

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**FRACIONAMENTO DO FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLO
ADUBADO COM ESTERCO BOVINO**

**Lucas Boscov Braos
Engenheiro agrônomo**

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**FRACIONAMENTO DO FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLO
ADUBADO COM ESTERCO BOVINO**

Lucas Boscov Braos

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)**

2013

Braos, Lucas Boscov
B821f Fracionamento do fósforo orgânico em solo adubado com esterco
bovino / Lucas Boscov Braos. -- Jaboticabal, 2013
viii, 34 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

Banca examinadora: Manoel Evaristo Ferreira, Estêvão Vicari

Mellis

Bibliografia

1. Frações do P orgânico. 2. Matéria orgânica. 3. P resina. I. Título.
II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.862

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: FRACIONAMENTO DO FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO

AUTOR: LUCAS BOSCOV BRAOS

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO) , pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ESTEVÃO VICARI MELLIS

Instituto Agronômico de Campinas / Campinas/SP

Data da realização: 09 de dezembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Lucas Boscov Braos – Nascido em 28 de maio de 1988 na cidade de Cuiabá – MT, graduou-se em Engenharia Agrônômica em 2010 pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal, e durante a graduação foi bolsista de iniciação científica da FAPESP. Em agosto de 2011 iniciou o curso de mestrado no programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, campus de Jaboticabal. Durante o mestrado também foi bolsista da FAPESP.

Aos meus pais,

Alcindo Braos Padilha Júnior e Ana Bibianne Boscov Braos

Aos meus irmãos,

Bruno Boscov Braos e Érica Boscov Braos

À minha namorada,

Ludmilla Geraldo Di Santo

Ao meu querido amigo,

Eduardo Luiz Campos Souza (*in memoriam*)

Pela amizade, amor, apoio e convivência, pelos quais sou infinitamente grato.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista, por toda a oportunidade de aprendizado e crescimento profissional.

À FAPESP, pela bolsa de estudo concedida, que possibilitou a manutenção e a dedicação integral ao curso de mestrado.

Aos Professores Manoel Evaristo Ferreira e Mara Cristina Pessôa da Cruz, pelos muitos ensinamentos, como seres humanos e como profissionais, mas sobretudo pelo bom convívio no dia a dia do laboratório.

Aos meus amados pais e irmãos.

À minha querida Ludmilla Geraldo Di Santo e sua família.

Ao meu querido amigo Eduardo Luiz Campos Souza (*in memoriam*) e sua família.

Aos meus amigos Thiago Ibiapina, Gustavo Claudiano, Ronny Barbosa, Felipe Batistella Filho, Leandro Silva, Paulo Eduardo Martins.

Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo, em especial ao Fernando, Alúcio, Aline, Kelly, Gilberto, Jacqueline, Marina, Cássia, Carlos, Samira, Thiago, Daily, por tornarem esta etapa bem mais agradável.

À técnica Selma Guimarães Figueiredo, por toda a dedicação que demonstra diariamente na rotina do Laboratório de Fertilidade do Solo, conciliando de forma perfeita o profissionalismo com a atenção carinhosa aos alunos que por ali passam.

A todos aqueles que, de alguma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5 CONCLUSÕES.....	28
6 REFERÊNCIAS.....	29

FRACIONAMENTO DO FÓSFORO ORGÂNICO EM SOLO ADUBADO COM ESTERCO BOVINO

RESUMO – Os métodos de avaliação do fósforo disponível normalmente são utilizados para avaliar o P inorgânico (Pi) do solo, ignorando as frações orgânicas do P (Po). O Pi normalmente comanda a disponibilidade do P nos solos tropicais, mas a contribuição do Po não pode ser desconsiderada, principalmente em sistemas com baixa entrada de P ou em sistemas de manejo que favoreçam o acúmulo de matéria orgânica. Os objetivos com o presente trabalho foram avaliar as transformações do P orgânico em solo adubado com esterco bovino, e correlacionar as formas de Po com o P disponível extraído por resina trocadora de ânions. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 9, em que o primeiro fator é a presença (20 t ha⁻¹) ou ausência de aplicação de esterco e o segundo são os tempos de amostragem do solo (3, 7, 14, 21, 28, 49, 70, 91 e 112 dias) após a incorporação do esterco bovino. O experimento foi conduzido em condições de campo, em Latossolo Vermelho de textura média. Nas amostras de solo coletadas em cada tempo de amostragem foram feitas as determinações de Po lábil, moderadamente lábil e não lábil. A aplicação do esterco levou a aumento no Po moderadamente lábil, no Po não lábil e no Po total, e não interferiu nas proporções das frações em relação ao Po total. Em média 5,1% do Po total estava na fração lábil, 44,4% na fração moderadamente lábil e 50,5% na fração não lábil. O Po moderadamente lábil e o Po não lábil correlacionaram com o P resina, indicando que as duas frações têm influência no P disponível para as plantas e que, portanto, a aplicação de esterco aumenta a capacidade do solo em repor o P disponível. As frações Po lábil e Po não lábil variaram em relação ao tempo, mas modelos matemáticos não ajustaram aos dados porque o efeito ora foi de aumento, ora de diminuição.

Palavras-chave: frações do P orgânico, matéria orgânica, P resina

ORGANIC PHOSPHORUS FRACTIONATION IN A CATTLE MANURE FERTILIZED SOIL

ABSTRACT – Normally the available P evaluation methods evaluate soil inorganic P (Pi), ignoring the P organic (Po) fractions. Pi usually controls the P availability in tropical soils, but the Po contribution should not be neglected, mainly in systems with low P input or management systems that support the organic matter accumulation. The aims of this study were evaluate the changes in the Po fractions over time, in soil fertilized and non fertilized with manure, and correlate forms of Po with available P extracted by anion exchange resin. The experimental design was a randomized block in factorial scheme 2 x 9, wherein the first factor is the manure presence (20 t ha⁻¹) or absence, and the second are the sampling times (3, 7, 14, 21, 28, 49, 70, 91 e 112 days) after manure incorporation. The experiment was carried out in field conditions, in a sand clay loam Haplustox. In the soil samples collected in each sampling time it was determined labile, moderately labile and non-labile Po. The manure fertilization caused an increase in the Po levels on the moderately labile and non-labile fractions, and in the total organic P. On average 5.1% of total Po was in labile, 44.4% in moderately labile and 50.5% in non-labile fractions. The moderately labile Po and non-labile Po fractions correlated with the resin-P, indicating that the two fractions influence the available P to plants and, therefore, the application of manure increases the ability of soil to restore the available P. The labile and non-labile Po fractions have changed over the sampling times, but there was no defined trend.

