

**FORMAS DE FÓSFORO EM DIFERENTES
SOLOS SOB PLANTIO DIRETO EM
COMPARAÇÃO A ÁREAS ADJACENTES
NÃO CULTIVADAS**

ALESSANDRA MAYUMI TOKURA

2001

51714 MFV

36476

ALESSANDRA MAYUMI TOKURA

**FORMAS DE FÓSFORO EM DIFERENTES SOLOS SOB PLANTIO
DIRETO EM COMPARAÇÃO A ÁREAS ADJACENTES NÃO
CULTIVADAS**



Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2001

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

Tokura, Alessandra

Formas de fósforo em diferentes solos sob plantio direto em comparação a áreas adjacentes não cultivadas / Alessandra Tokura. -- Lavras : UFLA, 2001.
55 p. : il.

Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Plantio direto. 2. Fracionamento de fósforo. 3. Formas de fósforo. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.58

ALESSANDRA MAYUMI TOKURA

**FORMAS DE FÓSFORO EM DIFERENTES SOLOS SOB PLANTIO
DIRETO EM COMPARAÇÃO A ÁREAS ADJACENTES NÃO
CULTIVADAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 5 de março de 2001

Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto	DCS/UFLA
Prof. Paulo César Gomes	DCS/UFLA
Prof. Nilton Curi	DCS/UFLA
Prof. Valdemar Faquin	DCS/UFLA



Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus Pais, Isáio e Aparecida

Que devotaram suas vidas em prol da minha formação pessoal e profissional e pelo exemplo de vida durante todos os momentos da minha vida.

**Aos meus irmãos, Luciene, Lilian e Willian
e ao meu namorado *Alves***

A vocês dedico com carinho mais esta conquista, como forma de reconhecimento por tudo quanto sempre recebi.

**A DEUS por me ter dado
força e inteligência nessa caminhada**

**"A verdadeira educação consiste em por á descoberto o melhor de uma pessoa".
(Mahatma Gandhi)**

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por todos os momentos, pela capacidade, perseverança, e força para a realização do curso.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo pela oportunidade concedida.

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

Ao professor Dr. Antonio E. Furtini Neto pela amizade, orientação, empreendimento e sugestões indispensáveis à realização de todas as fases deste trabalho.

Aos professores doutores Paulo César Gomes, Valdemar Faquin e Nilton Curi pelo apoio, amizade e pelas valiosas sugestões.

Ao pesquisador Carlos Hissão Kurihara, pela amizade e força.

Aos demais professores que acreditaram, apoiaram e se dedicaram à minha formação.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, em especial a Adriana, João Batista Corrêa, Vera e Maria Alice, pela colaboração e pelo apoio.

Ao meu namorado Alves, pelo incentivo, força, compreensão e companheirismo.

Às amigas de república, Elisângela, Lucimeire, Ariana, Taciana e Sarita pela convivência amiga, compreensão, por todos os momentos desta jornada.

Aos colegas de mestrado e doutorado pela amizade, compreensão, apoio, colaboração, sugestões e agradável convívio.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 O sistema de plantio direto (PD): Introdução e implicações na fertilidade do solo.....	3
2.2 Comportamento do P no solo: formas de ocorrência e dinâmica das reações.....	5
2.2.1 Fração inorgânica de P.....	6
2.2.2 Fração orgânica de P.....	10
2.3 Transformações de P no solo.....	12
2.3.1 Formas inorgânicas (Fracionamento de Chang e Jackson, 1957).....	14
2.3.2 Formas orgânicas e inorgânicas de P (Fracionamento de Hedley, Stewart e Ghauhan, 1982).....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Solos.....	18
3.2 Caracterização física.....	20
3.3 Caracterização química.....	20
3.4 Análise estatística.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Caracterização química.....	24
4.2 Análise física.....	28
4.3 Formas de P.....	29

4.3.1 Formas inorgânicas de P (Chang e Jackson, 1957).....	29
4.3.2 Formas orgânica e inorgânica de P (Hedley, Stewart e Ghauhan, 1982).....	31
4.3.3 Disponibilidade de P.....	40
4.3.4 Relações entre formas de P no solo e o P disponível.....	43
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48

RESUMO

TOKURA, Alessandra Mayumi. Formas de fósforo em diferentes solos sob plantio direto em comparação a áreas adjacentes não cultivadas. Lavras: UFLA, 2001. 55 p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)*.

A distribuição das formas de P em solos sob vários anos de plantio direto (PD) foi determinada em amostras de solo retiradas nas profundidades de 0-5 e 5-10cm. Os solos estudados foram [Neossolo Quartzarênico, com 1 ano de PD; 2 Latossolos Vermelho distrófico, com 3 e 5 anos de PD; e 2 Latossolos Vermelho distroférico, com 7 e 11 anos de PD], sob dois sistemas (cultivado e não cultivado). Os objetivos foram de estudar as transformações das formas de fósforo em solos em função do tempo de cultivo sob sistema PD e sua comparação a áreas não cultivadas, além de relacionar as diferentes formas de fósforo com os extratores tradicionais do P disponível (Mehlich 1 e resina). O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas em faixas "Split Block", com três repetições. Os métodos de fracionamento de P foram eficientes para avaliar os efeitos do manejo na dinâmica das transformações de P no solo. A concentração das formas de P dos solos, extraídas sequencialmente, variaram em profundidade. Houve uma tendência comum de redução de todas as formas de P em profundidade. O P ligado a cálcio (P-Ca) e P extraído com HCl 1 mol L⁻¹ (P-ác), nas condições estudadas, apresentaram relações positivas e significativas com o P extraído por Mehlich-1 e resina, indicando que estas formas são potencialmente disponíveis para as plantas. Com o tempo de cultivo sob plantio direto, para uma mesma classe de solo, a participação das formas de P não lábeis em relação ao P total tendeu a diminuir, sendo acompanhada por um aumento relativo das formas mais lábeis.

* Comitê orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto-UFLA (orientador), Paulo César Gomes-UFLA, Nilton Curi-UFLA e Valdemar Faquin-UFLA.

ABSTRACT

TOKURA, Alessandra Mayumi. Phosphorus forms in different soils under no-till in comparison with non-cultivated adjacent areas. Lavras: UFLA, 2001. 55p. (Dissertation–Master in Agronomy: Soils and Plant Nutrition)*.

The distribution of P forms in soils under several years of no-till (NT) was determined in samples collected at 0-5 and 5-10cm depths. The soils were [Quartzarenic Neosol (Entisol), with 1 year of NT; 2 dystrophic Red Latosols (Oxisols), with 3 and 5 years of NT, and 2 dystroferic Red Latosols (Oxisols), with 7 and 11 years of NT], under two systems (cultivated and non-cultivated). The objectives were to study the transformations in phosphorus forms in soils as a function of time of cultivation under NT in comparison with non-cultivated adjacent areas, determined by two methods of sequential extraction, besides relating P forms with traditional extractants of available P (Mehlich-1 and resin). The experimental design was " Split Block " subdivided plots, with three replications. The methods of P fractionation were efficient to evaluate the effects of management in the dynamics of the transformations of P in the soil. The concentration of P forms in the soils varied according to the depth of sampling. There was a trend of reducing all forms of P in depth. The P bonded to Ca (P-Ca) and P extracted by HCl 1 molL⁻¹ (P-ac), in the studied conditions, presented positive and significant relationships with P extracted by Mehlich-1 and resin, indicating that these forms are potentially available for plants. With time of cultivation under no-till, for the same soil class, the participation of non-labile P forms in relation to total P tended to decrease, being accompanied by a relative increase in more labile forms.

* Guidance Committee: Antonio Eduardo Furtini Neto-UFLA (adviser), Paulo César Gomes-UFLA, Nilton Curi-UFLA and Valdemar Faquin-UFLA.


1 INTRODUÇÃO

A forma predominante de exploração da terra nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, em termos de extensão de área, é a monocultura da soja, podendo comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas regionais. Entretanto, com a competição econômica e globalizada na agricultura moderna, induzindo à obtenção de produções mais eficientes, a agricultura atual passa por um momento de grande transformação, na qual conceitos novos são aplicados aos agroecossistemas como forma de reverter o processo de degradação ao qual têm sido submetidos os solos agrícolas.

Difundido em nosso meio mais como medida de controle à erosão do que como um sistema de cultivo propriamente dito, o plantio direto (PD) foi implantado sem que houvesse informações básicas capazes de orientar os componentes envolvidos no sistema. Informações sobre o manejo da fertilidade do solo são ainda escassas para as nossas condições e carecem de subsídios para avaliação das modificações que ocorrem no ecossistema solo-planta. Adoção de tais práticas tem provocado mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

Em condições brasileiras, os estudos pioneiros de Ramos (1976) mostraram a eficiência do PD no controle das perdas de solo por erosão. Posteriormente, Muzilli (1985), avaliando a fertilidade do solo nesse sistema, constatou diferenças significativas quanto ao acúmulo de nutrientes no PD, em relação ao preparo convencional. Entre os nutrientes citados, o teor de fósforo (P) apresentou os maiores valores, sendo 4 a 7 vezes superiores aos encontrados no preparo convencional, na camada de 0-5cm, sugerindo a possibilidade de reduzir a adubação fosfatada no plantio direto.

Nessa situação, sentiu-se a necessidade de conhecer os efeitos desse sistema de cultivo ao longo do tempo, na disponibilidade do fósforo (P).



Embora em termos quantitativos esse nutriente seja um dos macronutrientes menos exigidos pelas plantas, é seguramente o que tem limitado a produção agrícola dos solos brasileiros com maior frequência, devido a sua baixa disponibilidade, decorrente principalmente da acentuada tendência do fosfato em reagir com componentes do solo, notadamente quando se trata de solos mais intemperizados e ácidos, ricos em óxidos de ferro e alumínio, como é o caso dos Latossolos.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivos: estudar as transformações das formas de fósforo em solos em função do tempo de cultivo no sistema PD e sua comparação a áreas não cultivadas, determinadas por dois métodos de extrações seqüenciais, de algumas das principais unidades de solos da região Centro-Oeste, além de relacionar as diferentes formas de fósforo com os extratores tradicionais do P disponível.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O sistema PD: Introdução e implicações na fertilidade do solo

A mudança da vegetação natural para sistema de exploração agropecuária provoca alterações profundas nas propriedades físicas, químicas e biológicas no solo (Lynch, 1984). Quando uma floresta tropical é convertida em pastagem ou área de cultivo de grãos, a ciclagem de nutrientes é fortemente afetada (Magid, 1993). O P orgânico é transformado em P solúvel pela ação das fosfatases, enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel.

A adoção de métodos de preparo é datada de épocas remotas (Lynch, 1984), tendo sido intensificada no período de grande desenvolvimento dos países industrializados.

Em regiões tropicais em que a fertilidade natural dos solos é limitada, devido ao intenso processo de intemperismo-lixiviação, a adoção de métodos de preparo tem como um dos objetivos principais a melhoria das propriedades químicas e físicas, visando aumentar o seu potencial produtivo. A elevada acidez, associada à pobreza de bases trocáveis, com saturação por alumínio elevada e a carência de P, têm sido as principais causas da limitação da produção agropecuária nos solos intemperizados dessa área do globo terrestre (Kampratt, 1977).

Por outro lado, o uso intensivo dos solos tem desencadeado, em muitas situações, elevadas perdas por erosão, tanto em regiões tropicais quanto temperadas. A preocupação em desenvolver estudos sobre sistemas conservacionistas de manejo do solo gerou o entrosamento entre diversos segmentos de indústria de máquinas agrícolas, de produtos agropecuários e de pesquisadores de diversas áreas de atuação (Phillips, 1984).

Os primeiros resultados do cultivo de milho em solos sem revolvimento que obtiveram sucesso foram obtidos por Davidson e Barrons, em 1951 (Dick, Mccox e Edwards, 1991).

O conceito inicialmente adotado foi derivado da expressão “no-tillage”, que significa sem preparo, definido por Jones *et al.* (1968) como sendo um procedimento de plantio de uma cultura diretamente sobre uma cobertura vegetal morta quimicamente, ou sobre os resíduos da cultura anterior, sem o preparo mecânico do leito de semeadura. Posteriormente, Muzilli (1991) ampliou o conceito, definindo-o como um processo de semeadura em solo não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato das sementes com a terra.

Atualmente este conceito assume a visão integrada de um sistema, envolvendo a combinação de práticas culturais ou biológicas, tais como: o uso de produtos químicos ou práticas mecânicas no manejo de culturas destinadas à adubação verde, para a formação de cobertura do solo; a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo; a adoção de métodos integrados de controle de plantas invasoras, através de cobertura do solo e herbicidas; e o não revolvimento do solo, exceto nos sulcos de semeadura.

Em regiões tropicais, provavelmente as primeiras citações sobre preparo reduzido foram feitas no estado de Minas Gerais, em 1961, por Vieira e Frazier (Muzilli, 1981). Posteriormente, os trabalhos pioneiros de Ramos (1976), na região Centro-Sul do Paraná, e Mondardo (1978), no Norte do Paraná, enfatizaram a eficiência do plantio direto no controle das perdas de solos por erosão (Sá, 1994).

Do ponto de vista da fertilidade do solo, foi constatado o efeito dos resíduos culturais no acúmulo de nutrientes e sua influência nas culturas em sucessão (Muzilli, 1983 e 1985; Sidiras e Pavan 1985). Nesses trabalhos, atribuíram-se os efeitos a mineralização dos resíduos culturais. A interação entre

os componentes do clima (temperatura e precipitação) é o efeito mais provável, pois se por um lado a cobertura morta reduz a amplitude térmica e a perda de água por evaporação, por outro lado, evidencia o efeito na mineralização dos resíduos e o acúmulo de nutrientes nas camadas superficiais.

Dick, Mccox e Edwards (1991), avaliando a adoção contínua do plantio direto (PD) por mais de 25 anos, através de diversos atributos do solo, comentaram que o acúmulo de P disponível na camada superficial deveu-se principalmente ao não revolvimento do solo, reduzindo a superfície de contato do nutriente com os colóides do solo.

Com o uso do solo, as remoções de P pelas plantas e as alterações na sua disponibilidade pelas calagens e adubações fosfatadas ou orgânicas podem alterar as formas de P.

Muitas lacunas ainda permanecem obscuras, sem maior conhecimento, não somente em relação ao desdobramento das diversas frações, mas também às formas de ocorrência de P no PD. A atenção de inúmeros pesquisadores tem sido destinada à compreensão do comportamento desse nutriente, principalmente em situações de contínua adoção do sistema.

2.2 Comportamento do P no solo: formas de ocorrência e dinâmica das reações

A discussão sobre os mecanismos que governam as transformações de P nos solos é muitas vezes exaustiva, tamanha a sua complexidade devido à interferência de diversos fatores que condicionam suas reações no solo. Ao relacionar as plantas, através de sua capacidade de extração do reservatório de onde retira o P para seu desenvolvimento, uma vasta argumentação sobre conceitos, modelos e mecanismos tem sido desenvolvida para explicar essa relação, não somente abrangendo as reações de equilíbrio, mas também as transformações biológicas de frações estáveis no solo.

