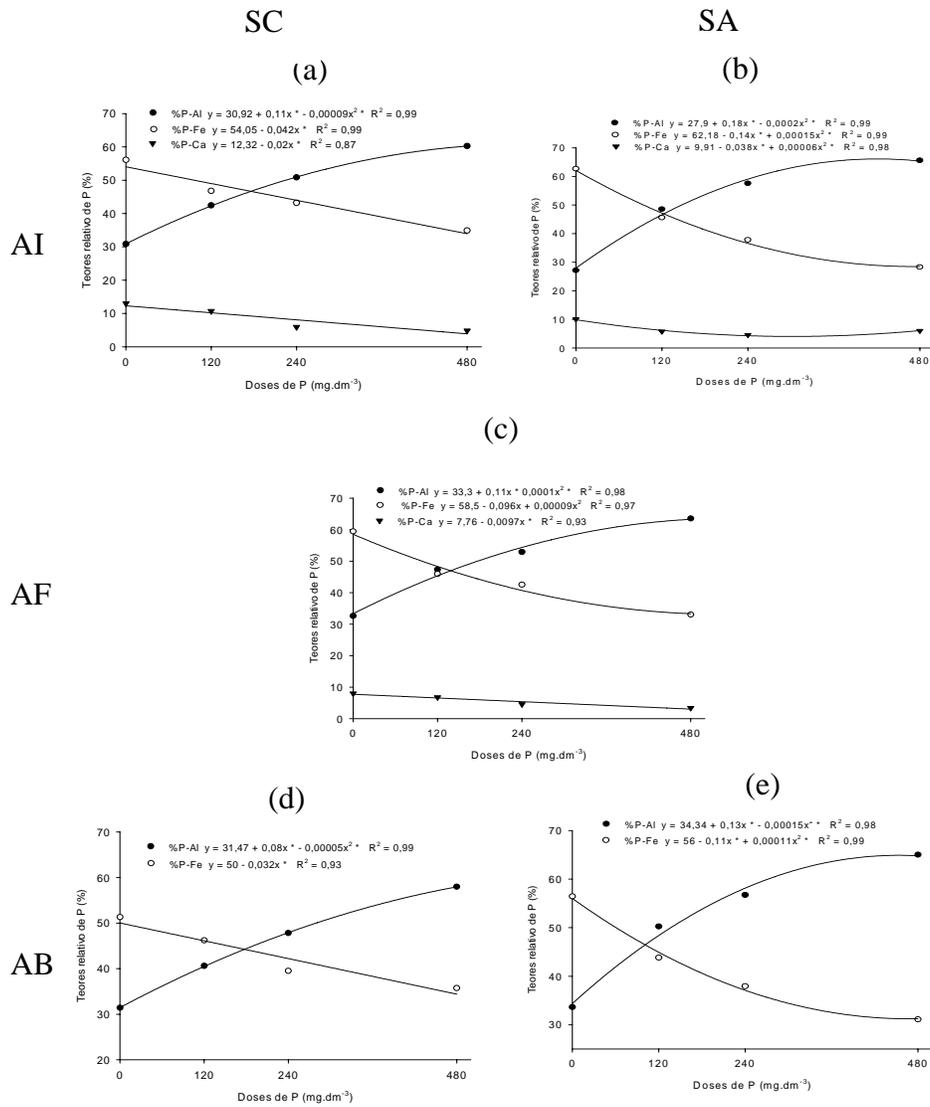


FIGURA 5 Frações relativas de P-Al, P-Fe e P-Ca após incubação dos tratamentos (AI), após cultivo do feijoeiro (AF) e braquiária (AB) em função de doses de P e históricos de uso, respectivamente: (a) e (d) = solo cultivado (SC), (b) e (e) = solo adjacente (SA) e (c) = independente do histórico de uso.

Observa-se, com relação aos valores relativos de P no solo, nos históricos de uso e épocas de avaliação, que a proporção de P-Fe e P-Al se iguala com doses em torno de 175 e 110 mg dm⁻³, respectivamente na condição cultivada e não cultivada, as quais variam muito pouco após o cultivo do feijoeiro e da braquiária (Figura 5). Tal comportamento foi diferente daquele observado no LV (Figura 2), onde as doses que proporcionaram o equilíbrio destas frações foram aumentando com o cultivo das plantas, principalmente na condição não cultivada. A partir destas doses de P, os compostos de Al controlam a disponibilidade do nutriente, uma vez que os teores relativos de P-Al aumentam em detrimento daqueles de P-Fe.

Estes resultados mostram que no solo mais oxidico (LV), as formas de P-Fe aumentam com o cultivo das culturas (tempo de contato) sendo necessário maiores doses de P para que a fração P-Al torne-se responsável pela maior disponibilidade de P para as plantas.

Quanto à relação entre as variáveis de crescimento das culturas e as frações inorgânicas de P, verifica-se que houve uma correlação significativa e positiva dessas variáveis com P-Al, P-Fe, Pi-total e P-Ca, exceto para P-Ca com a produção de MSPA e CPPA da braquiária (Tabela 5), assim como observado no LV (Tabela 3). Isso reforça as evidências de que o P-Al é a forma de P no solo que está preferencialmente disponibilizando o fósforo para as plantas com o aumento das doses de P, o que aumentou, consideravelmente, com a adubação fosfatada. Entretanto, quando se considera diferentes tipos de solo, qualquer uma das formas de P pode ser importante fonte de P para as culturas (Novais & Smith, 1999).