Keywords: organic P fractions, organic matter, resin-P

1 INTRODUÇÃO

Os solos contêm fósforo (P) na forma orgânica e inorgânica. Normalmente o fósforo inorgânico (Pi) comanda a disponibilidade de P em solos tropicais, mas o fósforo orgânico (Po) também desempenha papel importante na disponibilização desse nutriente para as plantas, por meio de sua mineralização.

Sistemas de manejo que proporcionem alterações no conteúdo de matéria orgânica (MO) do solo, como aplicação de esterco, alteram também a dinâmica do Po. Após a aplicação do adubo orgânico, à medida que as transformações ocorrem, o P se redistribui entre as várias formas existentes no solo e, como resultado tem-se, de modo geral, aumento do P disponível para as plantas. Entretanto, apenas uma parte do P aplicado será aproveitada pelas plantas. O restante permanecerá no solo, sendo parte adsorvida aos coloides, parte precipitada na forma de compostos insolúveis, e parte imobilizada por microrganismos para ser posteriormente incorporada a fração estável da MO do solo. As transformações do P no solo são influenciadas diretamente pelas características mineralógicas, físicas, químicas e microbiológicas do solo. As características do adubo orgânico aplicado também interferem nas transformações do P no solo e, entre as mais importantes, estão a proporção das formas orgânica e mineral de P no adubo e a relação carbono/fósforo (C/P).

Entre os adubos orgânicos, os resíduos de origem animal são os de uso mais tradicional na agricultura e, no conjunto de materiais disponíveis, existe grande potencial para utilização da cama de aves, do dejetos líquido de suínos e do esterco bovino. O esterco bovino, dos três, é o que apresenta menor concentração de P. Comparando esterco de gado de corte, gado de leite, aves e suínos, Griffin, Honeycutt e He (2003) obtiveram teores de 4,08, 4,35, 23,60 e 24,69 g kg⁻¹ de P. No entanto, o esterco bovino é o que tem características mais favoráveis para promover aumento do teor de MO do solo e, com ele, o aumento das reservas de N, P e S, particularmente.

Na MO do solo o P ocorre em um conjunto de formas que podem interferir no P disponível em maior ou menor grau, dependendo da quantidade e da estabilidade dos compostos. Conhecer as quantidades e formas do Po no solo permite, então,

quantificar parte da capacidade do solo em repor P para a fração disponível. Deste modo, os objetivos com o presente trabalho foram avaliar as transformações do P orgânico em solo adubado com esterco bovino, e correlacionar as formas de Po com o P disponível, extraído por resina trocadora de ânions.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os minerais primários que contêm fosfato na composição são a fonte de fósforo dos sistemas naturais. Nos minerais, o P ocorre como constituinte estrutural e, para ser utilizado pelos organismos vivos, deve haver rompimento da estrutura cristalina para que o P seja liberado. O rompimento ocorre com o intemperismo, que depende dos processos que atuam durante a formação do solo. O P é primeiramente liberado para a solução do solo e depois é readsorvido aos coloides, mas, enquanto na solução, parte dele pode ser absorvido pelos microrganismos e pelas plantas e parte pode lixiviar. Na fase inicial de formação do solo ocorre a maior biodisponibilidade de P, uma vez que os coloides inorgânicos são pouco intemperizados, com baixa capacidade de adsorção de ânions. Nestes coloides o P é retido com baixa energia, o que facilita seu retorno à solução do solo (WALKER; SYERS, 1976).

Com o avanço do intemperismo, os minerais fosfatados, principalmente apatitas, vão sendo degradados, e o fornecimento de P para as plantas a partir deste processo diminui. Nos solos mais intemperizados passam a predominar, também, acidez alta e coloides com maior capacidade de adsorção de ânions. Nestas condições, a fase sólida mineral do solo passa de fonte a dreno do P da solução, devido à formação de complexos de alta energia entre o P e os coloides, que são de difícil reversibilidade e que limitam a disponibilidade de P (SMECK, 1985).

O P é absorvido pelas plantas preferencialmente na forma de íon fosfato (H_2PO_4^-), mas, no solo, encontra-se em formas orgânicas (Po) e inorgânicas (Pi), que se diferenciam pelo grau de estabilidade ou solubilidade e que, portanto, podem contribuir, em diferentes proporções, para o P disponível à absorção vegetal. O Pi pode ocorrer em solução (P-solução), precipitado com Al^{3+} , Fe^{2+} e Ca^{2+} ou adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila. As formas precipitada e adsorvida, pelo menos em parte, estão em equilíbrio com a solução e compõem a fração lábil de P no solo (P lábil). A fração não-lábil é composta pelo P na forma de compostos de baixa solubilidade (P mineralogicamente estável) ou adsorvido às partículas do solo,

formas que não estão em equilíbrio imediato com o P em solução (NOVAIS; SMYTH, 1999).

As formas predominantes do P em solos ácidos, muito intemperizados, são as inorgânicas adsorvidas em minerais de argila e sesquióxidos de Fe e Al, e as associadas à MO, como seu constituinte. A adsorção do fosfato aos óxidos de Fe e Al ocorre, principalmente, nas formas de baixa cristalinidade e com alto desbalanço de cargas (SANYAL; DE DATTA, 1991). Esta adsorção ocorre nos sítios ácidos de Lewis, nos quais os grupos -OH e $-OH_2^+$ ligados monocoordenadamente ao metal (Fe ou Al) são trocados pelo fosfato, processo conhecido como troca de ligantes (PARFITT, 1978). Essa ligação possui alta estabilidade e o fosfato tem sua solubilidade muito reduzida.

O Po é correlacionado positivamente com o teor de C orgânico do solo e torna-se disponível às plantas através da mineralização, que pode ser lenta ou rápida, dependendo da estabilidade das frações do Po e da atividade microbiana do solo (BOWMAN; COLE, 1978).

O Po, que pode constituir de 20 a 80% do P total do solo (DALAL, 1977), é muito importante nos solos tropicais, pois atua ativamente na disponibilidade de P às plantas (CROSS; SCHLESINGER, 1995) e deve ser levado em consideração em estudos envolvendo sua dinâmica e biodisponibilidade. O Po é originário dos resíduos vegetais adicionados ao solo, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição. Mais da metade das formas de Po do solo ainda não foram identificadas devido à grande variedade de compostos orgânicos que contêm P na composição. As principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol, que compõem de 10 a 80% do Po total, os fosfolipídios (0,5 a 7%), os ácidos nucleicos (~3%) e outros ésteres fosfato (>5%) (DALAL, 1977). A estabilidade destes compostos é dependente de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois estes mesmos compostos são usados como fonte de carbono e elétrons pelos microrganismos, tendo como resultado a mineralização e a disponibilização do P.