A distribuição do P no solo engloba desde a sua participação na rede cristalina de alguns minerais até formas orgânicas estáveis, compondo a fração total (Pt), que se constitui de uma fração inorgânica (Pi) e outra orgânica (Po), as quais se encontram em equilíbrio dinâmico. Geralmente, o Pt é um índice de pouco valor para refletir a resposta das culturas, devido à baixa solubilidade dos compostos de P (Sá, 1994).

2.2.1 Fração inorgânica de P

A fração inorgânica de P no solo apresenta-se sob as seguintes formas: P-solúvel na solução do solo (P-solução); P lábil, sendo aquele precipitado ou adsorvido à fase sólida do solo, mas em equilíbrio com o P-solução; e P não lábil, caracterizado como aquele que, em curto prazo, não pode passar rapidamente à forma P-solução por estar envolvido em reações de precipitação com diferentes cátions ou adsorvido com alta energia à fase sólida (Larsen, 1967).

Dessa forma, o P adicionado aos solos através das adubações tende a passar rapidamente para formas menos solúveis. Este processo, com conseqüente redução na disponibilidade para as plantas, é genericamente conhecido como adsorção ou “fixação” de P. As reações no sentido inverso (dessorção, mobilização e dissolução) ocorrem de forma diferenciada. A reação de adsorção-dessorção parece ocorrer rapidamente nos solos e o equilíbrio pode ser obtido em poucos minutos ou horas. Já as reações de imobilização-mobilização ocorrem lentamente, atingindo o equilíbrio em dias ou meses (Ryden, Mchaughlin e Syers, 1977). A precipitação-dissolução provavelmente ocorre a taxas intermediárias às reações de adsorção-dessorção e imobilização-mobilização (Talibudeen, 1974; citado por Sá, 1994).

O esquema adotado por Mansell, Selim e Fiskell (1976), para simular as transformações do P aplicado ao solo (Figura 1), ilustra o comportamento do fósforo.

Este modelo foi estabelecido para descrever as transformações e o transporte do P aplicado durante o fluxo de água no solo. As transformações de P foram governadas por reações cinéticas, nas quais a teoria do transporte de massa (convecção-dispersão) foi utilizada e, em todos os casos estudados, os coeficientes tentaram a refletir as faixas existentes no solo.

Avaliando o suprimento contínuo de P para as plantas, Gunary e Sutton (1967), citados por Sá (1994), sugeriram a seguinte representação (Figura 2).

A quantidade de P absorvido pela planta dependeria do P solução, representado pela concentração do nutriente na solução do solo (fator “intensidade”); do P-lábil (P-solo), que representa a reserva de P no solo (fator “quantidade”); da relação entre as constantes K_1/K_2 (poder tampão do solo), representando o fator “capacidade” como uma medida da capacidade do solo em manter um determinado nível de P em solução e das constantes K_3 (influxo) e K_4 (efluxo). Dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, o efluxo (K_4) pode ser desprezível. Porém, se a taxa de absorção for superior, o influxo (K_3) será limitante. Em condições normais de crescimento e oferta de P à solução, K_3 e K_4 não seriam importantes e o sistema seria reduzido a quatro fatores primários: quantidade (P-solo), capacidade (K_1/K_2), intensidade (P-solução) e difusão.

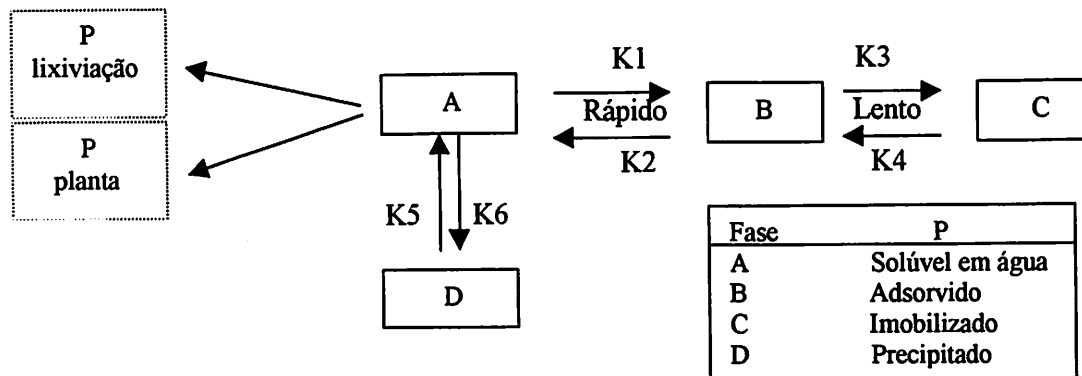


FIGURA 1. Ciclo esquemático das transformações de P no solo (Mansell, Selim e Fiskell, 1967).

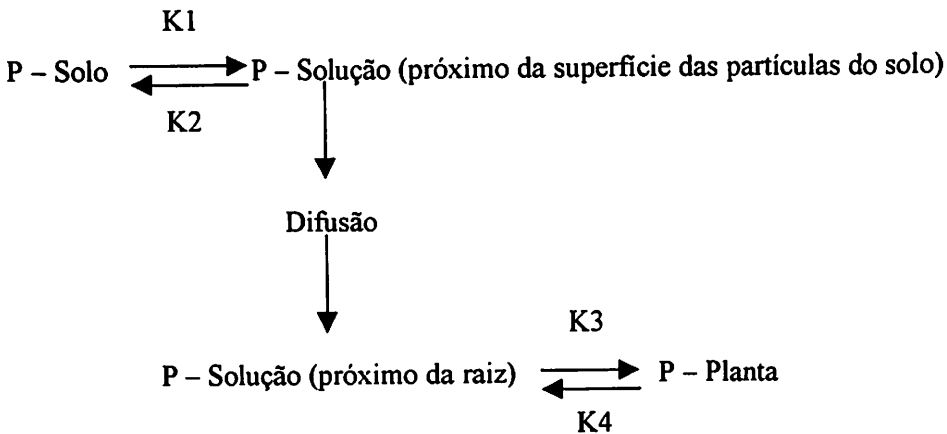


FIGURA 2. Esquema do suprimento contínuo de P para planta. Fonte: Gunary e Sutton (1967), citados por Sá (1994).

Assim, para que a absorção seja contínua, o P deve ser liberado da fase sólida e movimentar-se por difusão até a superfície das raízes. Esse deslocamento depende não somente dos teores de P em solução, como também do poder tampão, do P-lábil, da umidade e de outros fatores do solo (Barber, 1984).

Face ao exposto, dois mecanismos de “fixação” do fósforo destacam-se em função do tempo para atingir o equilíbrio: a precipitação, que consiste na formação de compostos insolúveis ou de baixa solubilidade, e a adsorção, que consiste na retenção do P solúvel na superfície de certos constituintes ou em formas livres de ferro e alumínio (Fassbbender, 1984).

A reação de precipitação é decorrente da combinação dos íons Fe^{+3} , Al^{+3} e Mn^{+2} , liberados para a solução do solo durante o processo de intemperização de solos, naturalmente ácidos, com os íons fosfatos resultando em produtos de baixa solubilidade.

O processo de adsorção de P à superfície de argilas oxidicas tem sido proposto como sendo uma reação de troca de ligantes em que oxidrilas e/ou, moléculas de água, coordenadas com ferro e alumínio, são deslocadas pelos íons fosfato (Parfitt, Atkinson e Smart, 1975).

Do ponto de vista de mecanismos de reação, Fassbender (1984) diferenciou a adsorção em dois grupos, considerando o grau e o tipo de ligação entre o P e a superfície adsorvente da partícula do solo, denominados de adsorção específica e não específica. O primeiro caso trata de uma ligação química de natureza covalente, que ocorre na superfície dos colóides de carga pH dependente, com elevada força de atração, independe da carga existente em sua superfície e resulta em P não lábil com o passar do tempo. No segundo caso ocorre uma atração eletrostática entre os ligantes, influenciada pelo pH, a qual é essencial que o pH esteja abaixo do ponto de carga zero, possibilitando a formação de carga positiva nos colóides de carga variável.

As argilas silicatadas possuem uma menor capacidade em adsorver P em relação aos óxidos e apresentam dois tipos de sítios de adsorção (Frossard *et al.*, 1994):

- 1) as faces quebradas dos cristais;
- 2) as superfícies carregadas positivamente.

Nas faces quebradas, com carga dependente do pH, a adsorção não específica é semelhante ao que acontece nos óxidos de Al (Parfitt, 1979).

2.2.2 Fração orgânica de P

A fração orgânica do solo pode ser derivada dos resíduos de plantas e tecidos da flora e fauna do solo e resíduos que resistem à rápida hidrólise. A quantificação do P orgânico é necessária para melhor entender a mineralização-

imobilização do P sob um ambiente particular e sob sistema de cultivo em solos (Kuo, 1996).

O interesse no estudo da fração orgânica de P em ecossistemas naturais e agroecossistemas tem resultado não somente em avanços no conhecimento de sua amplitude de variação, formas e mecanismos de estabilização nos horizontes superficiais do solo, mas também na sua contribuição ao suprimento de P para a nutrição das plantas.

A distribuição percentual de P orgânico em relação ao P total é muito variável e depende de vários fatores, tais como: material de origem, grau de evolução pedogenética dos solos, teor de carbono e ação dos componentes climáticos influenciando, em maior ou menor grau, o desdobramento dos compostos orgânicos do solo (Roberts, Bettany e Stewart, 1989).

Em regiões tropicais, nas quais o processo de intemperismo-lixiviação é intenso, os teores disponíveis de P para as plantas, no reservatório de P orgânico, são muito importantes.

Em ecossistemas não perturbados, a fração inorgânica “lábil” de P é pequena e as plantas utilizam o P oriundo do processo de mineralização dos resíduos de plantas e animais pelos microrganismos.

A complexidade química do P orgânico no solo, a suscetibilidade de alguns compostos em hidrolizar durante a extração, a adsorção pelos minerais de argila e a formação de sais insolúveis com cátions metálicos são fatores complicadores para maior compreensão das formas de P orgânico no solo (Rheinheimer, Anghinoni e Kaminski, 2000).

Nos agroecossistemas que privilegiam a manutenção de cobertura do solo através da deposição de resíduos vegetais sobre a superfície, a ciclagem do P e seu desdobramento assumem diferença relevante quanto ao seu comportamento. A decomposição dos resíduos é regulada por inúmeras variáveis, tais como: as propriedades químicas e físicas dos resíduos, os

componentes do clima, o pH e a umidade do solo e as interações entre a microflora e a micro, meso e macrofauna do solo.

Estudos básicos desenvolvidos por Chauhan, Stewart e Paul (1981), sobre a ciclagem de P no solo, mostraram as possíveis interações durante as transformações do nutriente. Eles observaram que o P adicionado ao solo era imobilizado e redistribuído em formas orgânicas e inorgânicas e que a disponibilidade na solução tinha uma relação direta com formas de P orgânico “lábil”.

Buchanan e King (1993) avaliaram as perdas de C e P através da decomposição de resíduos de soja, milho, trigo e trevo, sob influência do plantio direto e preparo convencional, em um período de 100 semanas. Consideraram as investigações de Mellilo, Aber e Muratore (1982), que têm demonstrado que a lignina, a concentração de N e a relação C/N nos resíduos são importantes características químicas que afetam a taxa de decomposição. Observaram perdas de C e P de todos os resíduos, mais rápidos e elevados no preparo convencionais, independentes do efeito da estação do ano.

2.3 Transformações de P no solo

A avaliação do “P-disponível” de um solo tem sido feita com o uso de soluções extratoras com características constitutivas diversas quanto à acidez, diluições, tamponamento, presença de compostos complexantes, etc. e, mais recentemente, com a resina de troca aniônica.

A quantidade de P dessorvível, definida como a quantidade de P que pode ser extraída do solo pelo abaixamento da concentração do P em solução, é estimada geralmente através de quatro métodos:

- 1) extrações químicas;

- 2) experimentos de adsorção-dessorção, através dos quais são investigadas relações entre o P adicionado e o P recuperado para um dado tempo de contato, proporção solo: solução e temperatura;
- 3) experimentos de dessorção utilizando resina de troca de ânions ou papel trocador de íons;
- 4) método isotópico.

Os métodos químicos foram, em sua maior parte, desenvolvidos empiricamente e baseiam-se na idéia de extrair do solo uma quantidade de P que seja proporcional à quantidade que as plantas podem absorver. Dos extratores utilizados, a maioria se baseia no princípio da dissolução de minerais contendo P e/ou, no deslocamento do P retido nas superfícies sólidas do solo para a solução, por ânions capazes de competir com o P pelos sítios de adsorção. Como exemplos de métodos que utilizam esse tipo de extratores, têm-se o de Bray (NH_4F $0,03\text{mol L}^{-1}$ + HCl $0,025\text{mol L}^{-1}$), Olsen (NaHCO_3 $0,5\text{mol L}^{-1}$ a pH 8,0), Mehlich-1 (H_2SO_4 $0,025\text{mol L}^{-1}$ + HCl $0,05\text{mol L}^{-1}$) e Mehlich-3 (CH_3COOH + NH_4NO_3 + NH_4F + HNO_3 e EDTA).

Atualmente, no Brasil, são empregados em rotina dois métodos de extração do fósforo “disponível” no solo: o Mehlich-1 e a resina de troca aniônica.

O Mehlich-1, conhecido como Norte Carolina ou duplo-ácido, é constituído pela mistura de dois ácidos fortes diluídos. O processo de extração se dá pela ação ácida e pela troca aniônica (Gillman, 1976). Apesar do seu grande uso atualmente no Brasil, o método Mehlich-1 tem apresentado limitações para alguns solos, notadamente para aqueles derivados de rochas máficas, solos previamente fertilizados com fosfatos naturais e solos de baixadas.

Amer *et al.* (1955), citados por Motta (1999), sugeriram o uso da resina de troca aniônica e apresentaram dados que evidenciaram uma estreita correlação entre o valor A (produção relativa do tratamento sem fósforo em

relação ao com fósforo) e o fósforo extraído pela resina. Segundo esses autores, o princípio de extração é a troca de íons quando a resina entra em contato com o fósforo da solução do solo. Todavia, estudos de Olsen e Khasawneh (1980) revelam que, embora haja semelhança entre a resina e a absorção pelas raízes das plantas, estas últimas, além do H_2PO_4^- , absorvem cátions da solução do solo, com interferência na remoção do fósforo.

Um dos problemas na interpretação dos resultados das análises químicas na avaliação da fertilidade do solo é o fato de que, muitas vezes, a quantidade de nutriente extraído não está correlacionada com aquela que o solo poderia fornecer às plantas (Delazari, Braga e Novais, 1983).