TABELA 5 Coeficientes de correlação entre as formas de P-inorgânico extraídas antes do feijoeiro e braquiária com a produção de grãos do feijoeiro, matéria seca da parte aérea no florescimento (MSPA) e conteúdo de fósforo na parte aérea no florescimento (CPPA) do feijoeiro e braquiária, no LVA, no solo já cultivado e solo adjacente.

Variável	P-Al	P-Fe	P-Ca	Pi-total
Feijoeiro				
Solo adjacente				
MSPA	0,92 **	0,92 **	0,61 *	0,93 **
CPPA	0,97 **	0,86 **	0,61 *	0,95 **
GRÃOS	0,95 **	0,93 **	0,61 *	0,96 **
Solo cultivado				
MSPA	0,91 **	0,90 **	0,74 **	0,92 **
CPPA	0,95 **	0,95 **	0,74 **	0,96 **
GRÃOS	0,94 **	0,91 **	0,66 **	0,94 **
Braquiária				
Solo adjacente				
MSPA	0,87 **	0,94 **	0,90 **	0,90 **
CPPA	0,97 **	0,97 **	0,92 **	0,98 **
Solo cultivado				
MSPA	0,73 **	0,78 **	0,38 ns	0,77 **
CPPA	0,76 **	0,80 **	0,44 ns	0,80 **

** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.

Nos dois Latossolos em estudo, observou-se que, com a adição das doses de P e quando os solos já eram cultivados (Tabela 1), um acúmulo preferencial de P-Al e esta fração de P apresentou coeficientes positivos e altamente significativos com a produção de grãos do feijoeiro, MSPA e CPPA do feijoeiro e da braquiária (Tabelas 3 e 5). Estes resultados ajudam a afirmar que, P-Al, dentre as frações inorgânicas, foi a que mais contribuiu para o suprimento de P para as plantas.

6 CONCLUSÕES

- As frações inorgânicas de fósforo foram afetadas pelo histórico de uso e adição de P aos solos.
- As frações inorgânicas de P foram maiores nos solos cultivados.
- A adubação fosfatada aumentou as frações inorgânicas de P nos solos.
- O P aplicado ao solo encontra-se, principalmente, ligado ao Al e esta é a forma de P no solo que, predominantemente, fornecendo o nutriente para o feijoeiro e a braquiária.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. S.; 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**, Viçosa, MG, v. 21, n. 2, p. 643-650, ago. 1997.

BAHIA FILHO, A. F. C.; BRAGA, J. M. Fósforo em latossolos do estado de Minas Gerais: III índices de disponibilidade de fósforo e crescimento vegetal. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 217-234, fev. 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, n. 2, p. 221-226, dez. 1983.

BAHIA FILHO, A. F. C.; VASCONCELLOS, C. A.; SANTOS, H. L.; MENDES, J. F.; PITTA, G. V. E.; OLIVEIRA, A. C. Formas de fósforo inorgânico e fósforo disponível em um Latossolo Vermelho Escuro, fertilizado com diferentes fosfatos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 99-104, set. 1982.

BARBOSA FILHO, M. P.; KINJO, T.; MURAOKA, T. Relações entre 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**, Viçosa, MG, v. 11, n. 1, p. 147-155, ago. 1987.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 13, p. 769-850.

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

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 896-900, set/out. 2003.

CURI, N.; CAMARGO, O. A.; GUEDES, A.; SILVEIRA, J. V. Sorção de fósforo em materiais de Latossolos do Brasil sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p. 267-282.

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A. Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from central Brazil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 5/6, p. 755-762, Mar. 1998.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.

FREIRE, J. C.; RIBEIRO, M. A.V.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. E. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 4, n. 1, p. 5-8, set. 1980.

HSU, P. H. Aluminum oxides and oxyhydroxids. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: SSSA, 1989. p. 1701-1706. (SSSA Book Series, 1).

JUO, A. S. R.; ELLIS, B. G. Particle size distribution of aluminum, iron and calcium phosphates in soil profiles. **Soil Science**, Baltimore, v. 106, n. 5, p. 374-380, Nov. 1968.

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

KUO, S.; HUANG, B.; BEMBENEK, R. Effects of long term phosphorus fertilization and winter cover cropping on soil phosphorus transformations in less weathered soil. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v. 41, n. 2, p. 116-123, Feb. 2005.

LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in hapludoxs. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 3, p. 895-897, May 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MESQUITA FILHO, M. V.; TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 58, n. 1/2, p. 107-123, Aug. 1993.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 26, p. 31-36, 1962.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 8, p. 471-550.

NOVAIS, R. F.; KAMPRATH, E. J. Phosphorus supplying capacities of previously heavily fertilized soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, n. 6, p. 931-935, Nov. 1978.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

PARFITT, R. L. The availability of P from phosphate-goethite binding complexes, desorption and uptake by ryegrass. **Plant Soil**, The Hague, v. 53, n. 1/2, p. 55-65, Oct. 1979.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van. Fósforo no solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. cap. 6, p. 107-114.

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

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar./abr. 2008.

RUAN, H. D.; GILKES, R. J. Kinetics of phosphate sorption and desorption by synthetic aluminous goethite before and after thermal transformation to hematite. **Clay Minerals**, London, v. 31, n. 1, p. 63-74, Mar. 1996.

SANTOS, J. Z. L. **Adubação fosfatada, frações de fósforo e resposta do feijoeiro, em latossolos de cerrado, com diferentes texturas, mineralogia e histórico de uso**. 2008. 87 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química orgânica**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 816 p.

TAKAHASHI, S.; ANWAR, M. R. Wheat yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after 23 years of annual fertilizer application to an Andosol. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 101, n. 2, p. 160-171, Mar. 2006.