A conversão de ecossistemas naturais em áreas cultivadas altera as formas de fósforo do solo, inclusive as formas orgânicas. Normalmente o Po tem seu conteúdo diminuído rapidamente em sistemas agrícolas, principalmente quando não há adição de fertilizantes fosfatados. Isso ocorre concomitantemente com a

diminuição do carbono orgânico total e do P total do solo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2002; SOLOMON et al., 2002). O declínio do P da fração orgânica é frequentemente observado em estudos de longa duração, em situações de cultivo contínuo e sem nenhuma correção ou adição de adubos minerais e orgânicos (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982; BECK; SANCHEZ, 1994).

Devido à baixa disponibilidade do P nos solos do Brasil, associada com a baixa eficiência de uso dos adubos fosfatados, altas doses de fertilizantes são necessárias para garantir a produção das culturas. Normalmente apenas de 10 a 20% do P aplicado é aproveitado pelas culturas no ano de aplicação, porque a maior parte é fixada ou precipitada em compostos de baixa solubilidade, ficando uma pequena parte disponível para as plantas (VU; TANG; ARMSTRONG, 2008). O uso excessivo de fertilizantes fosfatados leva ao aumento do custo de produção das culturas e à redução das reservas de minerais fosfatados. Isso tudo tem gerado interesse em sistemas de manejo alternativos, que incluem plantio direto, colheita de cana sem queimar, cultivo de plantas de cobertura e, ainda, a substituição de parte dos adubos minerais por esterco, compostos e resíduos. Em todos os casos têm-se alteração da dinâmica da MO do solo e, com ela, a participação do Po no P disponível deve ganhar importância. Esse aspecto torna-se mais relevante ao se admitir que as reservas de P para produção de fertilizantes são limitadas. Considerando todas as reservas de rochas fosfáticas conhecidas, incluindo aquelas cuja exploração atualmente é considerada marginalmente econômica ou subeconômica, a longevidade estimada dessas reservas é de 93 a 291 anos (FIXEN, 2010).

Os esterco apresentam quantidades de P que variam particularmente em função do tipo e da alimentação animal. Griffin, Honeycut e He (2003) determinaram maior concentração de P nos esterco suíno e de galinha do que no esterco bovino. As aplicações de esterco podem aumentar o teor de MO do solo, e também alterar sua composição (KAUR; BRAR; DHILLON, 2008). Assim, o manejo pode alterar as frações da MO e as populações de microrganismos do solo. Os microrganismos possuem a capacidade de degradar compostos orgânicos do solo e modificar compostos inorgânicos, tendo papel essencial na mineralização dos nutrientes (LEY; SCHMIDT, 2002).

Do mesmo modo como ocorre com o N, relação C/P nos adubos orgânicos menor que 200 resulta em mineralização líquida, e maior que 300, em imobilização líquida de Pi. No intervalo há equilíbrio entre mineralização e imobilização, de modo que não há ganho ou perda de Pi (HAVLIN et al., 2005).

A adubação orgânica age diretamente e indiretamente na disponibilidade do P no solo. Os efeitos diretos incluem: liberação de P pela mineralização de compostos e resíduos orgânicos (HUE; IKAWA; SILVA, 1994); competição dos ânions de ácidos orgânicos com o ânion fosfato pelos sítios de adsorção (ANDRADE et al., 2003; GUPPY et al., 2005); complexação metálica, particularmente com Al^{3+} e Fe^{2+} (ANDRADE et al., 2003) e reações de dissolução. Efeitos indiretos incluem: melhora das propriedades físicas do solo que dão condições para melhor exploração do solo pelas raízes; imobilização microbiana do Pi (CHEN; HE; HUANG, 2000) e aumento do pH do solo (EGHBALL, 2002). A aplicação de esterco pode causar aumento no valor de pH (EGHBALL, 2002; IYAMAREMYE; DICK; BAHAM, 1996) devido a grande entrada de Ca combinada com o efeito tampão do bicarbonato e de ácidos orgânicos com grupos carboxílicos, fenólicos e hidroxílicos (SHARPLEY; MOYER, 2000). O aumento no valor de pH, no entanto, é conseguido com aplicação de quantidades grandes, e o efeito é de curta duração, mas pode refletir na disponibilidade de P. Os efeitos citados sugerem que não apenas as quantidades, mas as formas e a disponibilidade do P podem mudar com a aplicação de esterços.

A maior parte do P no esterco está na forma inorgânica (SHARPLEY; MOYER, 2000). Portanto, a disponibilização de P após a aplicação do esterco deve ser alta (EGHBALL et al., 2005). Dou et al. (2000) verificaram que a maior parte do P do esterco (84%) estava em formas disponíveis e geralmente associadas com Ca e Mg. A quantidade de P total nos esterços difere amplamente, dependendo das espécies e manejo de criação. No esterco bovino, nos manejos de corte e leiteiro, foram determinados teores entre 4,5-14,2 e 2,8-15,0 g kg⁻¹, respectivamente (PAGLIARI; LABOSKI, 2012).

Segundo Motavalli e Miles (2002), a aplicação de esterços e de outros adubos orgânicos em longo prazo é um dos principais componentes de sistemas agrícolas sustentáveis, e tem vários efeitos na disponibilidade e perdas do P do solo. De modo geral, as aplicações aumentam as formas de P disponível, solúvel e orgânico e, por

consequência, o P total, além de aumentar a intensidade das reações do P_o devido ao estímulo às atividades microbianas e enzimáticas (TIESSEN; STEWART; OBERSON, 1994).

Em experimento de longa duração, Tran e N'Dayegamiye (1995), avaliando as formas e disponibilidade de P no solo após aplicação de fertilizantes e esterco, observaram aumento de 21 para 46 mg kg^{-1} de P extraído por resina devido à aplicação anual de 20 t ha^{-1} de esterco em base úmida. Houve também acréscimo de 30% na absorção de P pelas plantas.

Lucero et al. (1995) relataram que para aumentar o teor de P (Mehlich 3) no solo em 1 mg kg^{-1} foi necessária aplicação de esterco de frango correspondente a 3 a 4,5 kg ha^{-1} de P, em comparação com 16,5 kg ha^{-1} de P aplicados via fertilizante mineral. Reddy, Rao e Takkar (1999) obtiveram resultados semelhantes para o P (extraído pelo método de Olsen), de modo que foram necessários 5,6 kg ha^{-1} de P na forma de esterco de frango para aumentar o teor de P do solo em 1 mg kg^{-1} , contra 17,9 kg ha^{-1} de P na forma mineral para resultar no mesmo aumento.