O fósforo do solo, estimado por um extrator, é apenas uma aproximação do fósforo “disponível” à planta. Os teores extraídos são reflexos dos fatores intensidade e quantidade, podendo até mesmo incluir parte do P não lábil. Muitos extratores deixam a desejar no que se refere à sensibilidade ao fator capacidade, diferentemente das condições de extração pela planta, as quais envolvem esses três fatores.

Para entender a condição do P e sua disponibilidade em solos, diversos esquemas de fracionamento têm sido desenvolvidos, visando fracionar o P de acordo com sua disponibilidade, pois o P ocorre no solo sob diferentes formas, caracterizadas por distintas capacidades de adsorção, principalmente em compostos de ferro, alumínio e cálcio, e na matéria orgânica (Raij e Feitosa, 1980).

2.3.1 Formas Inorgânicas (Fracionamento de Chang e Jackson, 1957)

Uma contribuição ao entendimento das formas de fósforo no solo deve-se a Chang e Jackson (1957), que desenvolveram um método que permite a

caracterização, através de extrações sucessivas, das diversas formas inorgânicas de fósforo, baseada na capacidade de determinadas substâncias químicas em dissolver compostos específicos de fósforo inorgânico do solo. Tais formas, associadas à fase sólida, geralmente estão divididas em três frações ativas e duas relativamente inativas: as ativas podem agrupar-se em fosfatos ligados a cálcio (P-Ca), a alumínio (P-Al) e a ferro (P-Fe); as frações relativamente inativas são as formas oclusas e aquelas que se dissolvem com a redução química do solo (Sanchez, 1981).

As formas ativas são mais disponíveis para as plantas (Udo e Dambo, 1979). Por ser de grande estabilidade, a forma de P-ocluído em partículas de óxidos de ferro e alumínio não contribui, em curto prazo, para o fornecimento de P para as plantas. Essa forma é, também, pouco variável em curto prazo, considerando alterações do pH do solo ou adições de fertilizantes fosfatados ao solo. E por ser, além de tudo isso, de mais difícil extração do que as outras formas, o P-ocluído, com frequência, não tem sido determinado. Boyer (1985) considera que esse método parece aproximar-se do que ocorre no solo.

Um dos primeiros estudos em que se empregou tal método de fracionamento para investigar as transformações de um fosfato solúvel adicionado a solos com diferentes características foi realizado por Chang e Chu (1961). Os autores verificaram que em seis solos, com pH variando de 5,3 a 7,5, após 100 dias de incubação com fosfato solúvel, a quantidade de P-Fe aumentou, enquanto a de P-Al e de P-Ca decresceram. Em dois Latossolos, dentre os seis solos estudados, a quantidade de P-Fe ultrapassou a de P-Al. Os autores constataram ainda que, em solo adubado com fosfato solúvel ao longo de 31 anos, a principal forma estabilizada foi P-Fe, seguida pelo P-Al e P-Ca.

O comportamento das formas de fósforo inorgânico (P-H₂O, P-Al, P-Fe e P-Ca) em cinco Latossolos de Minas Gerais com aplicação de fósforo e calcário foi estudado por Lopes (1992). Verificou-se, de modo geral, a

predominância da forma P-Al sobre as demais, após 30 e 90 dias de incubação, para quaisquer doses de fósforo e de calcário aplicadas. No entanto, aos 300 dias de incubação, o P-Fe foi superior às demais formas. Observou-se que nos três períodos de incubação, os teores de P-H₂O, P-Al e P-Fe aumentaram com as doses de fósforo.

A natureza e a distribuição das formas de fósforo no solo têm fornecido informações para a avaliação da disponibilidade do fósforo e para a estimativa da intemperização do solo.

Após o desenvolvimento do método de fracionamento do P-inorgânico do solo por Chang e Jackson (1957), muitos estudos foram realizados para determinar qual a forma inorgânica de P é preferencialmente absorvida pelas plantas; qual a relação entre P-disponível, por diferentes extratores, e as diferentes frações de P; ou mesmo o efeito do grau de intemperismo do solo sobre a presença das diferentes formas de P.

O conhecimento das formas de P preferencialmente recuperadas pelas plantas e pelos extratores permite, como sugerido por Bahia *et al.* (1983), identificar qual o extrator é mais adequado para uma determinada área.

Os extratores podem liberar P do solo através da combinação, ou não, de quatro mecanismos: dissolução ácida, troca aniônica, complexação catiônica e hidrólise catiônica (Kamprath e Watson, 1980). Desse modo, o P disponível às plantas, avaliado por diferentes extratores, inclui diferentes proporções de P-H₂O, P-Ca, P-Al e P-Fe. As formas ligadas a Fe e Al são as principais fontes de P em alguns solos brasileiros (Barbosa Filho, Kinjo e Muraoka, 1987).

2.3.2 Formas Orgânicas e Inorgânicas (Fracionamento de Hedley, Stewart e Ghauhan, 1982)

O fracionamento de Hedley, Stewart e Ghauhan (1982) baseia-se na extração seqüencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis, através das quais as formas inorgânicas e orgânicas são separadas conforme a sua disponibilidade para as plantas. As formas lábeis referem-se ao P disponível (P-resina) e ao P inorgânico (Pi) e orgânico (Po) adsorvido na superfície dos colóides (P-NaHCO₃). O P microbiano (P-NaHCO₃/CH₃Cl) constitui uma subfração do P-NaHCO₃ obtida pela diferença entre o P determinado antes e após a lise das células microbianas por clorofórmio (CH₃Cl). As formas pouco lábeis referem-se às formas inorgânicas ligadas a Fe e Al e orgânicas associadas aos compostos húmicos (P-NaOH), além de formas orgânicas e inorgânicas localizadas no interior de agregados, obtidas por ultra-sonificação no extrato residual de NaOH. As formas consideradas não lábeis correspondem ao P ligado a Ca (P-HCl) e ao P residual, referente às formas mais estáveis de Po e formas insolúveis de Pi, cuja extração é obtida através de digestão com H₂SO₄ e H₂O₂.

O uso do solo, com as conseqüentes remoções pelas colheitas e adições pelas adubações fosfatadas ou orgânicas, acaba por alterar estas formas.

Este fracionamento tem sido utilizado com freqüência para avaliar mudanças de formas de P no solo com os anos de cultivos, com maior ou menor intensidade de uso. Alterações dessas formas de P com o manejo do solo, ao longo dos cultivos, têm sido também acompanhadas para avaliar a sustentabilidade da produtividade agrícola desses sistemas.

Uma evidente carência de pesquisa sobre esse fracionamento é a não comparação de seus resultados com os dos extratores tradicionais do P disponível ou mesmo com a resposta da planta, como se fez exaustivamente com o fracionamento de Chang e Jackson (1957).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Solos

Foram selecionadas áreas em solos não cultivados e em solos cultivados, nos quais o plantio direto é adotado em sistema de produção semelhante (soja/milho), e em três classes de solo: Areia Quartzosa (AQ), com um ano de PD; dois Latossolos Vermelho Escuro (LE), com três e cinco anos de PD; e dois Latossolos Roxo (LR), com sete e 11 anos de PD. Entretanto, na nova classificação esses solos são classificados como: Neossolo Quartzarênico (RQ); Latossolo Vermelho distrófico (LVd); Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), respectivamente.

Foram realizadas avaliações em fazendas localizadas nos municípios de Maracaju (MS), Alto Garça (MT) e Itiquira (MT).

Os solos estudados e as principais informações sobre os mesmos encontram-se na Tabela 1.

Em cada área de estudo escolheram-se glebas homogêneas de cerca de um hectare, nas quais foram abertas trincheiras perpendicularmente à linha de plantio, numa faixa de 45cm de comprimento e cinco centímetro de largura, coletando-se nove amostras simples por amostra composta sob vegetação nativa (NC) e em áreas cultivadas (C), por diferentes períodos de tempo, sob sistema de produção que envolveu calagens e adubações fosfatadas, sem o revolvimento do solo.

Nas áreas cultivadas, escolheram-se três linhas de plantio de soja em estágio de canivettino, separadas entre si por 50 metros, amostrando-se em cada uma delas três pontos, um a cada 25 metros, nas profundidades de 0-5 e 5-10cm. Nas áreas sob vegetação natural (NC) foram delimitados três transectos de amostragem, procedendo-se depois da mesma forma que nas áreas cultivadas (C), sendo mantida uma distância máxima de 200 metros entre as áreas C e NC.

TABELA 1. Informações básicas sobre os solos sob PD.

Solos	Textura	Rocha de Origem	Vegetação Nativa	Localização	Uso atual	Manejo ⁽¹⁾
Neossolo Quartzarênico (RQ) (1 ano PD)	Arenosa	Arenito Bauru	Cerrado Tropical	Itiquira (MT)	Culturas anuais (soja/milho)	Adubação fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (3 e 5 anos PD)	Média	Sedimentos do Terciário	Cerrado Tropical	Alto Garça (MT)	Culturas anuais (soja/milho)	Adubação fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente
Latossolo Vermelho distrófico (LVdf) (7 e 11 anos PD)	Argilosa	Basalto	Floresta Tropical	Maracaju (MS)	Culturas anuais (soja/milho)	Adubação fosfatada anualmente e calagem ocasionalmente

1- Adubações e calagem da cultura atual (soja): RQ, 1 ano PD: aplicaram-se 250kg ha⁻¹ de superfosfato simples + 100kg ha⁻¹ de MAP (fosfato monoamônio) + 70kg ha⁻¹ cloreto de potássio + 6kg ha⁻¹ de sulfato de cobre (25/100) + 10 kg ha⁻¹ de zinco (25/70) e 1 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico; LVd, 3 anos PD: aplicaram-se 250kg ha⁻¹ de superfosfato simples + 100 kg ha⁻¹ de MAP (fosfato monoamônio) + 70kg ha⁻¹ cloreto de potássio + 10kg ha⁻¹ de sulfato de amônio + 14kg ha⁻¹ de zinco (25/70) e a última calagem foi realizada a 2 anos (1,0 t ha⁻¹); LVd, 5 anos PD: aplicaram-se 232kg ha⁻¹ de superfosfato simples + 65kg ha⁻¹ de MAP (fosfato monoamônio) + 65kg ha⁻¹ cloreto de potássio + 9kg ha⁻¹ de sulfato de amônio + 4kg ha⁻¹ de manganês (25/70) e 1 t.ha⁻¹ de calcário dolomítico; LVdf, 7 anos PD: aplicaram-se 420kg ha⁻¹ da fórmula (0-11-20) + 350kg ha⁻¹ de superfosfato simples + 3,5t ha⁻¹ de calcário e 350kg ha⁻¹ de gesso + micronutrientes (Zn + B); LVdf, 11 anos PD: aplicaram-se 350kg ha⁻¹ da fórmula (0-16-16) + micronutrientes e a última calagem foi realizada a 7 anos (2,5t ha⁻¹).

Todas as amostras foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira de 2mm de malha e armazenadas em caixas de papelão. Subamostras desses solos, bem homogeneizadas, foram submetidas às análises químicas e físicas descrita a seguir.

3.2 Caracterização física

A granulometria foi determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997), utilizando NaOH $0,1\text{mol L}^{-1}$ como dispersante químico e agitação rápida (20 minutos), sendo a fração areia (2- $0,053\text{mm}$) separada através de tamisagem.

3.3 Caracterização química

As análises de rotina foram realizadas de acordo com EMBRAPA (1997) e englobam pH em água, Ca, Mg, Al, e K e Ca, Mg e Al extraídos com KCl 1mol L^{-1} e K pelo HCl $0,05\text{mol L}^{-1}$ + H₂SO₄ $0,025\text{mol L}^{-1}$ (Mehlich-1). Também foram realizados as determinações da acidez potencial (H + Al) e carbono orgânico conforme Rajj *et al.* (1987). Os micronutrientes Cu, Zn, Mn e Fe foram extraídos pelo DTPA (Lindsay e Norwell, 1978).

Subamostras desses solos foram passadas em peneira de 100 meshes. As diferentes formas de P no solo foram determinadas conforme o método de Chang e Jackson (1957) e Hedley, Stewart e Ghauhan (1982), modificado por Pavan e Chaves (1996).

Pelo método de Chang e Jackson (1957), foram determinadas as formas de P ligado a alumínio (P-Al), extraído com NH₄F $0,5\text{mol L}^{-1}$ a pH 8,2; P ligado a ferro (P-Fe), extraído com NaOH $0,1\text{mol L}^{-1}$; e P ligado a cálcio (P-Ca), extraído com H₂SO₄ $0,25\text{mol L}^{-1}$. Após a extração do P-Al, o solo residual foi centrifugado (5 minutos à 2400rpm) duas vezes com NaCl 1mol L^{-1} , havendo o

descarte do líquido sobrenadante. O solo remanescente da determinação anterior, e que ficou no tubo de centrifuga, foi utilizado para determinação de P-Fe e P-Ca.

Pelo método de Hedley, Stewart e Ghauhan (1982), em duplicatas, foram determinadas as formas: (1) formas lábeis de P, isto é, P disponível (P-resina) e o P adsorvido à superfície dos colóides $[(\text{Pi} + \text{Po}) - \text{NaHCO}_3, 0,5\text{mol L}^{-1}]$; (2) formas pouco lábeis de P, que compreendem o P inorgânico ligado a ferro e a alumínio e o P orgânico ligado a compostos húmicos $[(\text{Pi} + \text{Po}) - \text{NaOH}, 0,1\text{mol L}^{-1}]$; e (3) formas não lábeis de P, que incluem o P ligado ao cálcio (P-ác.) extraído com $\text{HCl } 1\text{mol L}^{-1}$, e as formas mais estáveis de Po e Pi (P-residual), determinadas por digestão com H_2SO_4 concentrado e H_2O_2 . Após a extração do P-resina, o solo foi centrifugado a 2000rpm por 30 minutos, e a amostra A foi utilizada para a extração do Pi-bicarbonato e Pi+Po-bicarbonato por autoclave, enquanto a amostra B foi utilizada para a determinação das demais formas, conforme esquematizado na Figura 3.

O fósforo orgânico (Po) determinado de acordo com Hedley, Stewart e Ghauhan (1982) foi calculado por diferença entre o P-autoclavado e o P-acidificado, já que a amostra autoclavada inclui o P orgânico mais o inorgânico, enquanto, no extrato acidificado, o P orgânico é separado mediante a precipitação da matéria orgânica.

Para a extração com resina no método de Hedley, Stewart e Ghauhan (1982), foram confeccionados saquinhos de polietileno de $400\mu\text{m}$ de malha, nos quais colocou-se 0,6g de resina de troca aniônica DOWAX2-X18, saturada com bicarbonato.

O fósforo foi determinado por colorimetria em todos os extratos, segundo Murphy e Riley (1962).

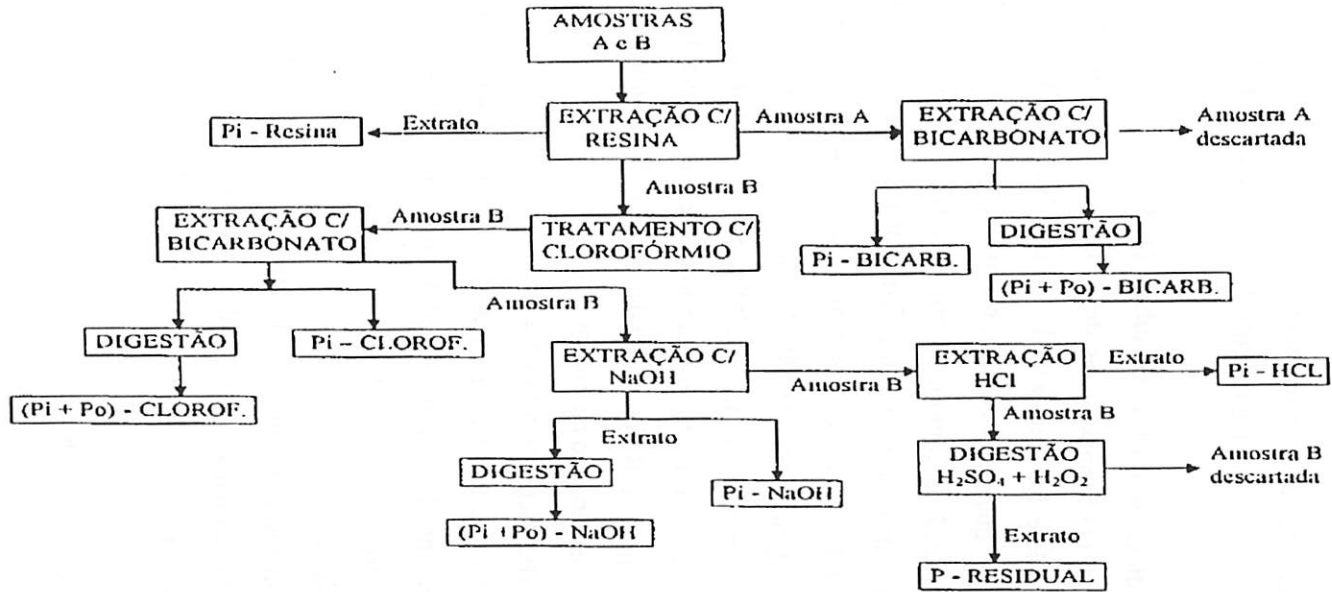


FIGURA 3. Fluxograma operacional do fracionamento de fósforo segundo Hedley, Stewart e Ghauhan (1982), adaptado de Pavan e Chaves (1996).

A disponibilidade de P foi também avaliada pelos extratores Mehlich-1 (HCl 0,05mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125mol L⁻¹) (EMBRAPA, 1997), utilizando 10cm³ de solo (TFSA) e 100mL da solução extratora, sendo o tempo de contato solo/solução extratora de cinco minutos. O fósforo extraído pelo extrator resina de troca iônica foi determinado conforme Raij *et al.* (1987).

3.4 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado nesse ensaio foi em parcelas subdivididas em faixas “Split Block”, empregando-se o programa de análise estatística (STAT-UNESP) e considerando o manejo como parcela principal e as formas de P como subparcelas.

Deve-se notar, porém, que não houve um desenho experimental clássico, com repetições e casualização de tratamentos (tempo de cultivo e classes de solo). Assim, diferenças significativas entre locais podem ser devidas ao tempo e sistema de cultivo e classes de solo. Contudo, essa é uma situação freqüentemente encontrada na literatura agrônômica em comparações de locais cultivados com não cultivados (Schimel, Coleman e Horton, 1985).

Relações entre formas de fósforo e o P disponível (Mehlich-1 e resina) foram avaliadas através de análise de correlação simples (Pearson).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química

Os valores de pH e bases trocáveis são bastante variáveis, pois refletem o efeito do manejo e do tempo de cultivo, além do material de origem e de processos de formação dos solos.

Na Tabela 2 observa-se, de modo geral, que os solos não cultivados (NC) apresentaram valores de pH menores em relação às áreas cultivadas (C) para todas as classes de solo, com valores variando de 5,3-6,2, exceto para o solo Neossolo Quartzarênico (RQ), com valor de 4,5. Pode-se observar valores nulos ou quase nulos de alumínio trocável nos solos C; entretanto, nos solos NC, seus valores foram um pouco mais elevados, sendo observado que $RQ > LVd$ (5 anos PD), em torno de 12 e 9,0 $\text{mmol}_e \text{dm}^{-3}$, respectivamente.

Com relação aos cátions básicos trocáveis, a maioria das áreas apresentou valores superiores de cálcio (Ca^{+2}), de magnésio (Mg^{+2}) e de potássio (K^+) nos solos C em relação aos NC, nas duas profundidades, como consequência das adubações e calagens realizadas. Para os solos LVdf, os menores teores de cálcio e, em menor proporção, de magnésio nas áreas cultivadas, em relação às não cultivadas, podem estar relacionados com a maior exportação desses nutrientes, com o maior tempo de cultivo, 7 e 11 anos.

Em todas as classes de solo (RQ, LVd e LVdf) e em qualquer tempo de cultivo, a concentração de potássio decresceu com a profundidade, o que está de acordo com Ramos (1977). Da mesma forma que ocorreu com o K^+ , as concentrações de Ca^{+2} e Mg^{+2} , de modo geral, foram maiores nas camadas 0-5cm de profundidade. Resultados semelhantes foram observados nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, onde o acúmulo de Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+ , bem como de

P extraível foram observados nas camadas superficiais, a partir de 3 a 4 anos de cultivo sob PD (Muzilli, 1983).

TABELA 2. Atributos químicos dos solos cultivados por diferentes anos sob plantio direto e solos não cultivados.

Atributos	Solos ⁽¹⁾										
	Prof. (cm)	RQ (1 ano)		LVd (3 anos)		LVd (5 anos)		LVdf (7 anos)		LVdf (11 anos)	
		NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C
pH em água	0 - 5	4,5	6,5	5,5	5,5	5,4	6,0	5,9	6,5	6,2	6,3
	5 - 10	4,6	6,7	5,7	5,4	5,3	5,5	6,2	5,6	6,2	6,6
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	12	0	2,0	1,0	9,0	0	0	0	0	0
	5 - 10	10	0	6,0	1,0	8,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	4,0	27	11	19	3,0	33	103	63	132	94
	5 - 10	3,0	23	4,0	15	4,0	19	53	41	94	79
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	2,0	15	4,0	8,0	1,0	21	28	26	31	31
	5 - 10	1,0	14	2,0	8,0	1,0	13	11	12	37	18
K ⁺ (mg dm ⁻³)	0 - 5	31,5	125	104	146	32	214	180	286	179,5	213
	5 - 10	14,0	72	83	74	23	86	98,5	200	195,5	77
H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	79	13	45	36	70	28	24	18	23	17
	5 - 10	71	15	45	34	56	43	31	41	57	21
P Mehlich-1 (mg dm ⁻³)	0 - 5	2,0	17,0	3,5	9,0	1,0	9,0	4,0	120,0	3,0	51,0
	5 - 10	1,0	34,0	2,0	9,0	1,0	10,0	2,0	19,5	2,0	13,0
P resina (mg dm ⁻³)	0 - 5	6,9	19,2	8,5	15,5	6,9	15,0	14,4	145,5	12,8	67,8
	5 - 10	6,3	19,9	6,6	11,3	5,9	27,8	8,4	36,2	15,9	20,1
SB (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	7,0	45	17,7	30,7	4,8	59,5	135,6	96,3	167,6	130,4
	5 - 10	4,0	39	25,8	55,6	5,6	34,2	66,5	58,1	136,0	99,0
t (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	19	45	19,7	31,7	13,8	59,5	135,6	96,3	167,6	130,4
	5 - 10	14	39	31,8	55,6	13,6	35,2	67,5	58,1	137,0	99,0
T (mmol _c dm ⁻³)	0 - 5	98	58	62,7	66,7	74,8	87,5	160	114,3	190	147,4
	5 - 10	85	54	70,8	89,6	61,6	77,2	98,5	99,1	194,0	120,0
V (%)	0 - 5	7,1	77,6	28,2	46,0	6,4	68,0	85,0	84,3	87,9	88,5
	5 - 10	4,7	72,2	36,4	62,0	9,1	44,3	67,5	89,0	70,1	82,5
m (%)	0 - 5	63,2	0	10,2	3,2	65,2	0	0	0	0	0
	5 - 10	71,4	0	18,9	2,8	58,8	2,8	1,5	1,7	0,6	1,0
B (mg dm ⁻³)	0 - 5	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5
	5 - 10	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Cu (mg dm ⁻³)	0 - 5	0,2	0,6	0,3	1,4	0,2	1,3	4,0	1,6	3,2	3,1
	5 - 10	8,4	0,4	2,4	0,9	0,4	1,9	4,9	3,1	8,3	3,3
Fe (mg dm ⁻³)	0 - 5	147,7	11,7	31,7	26,5	108,5	26,4	5,2	4,6	11,7	9,4
	5 - 10	54,8	13,8	26,7	25,5	44,8	32,4	4,8	4,2	15,3	10,4
Mn (mg dm ⁻³)	0 - 5	2,7	3,3	7,7	4,2	3,6	4,6	26,1	12,7	74,3	32,9
	5 - 10	1,5	1,3	5,9	3,6	1,1	3,3	27,7	10,6	106,8	26,7
Zn (mg dm ⁻³)	0 - 5	0,5	2,2	0,2	3,5	0,1	2,6	3,7	2,5	1,2	1,2
	5 - 10	0,2	1,8	0,1	3,4	0,1	2,9	0,8	0,9	1,3	0,9
MO (g kg ⁻¹)	0 - 5	23	19	30	25	34	34	63	31	60	40
	5 - 10	19	19	19	22	22	24	31	25	53	29

(1) RQ: Neossolo Quartzarênico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; LVdf: Latossolo Vermelho distroférico.

(2) NC: solo não cultivado; C: solo cultivado.

Para todos os solos e nas duas profundidades amostradas, os teores de matéria orgânica (MO) mostraram-se quase sempre inferiores nos solos cultivados, em relação aos solos não cultivados, o que se deve provavelmente à maior mineralização da MO provocada pelo cultivo. Entretanto, para as classes de solos LVd e LVdf refletiram um considerável acréscimo de MO, com o decorrer do tempo, com aumentos superiores na camada superficial (0-5cm) devido ao retorno dos resíduos vegetais na superfície do solo. Blevins, Murdock e Thomas (1978) fazem referências ao fato de que o PD, quando praticado por vários anos, resulta em maiores incrementos no teor de MO na camada arável.

É sabido que a matéria orgânica é uma fonte de fósforo, por meio da decomposição e mineralização (Tiessen, Salcedo e Sampaio, 1992). Os LVdf apresentaram teores mais altos de MO que as demais classes de solo, principalmente nas áreas NC, devido, possivelmente, aos maiores teores de argila (Tabela 3), que favorecem a formação de complexos argilo-húmicos.

O sistema PD geralmente apresenta um maior grau de umidade na camada arável, propiciando um melhor desenvolvimento das raízes e aproveitamento dos nutrientes dos fertilizantes (Robbins e Voss, 1991).

Em termos de micronutrientes, nos solos não cultivados, os maiores valores foram encontrados nos Latossolos Vermelho distroféricos (Tabela 2), em consonância com a maior riqueza das rochas máficas geradoras dos mesmos (Curi e Franzmeier, 1987; Resende *et al.*, 1999).

Os teores de P recuperados pelo extrator Mehlich-1 foram, para os solos não cultivados, de 1,0 a 4,0mg dm⁻³, e de 9,0 a 51mg dm⁻³ para os solos cultivados (Tabela 2). Esses resultados estão relacionados com a aplicação de fertilizantes fosfatados e da calagem, o que está de acordo com Rajj (1991), segundo o qual a elevação do pH dos solos pelo calcário aumenta a solubilidade de vários compostos de P do solo, favorece a dessorção pela troca de ligantes

(OH⁻) e diminui a energia de adsorção, aumentando a atividade de fosfato em solução.

TABELA 3. Características físicas de amostras de solo de áreas cultivadas (C) por diferentes anos sob plantio direto e de áreas adjacentes sob vegetação nativa (NC). Valores médios de três repetições.

Manejo	Prof. (cm)	Granulometria			
		Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
g kg ⁻¹					
Neossolo Quartzarênico					
NC	0 - 5	16	817	27	140
NC	5 - 10	14	842	29	115
C (1 ano PD)	0 - 5	22	823	52	103
C (1 ano PD)	5 - 10	17	810	43	130
Latossolo Vermelho distrófico					
NC	0 - 5	576	121	87	216
NC	5 - 10	621	116	93	170
C (3 anos PD)	0 - 5	604	144	57	195
C (3 anos PD)	5 - 10	606	137	54	203
Latossolo Vermelho distrófico					
NC	0 - 5	490	199	72	239
NC	5 - 10	494	181	96	229
C (5 anos PD)	0 - 5	363	209	132	296
C (5 anos PD)	5 - 10	389	172	119	265
Latossolo Vermelho distroférico					
NC	0 - 5	101	84	237	578
NC	5 - 10	67	72	221	640
C (7 anos PD)	0 - 5	109	83	248	560
C (7 anos PD)	5 - 10	89	85	216	610
Latossolo Vermelho distroférico					
NC	0 - 5	123	126	214	537
NC	5 - 10	149	110	172	569
C (11 anos PD)	0 - 5	145	122	234	499
C (11 anos PD)	5 - 10	137	124	147	592

NC: solo não cultivado; C: solo cultivado.

Nos LVdf, os teores de P foram bem mais elevados até mesmo para os solos NC, indicando herança do material de origem. Em todos os solos, cultivados e não cultivados, os teores de fósforo nos primeiros 5cm de profundidade foram sensivelmente mais altos, com efeito, mais pronunciado no LVdf do que nas demais classes de solo.

Os valores de P resina apresentaram valores mais elevados que o P Mehlich-1 em todos os casos, à exceção da RQ, na profundidade de 5-10cm na área C.

Os teores de P-resina obtidos pelo fracionamento não podem ser comparados com aqueles obtidos pela análise de rotina em razão do uso da fração TFSA e da maior relação solo: extrator no método utilizado para análise de rotina, e também pelo fato de que, no fracionamento, o solo é passado em peneira de 100 meshes após moagem, procedimento que pode expor novos sítios de adsorção, antes inacessíveis, reduzindo o P na solução de equilíbrio (Motta, 1999). Além disso, a resina utilizada na análise de rotina é uma mistura de resinas aniônica e catiônica, enquanto, no fracionamento, utiliza-se somente resina aniônica.

4.2 Análise física

Analisando a distribuição das frações (areia, silte e argila), verifica-se que a fração argila predomina nos Latossolos Vermelho distroféricos, em relação aos Latossolos Vermelho distróficos e Neossolo Quartzarênico (Tabela 3). Isto evidencia o estágio avançado de intemperismo, em que frações menores estão em maiores quantidades.