O conhecimento da natureza e distribuição das formas de P no solo pode fornecer informações importantes para o processo de avaliação da disponibilidade desse nutriente para as plantas (MACHADO; BRAUNER; VIANNA, 1993) e, como o P_i comanda o comportamento do P nos solos do Brasil, a quase totalidade das pesquisas realizadas sobre P nos solos restringe-se a este conjunto de formas do P_i . Apesar disso, o conhecimento do P_o e da sua participação no P disponível não pode ser desconsiderado, sobretudo em áreas em que o manejo favorece acúmulo de MO.

Bowman e Cole (1978) propuseram o fracionamento do P_o do solo em: P lábil, P moderadamente lábil, P moderadamente resistente (P ácido fúlvico) e P altamente resistente (P ácido húmico). De acordo com os autores, embora este esquema de fracionamento não permita identificar os compostos orgânicos presentes, com ele é possível quantificar o P_o de acordo com sua suscetibilidade ou resistência a certos reagentes e, com isso, avaliar o potencial para mineralização e disponibilização para as plantas. O método foi aplicado pelos autores a amostras de solos cultivados com pastagens e os resultados médios foram: 6,9% do P orgânico total na forma lábil (9,2 a 76,4 mg kg^{-1} , dependendo do solo) e 34,1%, 47,4% e

11,6% nas formas moderadamente lábil, moderadamente resistente e altamente resistente, respectivamente. Mais recentemente, Kovar e Pierzynski (2009) recomendaram esquema de fracionamento baseado no método de Bowman e Cole (1978) em que são determinadas as frações: Po lábil, extraído com solução de NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} pH 8,5; Po moderadamente lábil, extraído com solução de HCl 1,0 mol L^{-1} ; Po moderadamente resistente, extraído com solução de NaOH 0,5 mol L^{-1} , que contém P-ácidos fúlvicos+ P-ácidos húmicos (o Po é determinado no extrato e, após acidificação para precipitação dos ácidos húmicos, no sobrenadante, de modo que o P-ácidos húmicos é obtido por diferença); e Po não lábil, determinado por incineração. Este método foi proposto para acompanhamento dos teores de P em solos para proteção das águas do processo de eutrofização, mas foi baseado em método proposto com a finalidade de avaliação da disponibilidade de P para plantas.

Beck e Sanchez (1994) avaliaram as reservas orgânicas e inorgânicas de P de um solo altamente intemperizado, cultivado por 18 anos, e determinaram que a fração inorgânica extraída com solução de NaOH atuava como dreno de P do sistema, enquanto a fração orgânica, extraída com esse mesmo extrator, era a principal fonte de P para as plantas, quando não havia adição de P. Também constataram que o rendimento das culturas era correlacionado positivamente com o P resina e o Po extraído com NaOH. O NaOH extrai o P ligado a óxidos de Fe e Al na fração inorgânica, e associado com ácidos húmicos e fúlvicos na fração orgânica (BOWMAN; COLE, 1978; HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982; IVANOFF; REDDY; ROBINSON, 1998). Os ácidos húmicos e fúlvicos são compostos de estabilidade alta e moderada, respectivamente (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009). Apesar da relativa estabilidade, essa fração possui a maior parte do P orgânico, principalmente os ácidos fúlvicos, que apresentam maior labilidade, podendo representar uma fonte considerável de P para a solução do solo (SCHROEDER; KOVAR, 2006).

Oberson et al. (1993) concluíram que em área de agricultura orgânica, o teor de Po residual relativamente alto, avaliado por extração sequencial, representa um reservatório de P que pode se tornar disponível rapidamente em razão da alta atividade enzimática que é observada nesse tipo de cultivo. Entretanto, Richards, Bates e Sheppard (1995), usando o mesmo método de extração sequencial do P em

área com sistema de cultivo convencional por muitos anos, com grande entrada de fertilizantes minerais, observaram mudanças nas frações orgânicas e inorgânicas que também contribuíram com a disponibilização do elemento para as plantas.

Dormaar e Chang (1995) determinaram as formas de P no solo após 20 anos de aplicações de esterco bovino e relataram grande aumento das formas mais lábeis de Po e Pi, extraídas com H₂O e solução de NaHCO₃. Os aumentos foram tão elevados que estas frações (extraídas com H₂O e NaHCO₃) chegaram a 46% do P total. Numa visão de curto prazo, Qian e Schoenau (2000), avaliando os efeitos de uma única aplicação de esterco líquido de suíno nas frações de P, relataram que não houve aumentos nas frações lábeis, mas houve nas frações moderadamente lábil e não lábil.

Quando se compara o efeito das fontes de P orgânicas e minerais no Pi e no Po extraídos com H₂O e solução de NaHCO₃, os adubos orgânicos frequentemente aumentam mais esses teores de nos solos (SHARPLEY; SISAK, 1997; LEYTEM; TURNER; THACKER, 2004). Normalmente, o aumento nos teores de P extraídos com H₂O e solução de NaHCO₃ é maior com esterco de frango e dejetos de suínos, seguidos de KH₂PO₄ e esterco bovino (SHARPLEY; SISAK, 1997).

A fonte de P também desempenha papel importante nas formas do elemento no solo. Kashem, Akinremi e Racz (2004), avaliando fontes de P (esterco bovino, esterco suíno, biossólido e fertilizante mineral), observaram que cada fonte ocasionou mudanças diferentes nas frações de Po e Pi. O esterco bovino proporcionou o maior aumento nas formas orgânicas de P, o fertilizante mineral e o esterco suíno aumentaram principalmente as formas mais lábeis de Pi e Po, e com aplicação de biossólido houve conversão de formas orgânicas para inorgânicas.

O efeito da aplicação de esterco nos teores de P do solo persiste por vários anos (HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008). Em experimento com 30 anos de duração, Hao, Godlinski e Chang (2008) verificaram o efeito do esterco em alterar as formas de P mesmo após 16 anos sem aplicação, que só não foi observado em algumas parcelas irrigadas, sugerindo que há forte influência do regime hídrico na dinâmica do P.

A eficácia dos adubos orgânicos em aumentar o teor disponível de P no solo tem sido demonstrada utilizando diversos extratores (SHARPLEY; McDOWELL;

KLEINMAN, 2004; KOVAR; PIERZYNSKI, 2009), porém os efeitos dos adubos ainda não estão totalmente elucidados, pois eles afetam de forma diferente as frações do Pi e do Po, bem como o P disponível (KASHEM; AKINREMI; RACZ, 2004; LEYTEM; WESTERMANN, 2005). Essas diferenças podem estar relacionadas com as formas orgânicas e inorgânicas do P presente no esterco e sua relação C/P (DALAL, 1977; PAGLIARI; LABOSKI, 2012).