Embora a fração argila apresente relação com a adsorção do P e com a capacidade tampão do solo, é importante a identificação do componente mineralógico que predomina nesta fração.

4.3 Formas de P

As diferenças pedogenéticas combinadas com o manejo contribuíram na magnitude das formas de P encontradas nesses solos.

4.3.1 Formas inorgânicas de P (Chang e Jackson, 1957)

Com relação às duas camadas amostradas, as formas inorgânicas de P apresentaram diferenças significativas nas áreas cultivadas, com exceção da forma (P-Fe) no LVd com 5 anos de PD (Tabela 4), indicando que o cultivo está influenciando as distribuições das formas de P em profundidade. Diferenças significativas também foram observadas entre as formas de P numa mesma profundidade.

Observou-se um predomínio da forma P-Fe em todos os solos cultivados. Essa observação reflete o estágio de intemperismo dos solos (LVd e LVdf), sendo os maiores valores encontrados nos LVdf, o que está de acordo com Machado, Brauner e Vianna (1993), que verificaram, nos solos mais intemperizados do Rio Grande do Sul, um predomínio de P-Fe em relação às demais formas inorgânicas ativas. As elevadas taxas de conversão do fósforo adicionado em P-Al e P-Fe, como observados nos trabalhos de Barbosa Filho, Kinjo e Muraoka (1987) e Lopes (1992), evidenciam a relevância dos óxidos de Fe e de Al no que tange ao fenômeno de adsorção de fósforo. À medida, que os solos vão se tornando mais ácidos pela remoção de sílica e de bases, as formas mais solúveis de P-Ca são convertidas para P-Al e P-Fe (Hsu, 1977).

Os aumentos relativos de P-Fe com o cultivo indicam a importância das adubações fosfatadas. No caso da existência de grande quantidade de óxidos de ferro, independente da existência de carga positiva, os íons fosfatos ligam-se fortemente à superfície por ligação covalente, denominada adsorção específica,

TABELA 4. Formas de fósforo inorgânico em amostras de solos de áreas cultivadas sob plantio direto (PD) e de áreas adjacentes sob vegetação nativa, determinada pelo fracionamento de Chang e Jackson (1957). Médias de três repetições.

Profundidade (cm)	Manejo ⁽¹⁾	P-Al ⁽²⁾	P-Fe ⁽²⁾	P-Ca ⁽²⁾
mg kg ⁻¹				
Neossolo Quartzarênico				
0 - 5	NC	3,26 c A	0,24 c C	2,15 c B
0 - 5	C (1 ano PD)	11,45 a B	12,20 b A	4,19 a C
5 - 10	NC	2,77 d A	0,47 c C	1,65 d B
5 - 10	C (1 ano PD)	10,78 b B	13,20 a A	3,49 b C
Latossolo Vermelho distrófico				
0 - 5	NC	5,59 c A	1,45 d C	3,49 c B
0 - 5	C (3 anos PD)	19,93 a B	25,46 a A	6,12 b C
5 - 10	NC	3,84 d B	17,58 b A	3,10 c C
5 - 10	C (3 anos PD)	10,58 b B	16,40 c A	7,09 a C
Latossolo Vermelho distrófico				
0 - 5	NC	0,32 c C	17,58 b A	5,56 c B
0 - 5	C (5 anos PD)	17,04 a B	44,09 a A	13,50 a C
5 - 10	NC	0,28 c C	16,58 c A	5,79 c B
5 - 10	C (5 anos PD)	16,44 b B	43,87 a A	11,30 b C
Latossolo Vermelho distroférico				
0 - 5	NC	6,18 c C	51,15 c A	29,09 d B
0 - 5	C (7 anos PD)	14,54 b C	102,47 a B	106,74 a A
5 - 10	NC	1,07 d C	40,23 d A	32,30 c B
5 - 10	C (7 anos PD)	34,11 a C	54,85 b A	37,73 b B
Latossolo Vermelho distroférico				
0 - 5	NC	0,77 b C	29,91 c B	31,22 c A
0 - 5	C (11 anos PD)	3,90 b C	113,2 a A	74,69 a B
5 - 10	NC	0,29 b B	26,62 c A	25,88 d A
5 - 10	C (11 anos PD)	21,92 a C	55,28 b A	51,57 b B

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para um mesmo solo, não diferem entre si (Tukey 5%).

⁽¹⁾ NC: solo não cultivado e C: solo cultivado.

⁽²⁾ P-Al - fósforo ligado a alumínio; P-Fe - fósforo ligado a ferro; P-Ca - fósforo ligado a cálcio.

sendo dificilmente trocado por outros ânions existentes na solução do solo (Vale *et al.*, 1995).

O P-Ca foi a segunda forma predominante nos solos LVdf. Os acréscimos nos teores de P-Ca, para todos os solos, têm como provável causa os aumentos da atividade do cálcio proporcionada pela calagem.

A aplicação de calcário e as adubações fosfatadas promoveram aumento de todas as formas de P inorgânico, conforme pode ser observado nos solos cultivados, em relação às áreas sob vegetação nativa (Tabela 4). Comportamento semelhante tem sido observado por vários autores em diferentes classes de solo (Barbosa Filho, Kinjo e Muraoka, 1987; Novelino, 1999).

O maior teor de fósforo na superfície (0-5cm) pode ser atribuído à baixa mobilidade e baixa solubilidade de seus compostos (Raij, 1991).

Phillips *et al.* (1980) atribuem a maior eficiência de aproveitamento do P em PD ao fato de que a camada superficial do solo, imediatamente abaixo da cobertura morta formada pelos resíduos mantidos sobre a superfície do terreno, apresenta maior grau de umidade e favorece a taxa de difusão do P até as raízes.

4.3.2 Formas orgânicas e inorgânicas de P (Hedley, Stewart e Ghauhan, 1982)

As concentrações das formas de P nas áreas estudadas (C e NC), variaram em profundidade, apresentando diferenças significativas na maior parte, principalmente nas áreas cultivadas, nas quais o cultivo e a aplicação de fertilizantes e calcário nos solos afetaram a distribuição das mesmas, com aumento em praticamente todas elas. Em relação às formas de P numa mesma profundidade, não se verificaram diferenças significativas em algumas formas, principalmente nas mais lábeis (P-res; Pi-bic e Po-bic). As maiores

concentrações de P foram observadas para as formas P-rdu, seguido de Pi-hid e Po-hid, e as menores para P-res, Pi e Po-bic e P-ác (Tabela 5).

TABELA 5. Formas de fósforo em amostras de solos de áreas cultivadas sob plantio direto (PD) e de áreas adjacentes sob vegetação nativa, determinada pelo fracionamento de Hedley, Stewart e Ghauhan (1982). Médias de três repetições.

Prof (2)	Manejo (1)	P-res ⁽²⁾	Pi-bic ⁽²⁾	Po-bic ⁽²⁾	Pi-hid ⁽²⁾	Po-hid ⁽²⁾	P-ác ⁽²⁾	P-rdu ⁽²⁾	Pt ⁽²⁾
mg kg ⁻¹									
Neossolo Quartzarênico, sendo a área cultivada com 1 ano PD									
0-5	NC	3,6 c DE	1,7 b E	1,7 b E	6,5 c D	26,9 c C	1,8 a E	451,0 d B	493,2 c A
0-5	C	17,9 b E	7,8 a F	1,7 b G	22,6 a D	65,4 a C	3,7 a G	770,3 b B	889,4 a A
5-10	NC	2,4 c EF	0,6 b F	6,0 a D	4,3 c DE	19,9 d C	1,2 a EF	462,2 c B	496,6 c A
5-10	C	21,7 a D	3,4 b F	1,9 b F	13,3 b E	48,8 b C	2,5 a F	774,2 a B	865,8 b A
Latossolo Vermelho distrófico, sendo a área cultivada com 3 anos PD									
0-5	NC	2,2 b E	0,9 b E	3,4 bc E	12,4 c D	22,7 b C	2,3 bc E	658,4 d B	702,3 d A
0-5	C	9,5 a D	5,2 a F	4,8 b F	25,5 a C	27,5 a C	4,3 ab F	725,6 b B	802,4 b A
5-10	NC	1,4 b E	0,3 b E	1,8 c E	5,2 d D	16,6 c C	2,1 c E	683,7 c B	711,1 c A
5-10	C	8,1 a E	5,1 a F	8,3 a E	23,2 b D	26,7 a C	5,7 a EF	747,3 a B	824,4 a A
Latossolo Vermelho distrófico, sendo a área cultivada com 5 anos PD									
0-5	NC	2,5 b H	5,7 c F	9,0 c F	32,5 c D	35,2 b C	4,6 c G	946,7 d B	1036,2 c A
0-5	C	12,1 a E	12,0 b E	10,6 a F	68,1 b C	49,8 a D	9,9 a F	1087,3 b B	1248,8 a A
5-10	NC	1,7 c H	5,1 c F	8,1 d E	27,4 d D	28,9 d C	4,3 c G	971,5 c B	1047,0 b A
5-10	C	11,8 a F	13,5 a E	9,8 b G	73,3 a C	32,1 c D	8,4 b H	1099,4 a B	1248,3 a A
Latossolo Vermelho distroférico, sendo a área cultivada com 7 anos PD									
0-5	NC	9,0 b EF	16,2 ab E	19,6 a E	63,1 b D	89,7 a C	15,1 b E	1423,7 b B	1636,4 b A
0-5	C	56,2 a E	20,1 a F	17,0 a F	95,0 a C	55,3 b E	71,3 a D	1315,3 c B	1630,2 c A
5-10	NC	11,0 b E	16,0 ab E	21,6 a E	61,6 b D	82,7 a C	18,7 b E	1449,5 a B	1661,1 a A
5-10	C	18,8 b DE	5,2 b F	11,8 a DE	61,0 b C	64,1 b C	21,3 b D	1317,7 c B	1499,9 d A
Latossolo Vermelho distroférico, sendo a área cultivada com 11 anos PD									
0-5	NC	9,8 c G	16,6 c F	22,4 a E	34,5 c D	94,7 a C	22,5 b E	1218,1 c B	1418,6 c A
0-5	C	39,7 a F	26,5 a G	20,2 b H	125,7 a C	61,0 c D	43,3 a E	1439,4 a B	1755,8 a A
5-10	NC	9,2 c G	16,0 c F	19,0 b E	28,4 d D	79,5 b C	8,4 d H	1213,3 d B	1373,8 d A
5-10	C	11,6 b H	18,4 b F	12,6 c G	58,6 b D	62,5 c C	19,8 c E	1321,7 b B	1505,2 b A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para um mesmo solo, não diferem entre si (Tukey 5%).

(1) NC: solo não cultivado e C: solo cultivado.

(2) Prof. – profundidade; P-res: resina; Pi-bic: Pi bicarbonato; Po-bic: Po bicarbonato; Pi-hid: Pi hidróxido; Po-hid: Po hidróxido; P-ác: P ácido; P-rdu: P residual; Pt: P total.

a) Fósforo inorgânico e orgânico

De modo geral, os valores de fósforo inorgânico (Pi) que representam o somatório das formas P-res, Pi-bic, Pi-hid e P-ác foram inferiores nas áreas não cultivadas em relação às cultivadas, nas duas profundidades e para as três classes de solos estudadas. Os valores de Pi seguiram a seqüência LVdf>LVd>RQ.

A participação do Po, obtida do somatório das formas Po-bic e Po-hid, aumentou com o tempo de cultivo para as classes de solo (LVd e LVdf), sugerindo que a menor dessorção de P da fase mineral, com aumento do intemperismo, é compensada pelo aumento da participação da fase orgânica no suprimento de P para as plantas.

Observa-se, para todas as classes de solo, uma tendência das formas Po e Pi decrescerem com a profundidade. Este comportamento poderia ser causado por: a) aplicações anuais de fertilizantes fosfatados na superfície do solo; b) retorno do P absorvido pelas plantas para a superfície pela deposição dos resíduos vegetais sobre o solo e c) baixa mobilidade do P no solo.

Nas áreas cultivadas, verificou-se predomínio do Pi em relação ao Po para as classes de solo LVd e LVdf (Tabela 6).

b) Formas inorgânicas de fósforo

O P inorgânico do solo inclui duas formas lábeis de P, P-res e Pi-bic, uma forma pouco lábil, Pi-hid e uma forma não lábil, P-ác. As formas P-resina (Raij, 1991) e Pi-bic (Tiessen, Salcedo e Sampaio, 1992) são consideradas disponíveis às plantas. Essas formas representaram muito pouco do P total para esse estudo (Tabela 7).

TABELA 6. Fósforo inorgânico (Pi), fósforo orgânico (Po) e fósforo residual (P-rdu) em solos de áreas cultivadas sob plantio direto (PD) e de áreas adjacentes sob vegetação nativa. Médias de três repetições.

Prof	Manejo	mg kg ⁻¹		
		Pi	Po	P-rdu
Neossolo Quartzarênico				
0 - 5	NC	13,65 (2,77%) c C	28,53 (5,78%) c B	451,0 (91,45%) d A
0 - 5	C (1 ano PD)	52,13 (5,86%) a C	67,13 (7,72%) a B	770,3 (86,42%) b A
5 - 10	NC	8,48 (1,71%) c C	25,95 (5,23%) c B	462,2 (93,07%) c A
5 - 10	C (1 ano PD)	40,96 (4,72%) b C	50,70 (6,07%) b B	774,2 (89,21%) a A
Latossolo Vermelho distrófico				
0 - 5	NC	17,75 (2,53%) b C	26,02 (3,71%) b B	658,4 (93,77%) d A
0 - 5	C (3 anos PD)	44,46 (5,49%) a B	34,33 (5,07%) a B	725,6 (89,44%) b A
5 - 10	NC	8,98 (1,27%) c C	18,39 (2,58%) c B	683,7 (96,15%) c A
5 - 10	C (3 anos PD)	42,14 (5,21%) a B	35,02 (2,39%) a C	747,3 (92,40%) a A
Latossolo Vermelho distrófico				
0 - 5	NC	45,34 (4,37%) b B	44,24 (4,27%) b B	946,7 (91,36%) d A
0 - 5	C (5 anos PD)	102,15 (8,11%) a B	60,37 (5,63%) a C	1086,3 (86,26%) b A
5 - 10	NC	38,50 (3,68%) c B	37,02 (3,53%) b B	971,5 (92,79%) c A
5 - 10	C (5 anos PD)	106,95 (8,49%) a B	41,82 (4,11%) b C	1099,4 (87,40%) a A
Latossolo Vermelho distroférico				
0 - 5	NC	103,43 (6,32%) b B	109,36 (6,68%) a B	1423,7 (87,00%) b A
0 - 5	C (7 anos PD)	242,57 (15,61%) a B	72,36 (5,36%) b C	1315,3 (79,03%) c A
5 - 10	NC	107,29 (6,45%) b B	104,35 (6,28%) a B	1449,5 (87,26%) a A
5 - 10	C (7 anos PD)	106,37 (7,04%) b B	75,90 (5,80%) b C	1317,7 (87,16%) c A
Latossolo Vermelho distroférico				
0 - 5	NC	83,50 (5,79%) c C	117,11 (8,26%) a B	1218,1 (85,86%) c A
0 - 5	C (11 anos PD)	235,26 (13,24%) a B	81,19 (5,72%) c C	1439,4 (81,04%) a A
5 - 10	NC	61,93 (4,52%) d C	98,50 (7,17%) b B	1213,3 (88,32%) d A
5 - 10	C (11 anos PD)	108,29 (7,14%) b B	75,03 (5,78%) d C	1321,7 (87,08%) b A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para um mesmo solo, não diferem entre si (Tukey 5%).