O Po lábil corresponde à fração mais instável do Po, que pode se tornar disponível para as plantas com maior facilidade (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982), principalmente porque o P dessa fração está disponível aos microrganismos do solo (BOWMAN; COLE, 1978). Ela está sujeita a transformações induzidas pela atividade microbiana, tipo de solo, atividade enzimática e condições climáticas (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982; BECK; SANCHEZ, 1994). Sharpley e Sisak (1997) relataram que a aplicação de esterco aumenta a atividade microbiana e inicialmente sequestra o P para essa fração, mas posteriormente ele é disponibilizado para as plantas pela sua mineralização.

Em áreas de aplicação contínua de esterco o Po atua como dreno de P do sistema, que acaba ficando imobilizado na forma orgânica (GRIFFIN; HONEYCUTT; HE, 2003; SHARPLEY; MCDOWELL; KLEINMAN, 2004; HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008). Esse P imobilizado temporariamente nas frações mais estáveis ainda pode contribuir para a absorção das plantas em quantidades significativas.

O sistema de manejo tem grande influência nas formas de P do solo, sejam orgânicas ou inorgânicas, portanto tem grande impacto na disponibilidade desse elemento. As frações do Po sofrem alterações principalmente quando o manejo induz alterações na fração orgânica do solo, alterando sua capacidade de reter ou disponibilizar P as plantas (BECK; SANCHEZ, 1994; KASHEM; AKINREMI; RACZ, 2004). Portanto, é importante conhecer seu comportamento e assim ter mais recursos para avaliar a capacidade do solo em fornecer P para as plantas.

A compreensão mais clara da natureza, da distribuição e da solubilidade das formas de P no solo, identificando-as e relacionando-as com os extratores e os teores obtidos, pode fornecer informações importantes para o processo de avaliação da disponibilidade do P para as plantas e para o manejo mais adequado dos

fertilizantes (MACHADO; BRAUNER; VIANNA, 1993; SHARPLEY; MCDOWELL; KLEINMAN, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O fracionamento do P orgânico (Po) foi realizado em amostras de solo coletadas em experimento de campo, com a cultura do milho, em Jaboticabal (SP). No local do experimento o clima é Aw, pela classificação de Köppen, e o solo é Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013). Antes da instalação do experimento foi realizada amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm e os resultados obtidos na análise química (RAIJ et al., 2001) foram: P resina, 15 mg dm⁻³; MO, 16 g dm⁻³; pH em CaCl₂, 5,5; K⁺, 1,2 mmol_c dm⁻³; Ca²⁺, 22 mmol_c dm⁻³; Mg²⁺, 11 mmol_c dm⁻³; H+Al, 22 mmol_c dm⁻³; Al³⁺, 0 mmol_c dm⁻³; SB, 34 mmol_c dm⁻³; CTC, 56 mmol_c dm⁻³; V, 61%; S-SO₄²⁻, 4 mg dm⁻³; B, 0,22 mg dm⁻³; Cu, 0,6 mg dm⁻³; Fe, 31 mg dm⁻³; Mn, 3,1 mg dm⁻³; e Zn, 0,8 mg dm⁻³. Os resultados da análise granulométrica, feita segundo Camargo et al. (2009), foram: 340 g kg⁻¹ de argila, 20 g kg⁻¹ de silte e 640 g kg⁻¹ de areia.

No experimento foram avaliadas as doses 0, 10, 20, 30 e 40 t ha⁻¹ de esterco bovino, e o fracionamento do Po foi aplicado apenas às amostras das parcelas que receberam 0 e 20 t ha⁻¹ (Figura 1). O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com quatro repetições, as parcelas apresentavam área total de 44,8 m² (6,4m x 7 m) e as duas linhas externas e 0,5 m em cada um dos extremos foram consideradas bordaduras (área útil de 28,8 m²).

O esterco bovino havia passado por processo de estabilização de cerca de 6 meses e apresentava as seguintes características (valores expressos em base seca): pH em CaCl₂, 6,9 (KIEHL, 1985); N total, 11 g kg⁻¹ (TEDESCO et al., 1995); N-NH₄⁺, 61,3 mg kg⁻¹ e N-NO₃⁻, 18,8 mg kg⁻¹ (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001); C-orgânico, 181 g kg⁻¹ (BRASIL, 2007); P, 1,1 g kg⁻¹; K, 5,8 g kg⁻¹; Ca, 3,3 g kg⁻¹; Mg, 1,6 g kg⁻¹ e S 0,9 g kg⁻¹ (CARMO et al., 2000); C/N 16 e C/P 165.

A aplicação de calcário não foi feita porque o valor de V% e os teores de Ca²⁺ e de Mg²⁺ estavam adequados para a cultura do milho (RAIJ et al., 1996). O esterco foi aplicado e incorporado nos dias da instalação do experimento, 02-11-2012 (blocos 1 e 2) e 03-11-2012 (blocos 3 e 4). Para obter maior uniformidade na distribuição manual do esterco, optou-se pela divisão das parcelas em 8 faixas de 0,8 m (Figura 2). Após a distribuição do esterco, ele foi incorporado com enxada, na

camada de 0 a ± 18 cm. Após a incorporação do esterco bovino nas parcelas, foram abertos sulcos com enxada para semeadura manual do milho (DKB 390 pró).

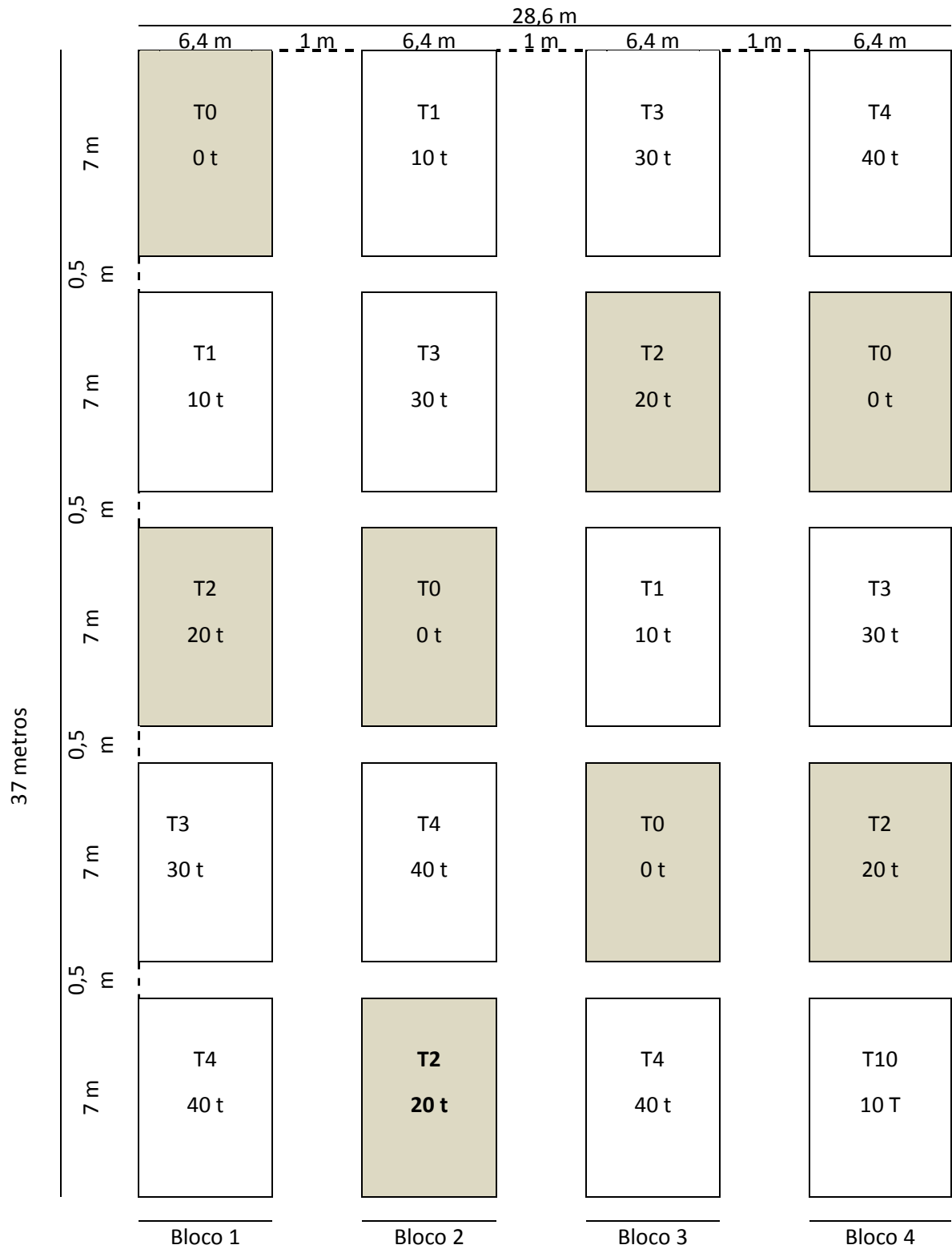


Figura 1. Croqui da área experimental, destacando as parcelas em que foram coletadas as amostras para fracionamento do Po.



Figura 2. Divisão das parcelas em faixas para distribuição manual do esterco.

No meio das entrelinhas, no dia da incorporação do esterco e da sementeira, foram instalados tubos de PVC para coleta de amostras indeformadas, as quais foram utilizadas no fracionamento do Po (Figura 3). Os tubos de PVC tinham 7 cm de diâmetro e 22 cm de comprimento e foram introduzidos no solo até 20 cm de profundidade, em três das seis linhas da área útil da parcela e, em cada parcela, foram inseridos 20 tubos. Os tubos foram retirados aos 3, 7, 14, 21, 28, 49, 70, 91 e 112 dias após a incorporação do esterco bovino e a sementeira do milho. Em cada data de amostragem foram coletados 2 tubos, dos quais foram obtidas subamostras de mesmo volume, que foram misturadas, secas e peneiradas (abertura de malha de 2 mm). Nestas amostras, além das frações do Po, também foram determinados o valor de pH CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ (QUAGGIO; RAIJ, 2001), o teor de MO por colorimetria (CANTARELLA; QUAGGIO; RAIJ, 2001), os teores de P resina (RAIJ;

QUAGGIO, 2001), o P total por digestão com $H_2SO_4+H_2O_2+HF$ e o P orgânico total por incineração (KUO, 1996).



Figura 3. Colocação dos tubos de PVC nas entrelinhas da cultura do milho.

O fracionamento do Po foi feito segundo esquema apresentado por Kovar e Pierzynski (2009), no qual são separadas as formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis de Po (Figura 4). Em todas as frações o Po foi obtido da diferença entre P total e P_i determinados no mesmo extrato, após digestão (P total) e sem digerir (P_i). O Po ácidos húmicos foi calculado pela diferença entre Po ácidos húmicos + fúlvicos e Po ácidos fúlvicos. O Po moderadamente lábil foi obtido somando o Po-HCl e o P ácidos fúlvicos. O Po não lábil foi calculado somando as formas Po ácidos húmicos e Po residual.

Em relação ao método original foram introduzidas as alterações: uso de amostra seca em lugar de solo úmido; tempo de extração com a solução de $NaHCO_3$