(¹) NC: solo não cultivado e C: solo cultivado.

(²) Pi: somatório das frações P-res, Pi-bic, Pi-hid e P-ác e Po: somatório das frações Po-bic, Po-hid.

TABELA 7. Fósforo inorgânico (Pi) em solos de áreas cultivadas sob plantio direto (PD) e de áreas adjacentes sob vegetação nativa. Médias de três repetições.

Prof (cm)	Manejo ⁽¹⁾	mg kg ⁻¹			
		P-res ⁽²⁾	Pi-bic ⁽²⁾	Pi-hid ⁽²⁾	P-ác
Neossolo Quartzarênico					
0-5	NC	3,6 (0,72%) c AB	1,7 (0,35%) b B	6,5 (1,31%) c A	1,8 (0,37%) a B
0-5	C (1 ano PD)	17,9 (2,02%) b B	7,8 (0,88%) a C	22,6 (2,54%) a A	3,7 (0,42%) a D
5-10	NC	2,4 (0,47%) c BC	0,6 (0,11%) b C	4,3 (0,86%) c AB	1,2 (0,24%) a B C
5-10	C (1 ano PD)	21,7 (2,50%) a A	3,4 (0,40%) b C	13,3 (1,53%) b B	2,5 (0,29%) a C
Latossolo Vermelho distrófico					
0-5	NC	2,2 (0,31%) b B	0,9 (0,13%) b B	12,4 (1,75%) c A	2,3 (0,33%) bc B
0-5	C (3 anos PD)	9,5 (1,17%) a B	5,2 (0,60%) a C	25,5 (3,14%) a A	4,3 (0,53%) ab C
5-10	NC	1,4 (0,19%) b B	0,3 (0,04%) b B	5,2 (0,73%) d A	2,1 (0,29%) c B
5-10	C (3 anos PD)	8,1 (1,01%) a B	5,1 (0,64%) a C	23,2 (2,80%) b A	5,7 (0,70%) a BC
Latossolo Vermelho distrófico					
0-5	NC	2,5 (0,24%) b D	5,7 (0,55%) c B	32,5 (3,11%) c A	4,6 (0,44%) c C
0-5	C (5 anos PD)	12,1 (0,96%) a B	12,0 (0,96%) b B	68,1 (5,41%) b A	9,9 (0,78%) a C
5-10	NC	1,7 (0,16%) c D	5,1 (0,48%) c B	27,4 (2,60%) d A	4,3 (0,41%) c C
5-10	C (5 anos PD)	11,8 (0,93%) a C	13,5 (1,07%) a B	73,3 (5,82%) a A	8,4 (0,67%) b D
Latossolo Vermelho distroférrico					
0-5	NC	9,0 (0,55%) b BC	16,2 (0,98%) ab B	63,1 (3,81%) b A	15,1 (0,91%) b B
0-5	C (7 anos PD)	56,2 (4,40%) a C	20,1 (1,21%) a D	95,0 (5,71%) a A	71,3 (4,28%) a B
5-10	NC	11,0 (0,65%) b B	16,0 (0,95%) ab B	61,6 (3,66%) b A	18,7 (1,11%) b B
5-10	C (7 anos PD)	18,8 (1,24%) b B	5,2 (0,35%) b C	61,0 (4,04%) b A	21,3 (1,41%) b B
Latossolo Vermelho distroférrico					
0-5	NC	9,8 (0,68%) c D	16,6 (1,15%) c C	34,5 (2,04%) c A	22,5 (1,56%) b B
0-5	C (11 anos PD)	39,7 (2,23%) a C	26,5 (1,49%) a D	125,7 (7,08%) a A	43,3 (2,44%) a B
5-10	NC	9,2 (0,65%) d C	16,0 (1,15%) c B	28,4 (2,04%) d A	8,4 (0,60%) d C
5-10	C (11 anos PD)	11,6 (0,76%) b C	18,4 (1,21%) b B	58,6 (3,86%) b A	19,8 (1,31%) c B

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para um mesmo solo, não diferem entre si (Tukey 5%).

⁽¹⁾ NC: solo não cultivado e C: solo cultivado.

⁽²⁾ P-res: P-resina; Pi-bic: Pi-bicarbonato; Pi-hid: Pi-hidróxido e P-ác: P-ácido.

De modo geral, tanto o P-res quanto Pi-bic apresentaram valores maiores principalmente na camada de 0-5cm, para todas as classes de solo. O Pi-bic foi mais elevado nos solos cultivados em relação a áreas não cultivadas, o que indica a contribuição da adubação fosfatada durante o período de cultivo.

Entre todas as formas de Pi, o Pi-hid apresentou os maiores percentuais de participação em relação ao P total (Tabela 7). O hidróxido de sódio remove formas de fósforo inorgânico consideradas como de baixa disponibilidade para as plantas (Roberts e Stewart, 1987), formas associadas a fosfatos amorfos e cristalinos de Fe e de Al (Williams, Mayer e Nriagu, 1980). Entretanto, Tiessen, Salcedo e Sampaio (1992) observaram que, em solos tropicais, o Pi-hid é uma fração mais dinâmica do que geralmente tem sido relatado na literatura.

O Pi-hid foi maior nos solos cultivados, o que reflete também o efeito da adubação fosfatada (Tabela 7). Resultados semelhantes foram observados por Araújo e Salcedo (1997), e Ball-Coelho *et al.* (1993), segundo os quais áreas cultivadas, recebendo fertilização fosfatada, apresentaram maior acúmulo de P na fração Pi-hid.

A fração extraível por HCl (P-ác) apresentou valores maiores nas áreas cultivadas em relação às áreas sob vegetação nativa. Essa fração consiste de formas de P ligadas ao Ca (Walker e Syrs, 1976) e, em solos não fertilizados de regiões temperadas, está associada a minerais apatíticos, sendo considerada lentamente disponível às plantas (Williams, Mayer e Nriagu, 1980), através de processos de intemperismo (Smeck, 1985).

Entretanto, se P-ác representa de fato o fósforo ligado à apatita, ou seja, o P-primário, esse resultado é incompatível com o grau de intemperismo de Latossolos, principalmente nos LVdf, nos quais foram encontrados valores mais altos nas áreas cultivadas, e restritos à camada de 0-5cm. Estes resultados podem estar relacionados com a maior quantidade de cálcio introduzida pelas calagens, ao longo do período de cultivo, devido ao aumento da atividade de cálcio proporcionada pela calagem.

c) Formas orgânicas de fósforo

As formas orgânicas de fósforo incluem Po-bic e Po-hid. Os teores de Po-lábil (Po-bic) foram relativamente menores para todas as classes de solo em relação à forma Po-hid, com exceção do LVd (3 anos de PD), como pode ser observado na Tabela 8, o que está de acordo com observações de Araújo, Salcedo e Sampaio (1993); Tiessen, Salcedo e Sampaio (1992) e Ball-Coelho *et al.*(1993).

O Po-bic, a fração mais lábil entre as formas orgânicas, teve uma pequena contribuição em relação ao P total (Tabela 8).

O Po-hid está associado a formas menos disponíveis de fósforo e que envolvem transformações em longo prazo, conforme observações de Bowman e Cole (1978) para solos de regiões temperadas. Entretanto, os poucos trabalhos disponíveis para solos tropicais mostram que essa fração parece ser mais dinâmica do que o Po-bic (Tiessen, Salcedo e Sampaio, 1992).

O Po-hid apresentou maiores valores nas áreas C em relação às NC, para os solos RQ e LVd. Por outro lado, para os solos LVdf, os maiores valores de Po-hid foram observados nas áreas NC. Isto pode ser explicado pelo fato de que os LVdf apresentarem maiores teores de matéria orgânica, principalmente nas áreas não cultivadas.

De acordo com Walker e Adams (1958), o P é o principal fator que governa a acumulação da matéria orgânica, quando os outros fatores são iguais. Solos com altos teores de P apresentarão maiores teores de matéria orgânica, o que está de acordo com os resultados observados nesse estudo (Tabela 2).

Conforme mencionado, o fósforo é essencial para o crescimento das plantas e, sob condições naturais, é fornecido pela ciclagem de nutrientes via decomposição da matéria orgânica e pelo material de origem. Resultados similares foram obtidos por Walker (1965), segundo os quais solos formados de

material com altos teores de P produziram mais matéria orgânica do que os que tinham baixos teores de P.

TABELA 8. Fósforo orgânico (Po) em solos de áreas cultivadas sob plantio direto (PD) e de áreas adjacentes sob vegetação nativa. Médias de três repetições.

Prof (cm)	Manejo ⁽¹⁾	Po-bic ⁽²⁾		Po-hid ⁽²⁾	
		mg kg ⁻¹			
Neossolo Quartzarênico					
0 - 5	NC	1,7 (0,68%)	b B	26,9 (5,43%)	c A
0 - 5	C (1 ano PD)	1,7 (0,38%)	b B	65,4 (7,37%)	a A
5 - 10	NC	6,0 (2,38%)	a B	19,9 (3,97%)	d A
5 - 10	C (1 ano PD)	1,9 (0,44%)	b B	48,8 (5,63%)	b A
Latossolo Vermelho distrófico					
0 - 5	NC	3,4 (0,94%)	bc B	22,7 (3,21%)	b A
0 - 5	C (3 anos PD)	4,8 (1,68%)	b B	27,5 (3,39%)	a A
5 - 10	NC	1,8 (0,50%)	c B	16,6 (2,33%)	c A
5 - 10	C (3 anos PD)	8,3 (2,06%)	a B	26,7 (0,33%)	a A
Latossolo Vermelho distrófico					
0 - 5	NC	9,0 (1,72%)	c B	35,2 (3,37%)	b A
0 - 5	C (5 anos PD)	10,6 (1,68%)	a B	49,8 (3,95%)	a A
5 - 10	NC	8,1 (1,54%)	d B	28,9 (2,74%)	d A
5 - 10	C (5 anos PD)	9,8 (1,56%)	b B	32,1 (2,55%)	c A
Latossolo Vermelho distroférrico					
0 - 5	NC	19,6 (2,38%)	a B	89,7 (5,42%)	a A
0 - 5	C (7 anos PD)	17,0 (2,04%)	a B	55,3 (3,32%)	b A
5 - 10	NC	21,6 (2,58%)	a B	82,7 (4,92%)	a A
5 - 10	C (7 anos PD)	11,8 (1,56%)	a B	64,1 (4,24%)	b A
Latossolo Vermelho distroférrico					
0 - 5	NC	22,4 (3,10%)	a B	94,7 (6,57%)	a A
0 - 5	C (11 anos PD)	20,2 (2,28%)	b B	61,0 (3,44%)	d A
5 - 10	NC	19,0 (2,72%)	c B	79,5 (5,71%)	b A
5 - 10	C (11 anos PD)	12,6 (1,66%)	d B	62,5 (4,12%)	c A

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, e maiúscula nas linhas, para um mesmo solo, não diferem entre si (Tukey 5%).

⁽¹⁾ NC: solo não cultivado e C: solo cultivado.

⁽²⁾ Po-bic: Po bicarbonato; Po-hid: Po hidróxido.

Em relação ao tempo de cultivo, para os solos LVd e LVdf, os valores de Po foram maiores na camada de 0-5cm, possivelmente pelo retorno dos resíduos vegetais ao solo, favorecido pelo sistema PD, o que está de acordo com Crosgrove (1977).

d) Fração residual de fósforo

Essa forma representa o fósforo ocluso, retido por minerais estruturalmente livres de fósforo, como hematita, goethita e gibbsita (Smeck, 1985), e formas estáveis de fósforo orgânico (Stewart, Hedley e Chauhan, 1980). Essa forma foi inicialmente considerada estável; entretanto, McLaughlin e Alston (1986) encontraram mudanças significativas desta forma com o tempo.

O P-rdu é uma forma bastante significativa do P total nesses solos (Tabela 6). Em todas as classes de solo, o P-rdu foi superior à soma do P inorgânico (ΣPi) e orgânico (ΣPo) extraído do fracionamento seqüencial.

Altas proporções de Prdu podem indicar alto grau de intemperismo. Entretanto, de acordo com Walker e Syers (1976), é incompatível, em termos de grau de intemperismo, existirem formas P-ác e P-rdu altas ao mesmo tempo, porque o P ligado à apatita (P-ác) é que alimenta as outras formas de P à medida que o solo evolui, até chegar na forma mais estável (P-rdu). Nesse caso, podem estar incluídas no P-rdu formas mais resistentes de P primário que o ácido clorídrico 1mol L^{-1} não conseguiu extrair. Trabalhos antigos já consideram P apatita incluído no P-rdu, envolvido por quartzo, que o torna resistente à digestão prolongada com ácidos diluídos e ao ataque com ácidos fortes (Syers, Williams e Walker, 1968), além de aumentos da fixação de P com o tempo. Portanto, o P-rdu pode conter tanto P secundário quanto P primário ocluído. Isso pode estar ocorrendo, justificando-se as altas proporções de P-rdu em todas as classes de solo.

e) P total

De modo geral, houve uma tendência em todas as classes de solo, nas áreas cultivadas, do teor de P total (Pt) decrescer com a profundidade (Tabela 5). Já nos solos não cultivados, os maiores valores de Pt foram encontrados na profundidade de 5- 10cm. Isto pode estar relacionado com o aumento da fixação de P e diminuição da matéria orgânica.

O fato das concentrações de Pt serem maiores nas áreas C do que nas NC, nas duas camadas amostradas, indica que a fertilização fosfatada é a causa dos acréscimos observados no P do solo. O calcário apresenta efeito nas formas Pi e Po adsorvida (induzindo a liberação), refletindo aumentos no ciclo dos nutrientes.

Os valores mais baixos de P total no solo RQ indicam a baixa concentração de fósforo no material de origem arenoso, enquanto os teores mais altos foram encontrados nos LVdf, refletindo a natureza da rocha de origem, o basalto (Resende *et al.*, 1999).

Os valores de Pt foram maiores com o decorrer do tempo, no sistema PD. Nessas condições, provavelmente ocorreu aumento no retorno dos nutrientes ao solo, favorecendo a atividade dos microrganismos do solo, aumentando, dessa forma, a mineralização do Po. Tal observação corrobora afirmativa de Crosgrave (1977).