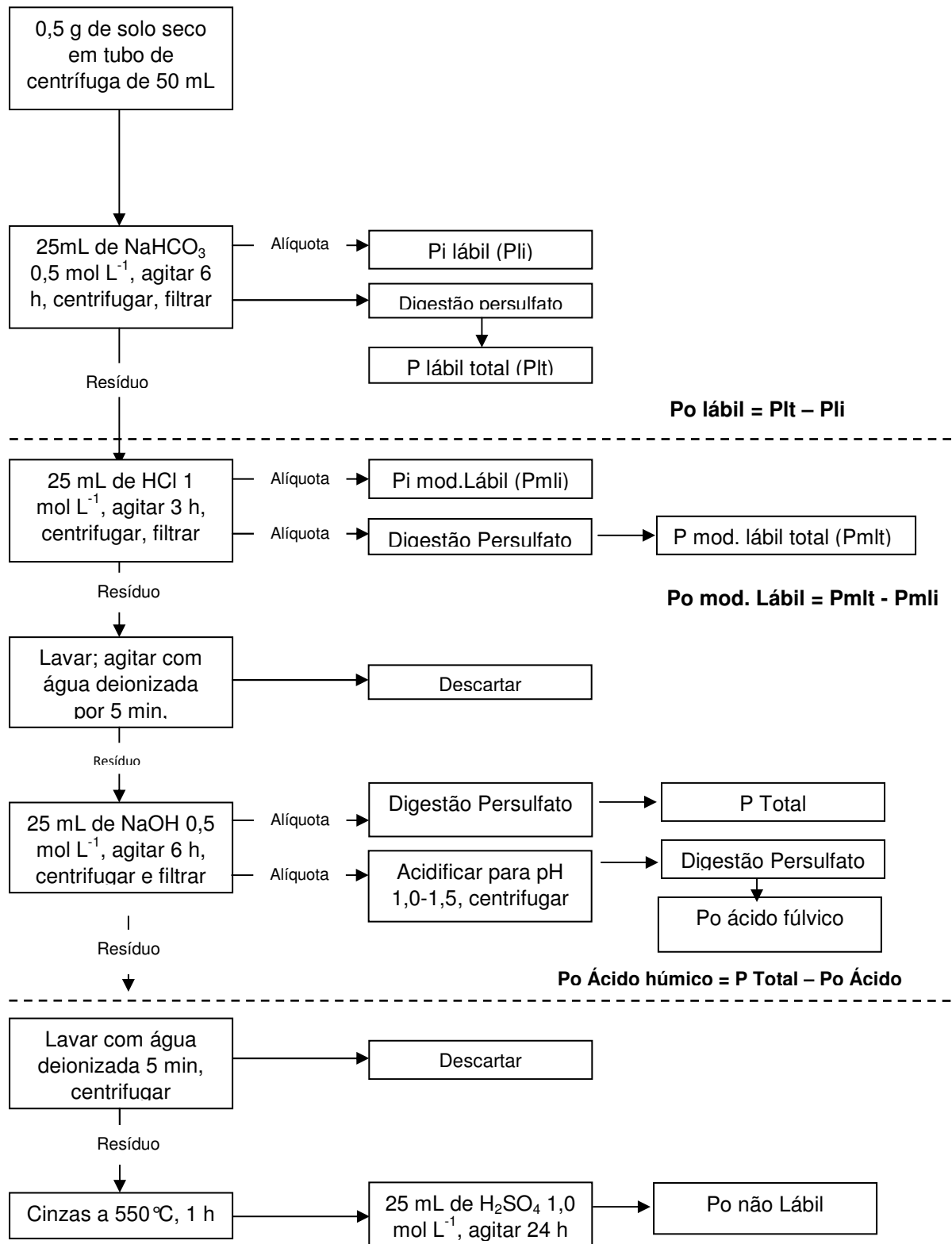


Figura 4. Esquema de fracionamento para P orgânico (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009), com modificações nas quantidades de solo e reagentes, mantidas as proporções.

0,5 mol L⁻¹ de 6 h, em substituição a 16 h. As alterações foram feitas com base em testes preliminares e a descrição do procedimento adotado está a seguir.

As formas lábeis foram extraídas transferindo 0,5 g de solo e 25 mL de solução de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (pH 8,5) para tubo de centrífuga de 50 mL. A suspensão foi agitada por 6 h, centrifugada a 2.500 rpm por 15 min, o sedimento foi preservado para extração do Po moderadamente lábil e o sobrenadante foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, completando-se o volume com água deionizada (extrato A). Na determinação do P inorgânico lábil segundo Murphy e Riley (1962), 10 mL do extrato A foram transferidos para balão volumétrico de 50 mL, o valor de pH foi corrigido através da adição de solução de HCl 2,0 mol L⁻¹ na presença de 5 gotas de p-nitrofenol (indicador) até alteração da cor amarela para incolor. Em seguida foram adicionados 8 mL de solução de H₂SO₄ 1,25 mol L⁻¹, contendo 6 g L⁻¹ de molibdato de amônio ((NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O), 0,1454 g L⁻¹ de tartarato de antimônio e potássio (C₈H₄K₂O₁₂Sb₂.3H₂O) e 5,28 g L⁻¹ de ácido ascórbico (C₆H₈O₆). O volume do balão foi completado com água desionizada e depois de 20 minutos foi feita leitura em espectrofotômetro a 880 nm.

Na determinação do P lábil total alíquotas de 10 mL do extrato A foram transferidas para tubos de digestão, aos quais foram adicionados 0,25 g de persulfato de potássio (K₂S₂O₈) e 3 mL de solução de H₂SO₄ 2,5 mol L⁻¹. Os tubos foram aquecidos a 150°C durante 30 minutos, em bloco digestor, para eliminar o excesso de H₂O₂ formado na dissolução do K₂S₂O₈ em meio ácido. O conteúdo dos tubos foi transferido para balões volumétricos de 50 mL, o pH foi corrigido utilizando o p-nitrofenol como indicador e adicionando gotas de solução de NaOH 2,0 mol L⁻¹, até mudança de incolor para amarelo. Em seguida foi adicionada a solução de molibdato de amônio, que acidifica a solução para desenvolvimento da cor, e a determinação da concentração de P foi feita pelo método colorimétrico já descrito.

A extração do Po moderadamente lábil foi feita no sedimento da fração anterior, que foi ressuspensionado em 25 mL de solução de HCl 1,0 mol L⁻¹, agitado por 3 h e centrifugado a 2.500 rpm por 15 min. O sedimento foi utilizado na extração posterior, com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, e o sobrenadante (extrato B) foi empregado nas determinações do P inorgânico moderadamente lábil e total, como

descrito para P inorgânico lábil e total, porém utilizaram-se gotas de solução de NaOH $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ na presença de p-nitrofenol para corrigir o pH da solução, até ela passar de incolor para amarela. Posteriormente foi adicionada a solução de molibdato de amônio, que acidifica a solução, fazendo com que ela passe de amarela para incolor, e a concentração de P na solução foi determinada pelo método colorimétrico já descrito.

O Po associado aos ácidos húmicos e aos ácidos fúlvicos foi extraído subsequentemente, após lavar o resíduo da fração anterior com água deionizada, agitando por 5 minutos. A suspensão foi centrifugada, o sobrenadante foi descartado e, em seguida, foi feita adição de 25 mL de solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ao sedimento, a agitação foi feita por 3 h e a centrifugação a 2.500 rpm por 15 minutos. Para separar os ácidos húmicos (Po não lábil) dos ácidos fúlvicos (Po moderadamente lábil) foi feita a acidificação do extrato sobrenadante com HCl concentrado até pH 1,0 – 1,5 para precipitar os ácidos húmicos. Uma alíquota do extrato foi retirada antes da acidificação e outra foi coletada após a acidificação, nas quais foram determinados o P ácidos húmicos + ácidos fúlvicos e o P ácidos fúlvicos, respectivamente. As duas alíquotas foram submetidas à digestão com o persulfato de potássio e a determinação do P na solução foi feita da mesma forma que nas frações anteriores. O Po ácidos húmicos foi obtido pela diferença entre P ácidos húmicos + ácidos fúlvicos e P ácidos fúlvicos. Nesta etapa do fracionamento o Pi é considerado desprezível.