4.3.3 Disponibilidade de P

Verificou-se que a forma não lábil foi maior em relação às outras formas, pouco lábil e lábil (Figuras 4 e 5). Essa é uma particularidade para o P, no sentido de que é o único nutriente que “envelhece” no solo (Vale *et al.*, 1995).

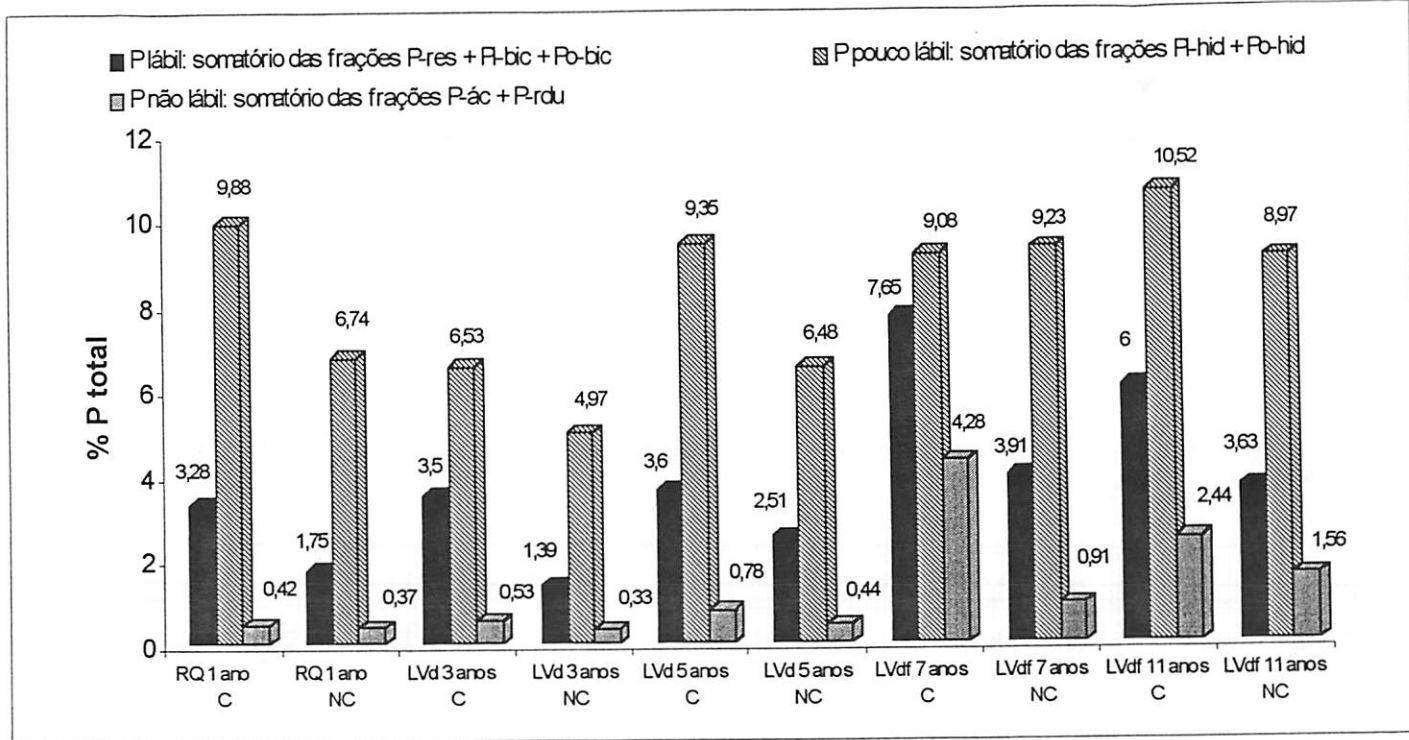


FIGURA 4. Proporção das formas de P lábil, P pouco lábil e P não lábil em relação ao P total na camada de 0-5 cm de profundidade para todas as classes de solo. (Participação relativa do P residual em relação ao P total nos solos RQ1-C, RQ-NC, LVd3-C, LVd-NC, LVd5-C, LVd-NC, LVdf7-C, LVdf-NC, LVdf11-C e LVdf-NC foram: 86,42; 91,14; 89,44; 93,32; 86,27; 90,57; 79,03; 85,96; 81,05 e 84,53, respectivamente).

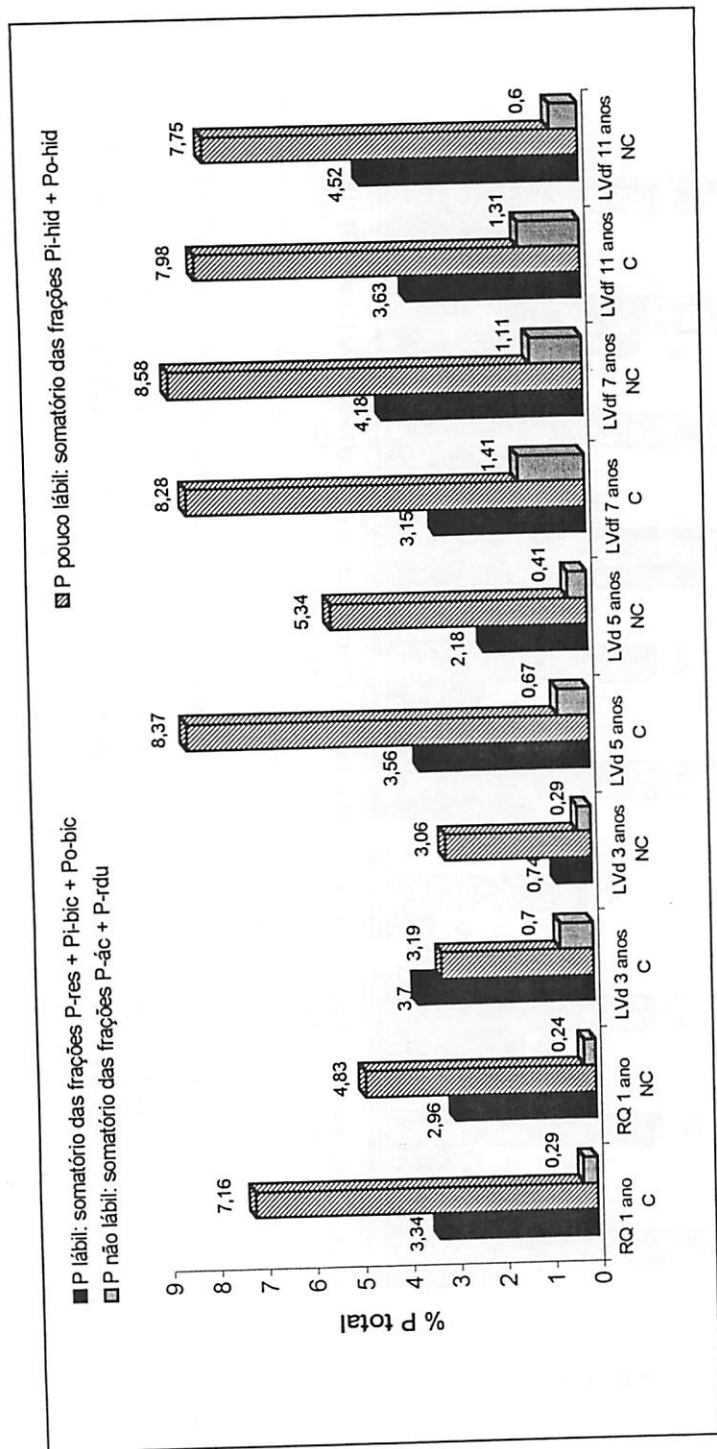


FIGURA 5. Proporção das formas de P lábil, P pouco lábil e P não lábil em relação ao P total na camada de 5-10cm de profundidade para todas as classes de solo. (Participação relativa do P residual em relação ao P total nos solos RQ1-C, RQ-NC, LVd3-C, LVd-NC, LVd5-C, LVd-NC, LVdf7-C, LVdf-NC, LVdf11-C e LVdf-NC foram: 89,22; 91,96; 92,40; 95,91; 87,4; 92,07; 87,16; 86,14, 87,09 e 87,12, respectivamente).

A adição de fertilizantes fosfatados (P solúvel) em solos tropicais normalmente resulta em aumentos nas formas lábeis (Costa, Crisostomo e Alves, 1980), as quais pode, conseqüentemente, ser transformadas em formas não lábeis (Teófilo e Frota, 1982). Tal envelhecimento implica na redução da disponibilidade do P aplicado ao solo em adubações, com o passar do tempo. Entretanto, com o PD, a reciclagem desse nutriente através do manejo adequado dos resíduos tende a reduzir o problema imposto pela reação de envelhecimento na medida em que grande parte do P absorvido pelas plantas retorna ao solo. Isto pode ser observado nas Figuras 4 e 5, para os solos LVd. Com o aumento no tempo de cultivo, houve uma tendência de redução na quantidade de P não lábil e aumentos nas formas lábil e pouco lábil.

Para os solos LVdf, isto não foi observado, provavelmente devido às diferenças nos teores de óxidos de Fe e na mineralogia desses solos. Resultado semelhante também foi observado por Motta (1999).

4.3.4 Relações entre formas de P no solo e o P disponível

As análises de correlação mostraram que o P-ác, P-Ca e o P-Fe foram às formas que melhor se correlacionaram com o P extraído por Mehlich-1 e resina, nos solos cultivados (Tabela 9). Crews (1996) encontrou correlação positiva e altamente significativa entre P-ác e Pi-lábil (P-res: 0,96, Pi-bic: 0,90), o que considerou consistente com a hipótese de que P-ác consistiu uma importante fonte de P para a alfafa, planta utilizada no experimento.

Considerando-se que em solos ácidos o P-Ca fornece uma boa estimativa do P disponível para as plantas, as correlações significativas e positivas observadas para a relação P-ác e P-Ca indicam que essa forma de P (P-Ca) também é pouco estável. Dessa forma, as formas P-ác e P-Ca podem ser consideradas como formas disponíveis de P para as plantas. Entretanto, as análises de correlação simples têm limitações para afirmar relações de causa e

TABELA 9. Coeficientes de correlação simples entre formas de P no solo e o P extraído por Mehlich-1 e resina, nos solos cultivados nas profundidades de 0-5 e 5-10cm.

	P-res.	Pi-bic.	Po-bic.	Pi-hid.	Po-hid.	P-ác.	P-rdu.	P-Al	P-Fe	P-Ca	Mehlich-1	Resina
P-res.	1	0,23	-0,03	0,15	0,22	0,74*	-0,71*	-0,35	0,48	0,65*	0,94**	0,86**
Pi-bic.		1	0,47	0,76*	-0,11	0,55	-0,70*	-0,45	0,71*	0,62	0,39	0,47
Po-bic.			1	0,70*	-0,80**	0,56	-0,31	0,01	0,67*	0,56	0,25	0,40
Pi-hid.				1	-0,31	0,61	-0,72*	-0,12	0,85**	0,63	0,38	0,54
Po-hid.					1	-0,18	-0,19	0,04	-0,19	-0,12	0,01	-0,08
P-ác.						1	-0,86**	-0,08	0,88**	0,97**	0,91**	0,97**
P-rdu.							1	0,20	-0,88**	-0,87**	-0,81**	-0,86**
P-Al								1	-0,11	-0,05	-0,25	-0,15
P-Fe									1	0,92**	0,70*	0,79**
P-Ca										1	0,84**	0,90**
M-1											1	0,97**
Resina												1

*, ** significativo ao nível de 5% e 1% pelo teste de T, respectivamente.

(1) P-Al – fósforo ligado a alumínio; P-Fe – fósforo ligado a ferro; P-Ca – fósforo ligado a cálcio; P-res - resina; i - inorgânico; o - orgânico; bic - bicarbonato; hid - hidróxido; ác - ácido; rdu - residual; M-1- Mehlich-1.

efeito e, embora estas tenham sido altamente significativas ($p < 0,001$), estes resultados devem ser vistos com cautela.

A natureza química da forma P-rdu é desconhecida e pode incluir formas de P inorgânicas e orgânicas (Hedley, Stewart e Ghauhan, 1982). Essa forma, que mais contribuiu com o P total nas duas profundidades estudadas (Tabela 5), mostrou correlação negativa significativa com todas as formas de P nos solos NC (Tabela 10), enquanto, nos solos C, correlacionou negativamente com as formas P-Fe, P-Ca e P extraído por Mehlich-1 e por resina (Tabela 9), o que está de acordo com a consideração de que a forma P-rdu é P não lábil.

O P-Fe apresentou relações positivas e significativas com as formas Pi-bic, Po-bic e Pi-hid, nos solos cultivados (Tabela 9), o que está de acordo com a pressuposição de que estas formas são potencialmente disponíveis às plantas.

A fração extraível com hidróxido de sódio (P-hid) mostrou-se mais dinâmica do que geralmente tem sido relatado na literatura. Essa fração apresentou relação com as formas Pi-bic e Po-bic, que são consideradas disponíveis às plantas, o que sugere que o Pi-hid pode ser considerado uma forma do P lábil. Entretanto, essa forma não se correlacionou com os extratores de P disponível.

A forma P-Al não se correlacionou com as outras formas de P e também com nenhum extrator de P disponível (com exceção ao Mehlich-1 nos solos não cultivados). Esses resultados indicam que essa forma de P teve papel menos importante na dinâmica de P desses solos, ou ainda trata-se de uma limitação da análise de correlação simples.

Considerando que P-res e P-Ca possam ser considerados formas de P potencialmente disponíveis às plantas, os dois extratores estudados foram eficientes em prever a disponibilidade de P para os solos cultivados, porém são necessários experimentos utilizando plantas para que tal inferência seja confirmada.

TABELA 10. Coeficientes de correlação simples entre formas de P no solo e o P extraído por Mehlich-1 e resina, nos solos não cultivados nas profundidades de 0-5 e 5-10cm ⁽¹⁾.

	P-res.	Pi-bic.	Po-bic.	Pi-hid.	Po-hid.	P-ác.	P-rdu.	P-Al	P-Fe	P-Ca	Mehlich-1	Resina
P-res.	1	0,61	0,53	0,16	0,94**	0,57	-0,74*	-0,05	0,27	0,62	0,33	0,56
Pi-bic.		1	0,80**	0,69*	0,78**	0,82**	-0,95**	-0,39	0,77**	0,94**	0,31	0,80**
Po-bic.			1	0,50	0,67*	0,71*	-0,82**	-0,41	0,57	0,79**	0,10	0,63
Pi-hid.				1	0,30	0,58	-0,70*	-0,16	0,79**	0,65*	0,26	0,37
Po-hid.					1	0,721 *	-0,88**	-0,12	0,41	0,74*	0,41	0,72*
P-ác.						1	-0,87**	-0,23	0,68*	0,86**	0,45	0,57
P-rdu.							1	0,25	-0,71*	-0,91**	-0,39	-0,73*
P-Al								1	-0,03	-0,20	0,68*	0,05
P-Fe									1	0,85**	0,41	0,62
P-Ca										1	0,45	0,80**
M-1											1	0,61
Resina												1

*, ** significativo ao nível de 5% e 1% pelo teste de T, respectivamente.

⁽¹⁾ P-Al – fósforo ligado a alumínio; P-Fe – fósforo ligado a ferro; P-Ca – fósforo ligado a cálcio; P-res - resina; i - inorgânico; o - orgânico; bic – bicarbonato; hid – hidróxido; ác - ácido; rdu - residual; M-1 - Mehlich-1.

5 CONCLUSÕES

1. Os métodos de fracionamento de P foram eficientes para avaliar os efeitos do manejo na dinâmica das transformações de P no solo.
2. O fósforo, de modo geral, predominou na camada de 0-5cm de profundidade, mostrando o efeito das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados em superfície e a baixa mobilidade do nutriente.
3. Os solos de textura média e de textura arenosa apresentaram maiores percentuais de P nas formas pouco lábil (P-hid) e lábil (P-res e P-bic), comparativamente aos solos argilosos que apresentaram maiores percentuais nas formas pouco lábil (P-hid) e não lábil (P-ác).
4. O P-Ca e P-ác nas condições estudadas apresentaram relações positivas e significativas com o P extraído por Mehlich-1 e resina, indicando que estas formas são potencialmente disponíveis para as plantas.
5. O método de fracionamento de Hedley, Stewart e Ghauhan (1982) indicou que com o tempo de cultivo sob plantio direto, para uma mesma classe de solo, a participação das formas de P não lábeis em relação ao P total tendeu a diminuir, sendo acompanhada por um aumento relativo das formas mais lábeis.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na Região Nordeste. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.21, n.4, p.643-650, out./dez. 1997.
- ARAÚJO, M.S.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I Intensidade e formas de acumulação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.389-396, set./out.1993.
- 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.3, p.221-226, set./dez. 1983.
- BALL-COELHO, B.; SALCEDO, I.H.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Short and long term phosphorus dynamic in a fertilized under sugarcane. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.57, n.4, p.1027-1034, July/Aug. 1993.
- BARBER, S.A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*. New York: J. Wiley, 1984. 398p.
- 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*, Campinas, v.11, n.2, p.147-155, maio/ago. 1987.
- BLEVINS, R.L.; MURDOCK, L.W.; THOMAS, G.W. Effect of lime application on no-tillage and convencionally tilled corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.70, n.2, p.322-326, Mar./Apr. 1978.
- BOWMAN, R.A.; COLE, C.V. Na exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science*, Baltimore, v.125, n.1, p.95-101, Jan. 1978.
- BOYER, J. *Dinâmica dos elementos químicos e fertilidade dos solos*. Salvador: UFBA. Instituto de Geociência, 1985. 311p.

- BUCHANAN, M.; KING, L.D. Carbon and phosphorus losses from decomposing crop residues in no-till and conventional till agroecosystems. *Agronomy Journal*, Madison, v.85, n.3, p.631-638, May/June 1993.
- CHANG, S.C.; CHU, W.K. The fate of soluble phosphate applied to soils. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.12, p.286-293, 1961.
- CHANG, S.C.; JACKSON, M.L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, v.84, n.1, p.133-144, Mar. 1957.
- CHAUHAN, B.S.; STEWART, J.W.B.; PAUL, E.A. Effect of labile inorganic phosphate status and organic carbon additions on the microbial uptake of phosphorus in soils. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.61, n.2, p.373-385, May 1981.
- COSGROVE, D.J. Microbial transformations in the phosphorus cycle. In: ALEXANDRE, M. (ed.). *Advances in microbial ecology*. New York: Plenum Press, 1977. v.1, p.95-135.
- COSTA, R.; CRISOSTOMO, L.A.; ALVES, J.F. Fractionation of the P of the arable layer of six profiles of the most representative soil units of the Ibiapara region. Ceará. *Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.11, n.2, p.99-104, dez. 1980.
- CREWS, T.E. The supply of phosphorus from native, inorganic phosphorus pools in continuously cultivated Mexican agroecosystems. *Agricultural Ecosystems and Environments*, Amsterdam, v.57, p.197-208, 1996.
- CURI, N.; FRANZMEIRER, D.P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisol in Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.51, n.1, p.153-158, Jan./Feb. 1987.
- DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. Parâmetros de fósforo em função de características químicas e físicas de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.7, n.1, p.55-60, jan./abr. 1983.
- DICK, W.A.; MCCOX, E.L.; EDWARDS, W.M.; LAL, R. Continuous application of no-tillage to Ohio Soils. *Agronomy Journal*, Madison, v.83, n.1, p.65-73, Jan./Feb. 1991.

- 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. 212p.
- FASSBENDER, H.W.** **Química del y suelos: com énfases en suelos de América Latina.** San José: IICA, 1984. 422p.
- FROSSARD, E.; BROSSARD, M.; HEDLEY, M.J.; METHERELL, A.** Reactions controlling the cycling of P in soils. In: **TIESSEN, H. (ed.). P cycling in terrestrial and aquatic ecosystem: a global perspective.** New York: John Wiley e Son, 1994. p.1-65.
- GILLMAN, F.P.** The nature of extractable phosphorus from to red basaltic soils in North Queensland. **Communication in Soil Science and Plant Nutrition, New York, v.7, p.513-519, 1976.**
- HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B.; GHANUHAN, B.S.** Changes in inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and laboratory incubations. **Soil Science Society of America Journal, Madison, v.46, n.4, p.970-976, July/Aug. 1982.**
- HSU, P.H.** Aluminium oxides and oxyhydroxids. In: **DIXON, J.B.; WEED, S.B. (eds). Minerals in soil environments.** Madison: Soil Science Society of America, 1977. p.99-144.
- KAMPRATT, E.J.** Phosphorus fixation and availability in highly weathered soil. In: **SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: bases para utilização agropecuária, 4., 1977, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: USP, 1977. p.333-347.**
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E.** Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: **KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.D.; KAMPRATH, E.J. (ed.) The role of phosphorus in agriculture.** Madison: ASA/CSSA/ SSSA, 1980. p.433-469.
- KUO, S.** Phosphorus. In: **SPARKS, D.L. (ed.) Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical Methods.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.869-919.
- JONES, J.N.; MOODY, J.E.; SHEAR, G.M.; MOSCHLER, W.W.; LILLARD, J.L.** The no-tillage system for corn (*Zea mays*. L.) **Agronomy Journal, Madison, v.60, n.1, p.17-20, Jan./Feb. 1968.**

- LARSEN, S. Soil phosphorus. *Advances in Agronomy*, New York, v.19, p.151-211, 1967.
- LINDSAY, W.L.; NORWELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.42, n.3, p.421-428, May/June 1978.
- LOPES, L.R. **Comparação de métodos de determinação de fósforo orgânico e dinâmica das formas de P no solo sob diferentes tempos de incubação, doses de calcário e de fosfato.** Viçosa: UFV, 1992. 81p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- LYNCH, J.M. Interactions between biological process, cultivation and soil structure. *Plant and Soil*, The Hague, v.76, n.3, p.307-318, 1984.
- MACHADO, M.I.C.S.; BRAUNER, J.L.; VIANNA, A.C.T. Formas de fósforo na camada arável de solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.17, n.3, p.331-336, set./dez. 1993.
- MAGID, J. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. *Plant and Soil*, The Hague, v.149, n.1/2, p.11-119, Feb. 1993.
- MANSEL, R.S.; SELIM, H.M.; FISKELL, J.G.A. Simulated transformations and transport of phosphorus soil. *Soil Science*, Baltimore, v.124, n.2, p.102-109, Aug. 1976.
- McLAUGHLIN, M.L.; ALSTON, A.M. The relative contribution of plant residues and fertilizer to the phosphorus nutrition of wheat in a pasture/cereal systems. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v.24, p.517-526, 1986.
- MELLILO, J.M.; ABER, J.D.; MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, New York, v.63, n.3, p.621-626, June 1982.
- MONDARDO, A. Resultados de pesquisa. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2, Passo Fundo, 1978. *Anais...* Passo Fundo: EMBRAPA-CNPTrigo, 1978. p.249-252.

- MOTTA, P.E.F. da. Fósforo em latossolos com diferentes mineralogias, cultivados e não cultivados: fracionamento, sorção e disponibilidade para soja e braquiária com e sem micorriza. Lavras: UFLA, 1999. 158p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).**
- MURPHY, J.; RILEY, J.P.A. modified single solution methods for the determination of phosphates in natural waters. Analitica Chimica Acta, Amsterdam, v.27, p.31-36, 1962.**
- MUZILLI, O. Fertilidade do solo em Plantio Direto. In: FACELLI, A.L.; TORRADO, P.V; MACHADO, J. (eds). Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargil, 1985. p.147-160.**
- MUZILLI, O. Influencia do sistema plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.1, p.95-102, jan./abr. 1983.**
- MUZILLI, O. O plantio direto com alternativa no manejo e conservação do solo. In: CURSO BÁSICO PARA INSTRUTORES EM MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina, 1991. 20p.**
- MUZILLI, O. Princípios e perspectivas de expansão. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRÔNOMICO DO PARANÁ. Plantio direto no Paraná. Londrina: IAPAR, 1981. p.11-17. (IAPAR. Circular, 23).**
- NOVELINO, J.O. Disponibilidade de fósforo e sua cinética, em solos sob cerrado fertilizado com fósforo. Avaliada por diferentes métodos de extração. Viçosa: UFV, 1999. 70p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).**
- OLSEN, S.R.; KHASAWNEH, F.H. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.H.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (eds). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.361-410.**
- PARFITT, R.L. The availability of P from phosphate-goethite binding complexes, desorption and uptake by ryegrass. Plant and Soil, The Hague, v.53, n.1, p.55-65, 1979.**

- PARFITT, R.L.; ATKINSON, R.J.; SMART, R.S.T.C. The mechanism of phosphate fixation by iron oxides. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, n.5, p.837-841, Sept./Oct. 1975.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. Alterações nas frações de fósforo no solo associadas com a densidade populacional de cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p.251-256, maio/ago. 1996.
- PHILLIPS, R.E.; BLEVINS, R.L.; THOMAS, G.W.; FRYE, W.W.; PHILLIPS, S.H. No-tillage agriculture. **Science**, Washington, v.208, n.4448, p.1108-1113, June 1980.
- PHILLIPS, S.H. Introduction to no-tillage. In: PHILLIPS, R.E.; PHILLIPS, S.H. (eds). **No-tillage agriculture principles and practices**. New York: Wan Nostand Reinhold Company, 1984. p.1-9.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Ceres; Piracicaba: Potafos, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van; FEITOSA, C.T. Correlação entre o P extraído de solo por diversos extratores químicos extratores químicos e o absorvido pelo milho. **Bragantia**, Campinas, v.39, n.1, p.51-57, 1980.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAMOS, M.A. A pesquisa sobre sistemas de preparo mínimo no Paraná: resultados e primeiras conclusões. In: **REUNIÃO SOBRE PESQUISA EM PLANTIO DIRETO**, 1977, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/CNPSoja, 177. v.1, p.3-17.
- RAMOS, M.A. **Sistemas de preparo mínimo do solo: técnicas e perspectivas para o Paraná**. Ponta Grossa: EMBRAPA, Repr. Estadual do Paraná, 1976. 23p. (EMBRAPA. Comunicação Técnica, 1).
- ROBERTS, T.L.; BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B. A hierarchial approach tathe study organic C, N, P and S western Candian soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.69, n.4, p.739-749, Nov. 1989.

- 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, v.2, p.345-354, 2000.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. *Pedologia base para distinção de ambientes*. 3.ed. Viçosa: NEPUT, 1999. 369p.
- ROBBINS, S.G.; VOSS, R.D. Phosphorus and potassium stratification in conservation tillage systems. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.46, n.4, p.289-300, July/Aug. 1991.
- ROBERTS, T.L.; STEWART, J.W.B. Update of residual fertilizer phosphorus in western canadian soils. Saskatoon: Saskatchewan Institute of Pedology, University of Saskatchewan, 1987. p.1-15. (Publications, 523).
- RYDEN, J.C.; MCLAUGHLIN, J.R.; SYERS, J.K. Mechanisms of phosphate sorption by soils and hydrous ferro oxide gel. *Journal of Soil Science*, Oxford, v.28, p.72-92, 1977.
- SÁ, J.C.M. Métodos de preparo e calagem pré-implantação ao plantio direto em um solo dos campos gerais, centro-sul do Paraná: variação das frações de fósforo e resposta do milho. Paraná: UFP, 1994. 120p. (Dissertação - Mestrado).
- SANCHEZ, P.A. *Suelos del trópico. Características y manejo*. San José, costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1981. 634p.
- SCHIMEL, D.S.; COLEMAN, D.C.; HORTON, K.H. Microbial carbon and nitrogen transformations and organic matter dynamics in paired rangeland and cropland catens. *Geoderma*, Amsterdam, v.36, p.201-214, 1985.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, n.3, p.249-254, set./dez. 1985.
- SMECK, N.E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. *Geoderma*, Amsterdam, v.36, n.2, p.185-189, nov. 1985.

- STEWART, J.W.B.; HEDLEY, M.J.; CHAUHAN, B.S. The immobilization mineralization and redistribution of phosphorus in soils. In: WESTERN CANADA PHOSPHATE SYMPOSIUM, 1980, Edmonton. **Proceedings...** Edmonton: Alberta soil Science, 1980. p.276-306.
- SYERS, J.K.; WILLIAMS, J.D.H.; WALKER, T.W. The determination of total phosphorus in soils and parent materials. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, New York, v.11, n.1, p.757-762, 1968.
- TEÓFILO, F.H.P.; FROTA, J.N.E. Forms of P and their availability in soils of the Ibiapara region, Ceará. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.13, p.61-69, 1982.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrients and soil organic matter dynamic under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agricultural Ecocystems and Enviroments**, Amsterdam, v.38, p.139-159, 1992.
- UDO, E.J.; DAMBO, V.I. Phosphorus status of the Nigerian coastal plain sands. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.93, n.2, p.281-289, July/Aug. 1979.
- VALE, F.G.; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A.; FURTINI NETO, A.E. **Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1995. 171p.
- WALKER, T.W. The significance of phosphorus in pedogenesis. In: **Experimental pedology**, London: William Clowes and Sons, 1965. p.295-316.
- WALKER, T.W.; ADAMS, A.R.F. Studies on soil O. M. Influence of P content of material on accumulation of C, N, S, and P in grassland soils. **Soil Science**, Baltimore, v.85, p.307-318, 1958.
- WALKER, T.W.; SYERS, J.K. The fate phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.15, n.1, p.1-19, Jan. 1976.
- WILLIAM, J.D.H.; MAYER, T.; NRIAGU, J.O. Extractability of phosphorus minerals common in soils and sediments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.3, p.462-465, May/June 1980.