Por fim, na extração das formas mais resistentes, de Po não lábil, o resíduo da fração anterior foi levado a mufla e incinerado a 550°C por 1 h, seguido de dissolução das cinzas por agitação durante 24 h com 25 mL de solução de H_2SO_4 $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. Após a agitação foi retirada alíquota de 5 mL, que foi transferida para balão volumétrico de 50 mL, e foi determinado o P da solução.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% para comparação das médias dos tratamentos com variação significativa. Foi feita análise de correlação entre as formas do Po, teor de MO, P resina, Po total e P total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH CaCl_2 do solo aumentaram 0,4 unidade com a aplicação de esterco (Tabela 1). O efeito do esterco em aumentar o valor de pH do solo é conhecido (WHALEN et al., 2000; EGHBALL, 2002) e pode ser atribuído ao efeito tampão do bicarbonato (HCO_3^-) e dos ácidos orgânicos contidos no esterco bovino (WHALEN et al., 2000) ou gerados durante a decomposição.

Tabela 1. Valores de pH $_{\text{CaCl}_2}$ em Latossolo adubado com esterco bovino, em função de tempo de incubação.

Esterco t ha ⁻¹	Tempo (dias)									Médias
	3	7	14	21	28	49	70	91	112	
	pH CaCl_2									
0	5,4	5,8	5,7	5,4	5,3	5,8	5,7	5,6	5,5	5,6b
20	5,9	6,2	6,0	5,8	6,0	6,1	6,2	6,1	6,0	6,0a
Teste F ¹										
Esterco	11,01**									
Tempo	0,41 ^{ns}									
E x T	0,11 ^{ns}									
CV (%)	10,06									

¹ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças nos teores de MO devido ao esterco e em função do tempo de incubação (Tabela 2). De modo geral, o aumento do teor de MO dos solos pela aplicação de esterco ou outros resíduos orgânicos é obtido com aplicações sucessivas durante longos períodos (VIAUD et al., 2011) e, no caso, foram feitas avaliações em 112 dias de incubação em campo, após aplicação única de 20 t ha⁻¹. Yagi et al. (2003), com o uso de 70 t ha⁻¹ de esterco bovino, dose 3,5 vezes maior, obtiveram aumento de 3,5 g dm⁻³ de C orgânico, após incubação de 180 dias em laboratório. Em condições de campo, a obtenção de aumentos desta magnitude é mais difícil. Em solo de região temperada, após 90 anos de aplicação de esterco, o C orgânico total aumentou em 3,2 g kg⁻¹ (SCHJØNNING; CHRISTENSEN; CARSTENSEN, 1994) e após 100 anos de aplicação de esterco o C total do solo aumentou em 3,5 g kg⁻¹ (CHRISTENSEN, 1988).

Tabela 2. Teores de matéria orgânica em Latossolo adubado com esterco bovino, em função de tempo de incubação.

Esterco t ha ⁻¹	Tempo (dias)									Médias
	3	7	14	21	28	49	70	91	112	
	MO, g dm ⁻³									
0	19	19	20	20	19	21	24	20	18	19,9a
20	21	20	22	22	20	21	20	21	20	20,8a
Teste F ¹										
Esterco	2,32 ns									
Tempo	1,09 ns									
E x T	1,06 ns									
CV (%)	12,55									

¹ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve aumento dos teores de P total e de P resina do solo, com a aplicação de esterco bovino, na média de todos os tempos (Tabelas 3 e 4). Os valores de P total (Tabela 3) estão de acordo com os resultados obtidos por Turner e Engelbrecht (2011) que, avaliando o P total de vários tipos de solos de regiões tropicais, obtiveram valores entre 74 e 1.650 mg kg⁻¹ de P.

O efeito do esterco bovino em aumentar o teor de P do solo, medido por diferentes extratores, já foi relatado por outros autores (GRIFFIN et al., 2003; HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008). Do mesmo modo, o aumento no P total já foi relatado (SHARPLEY; McDOWELL; KLEINMAN, 2004) e, tanto o aumento do P disponível quanto o do P total ocorrem pela adição do P presente no esterco que, mesmo estando em baixas concentrações (SHARPLEY; MOYER, 2000; PAGLIARI; LABOSKI, 2012), acaba sendo adicionado em grandes quantidades pelas altas taxas de aplicação dos esterco. Hao, Godlinski e Chang (2008) observaram, em experimento de 30 anos, aumentos no P total da ordem de 2.182 mg kg⁻¹ de P em parcelas que receberam 60 t ha⁻¹ anualmente. No mesmo experimento, nas parcelas que receberam 60 t ha⁻¹ de esterco durante 14 anos, seguidos de 16 anos sem aplicação, o aumento foi de 630 mg kg⁻¹ em relação as parcelas que não receberam esterco (HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008).

O aumento no P resina com a aplicação do esterco (Tabela 4) deve-se também aos outros efeitos da adição do esterco na disponibilidade de P, como o aumento do pH e a liberação de ânions durante o processo de decomposição. Com o aumento do pH os processos de adsorção e precipitação de fosfato diminuem de intensidade, o que pode resultar em maior quantidade extraída (WHALEN et al.,

2000). Do mesmo modo, a liberação de ânions orgânicos pode diminuir a adsorção de P por competição ou revestimento das superfícies dos óxidos e, ainda, pode haver complexação de Fe e Al pelos compostos orgânicos simples liberados da decomposição e, conseqüentemente, diminuição das reações de precipitação do fosfato com estes elementos (HUE et al., 1994).

Tabela 3. P total em Latossolo adubado com esterco bovino, em função de tempo de incubação.

Esterco t ha ⁻¹	Tempo (dias)									Médias
	3	7	14	21	28	49	70	91	112	
	----- P total, mg dm ⁻³ -----									
0	341	352	368	362	357	447	359	397	403	376,3b
20	417	404	410	436	404	447	454	434	341	417,8a

Teste F ¹										
Esterco	13,04**									
Tempo	2,05ns									
E x T	1,30ns									
CV (%)	12,27									

¹ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4. P resina em Latossolo adubado com esterco bovino, em função de tempo de incubação.

Esterco t ha ⁻¹	Tempo (dias)									Médias
	3	7	14	21	28	49	70	91	112	
	----- P resina, mg dm ⁻³ -----									
0	15	15	19	17	11	12	20	24	16	17,5b
20	36	44	41	34	44	49	56	50	38	43,3a

Teste F ¹										
Esterco	73,44**									
Tempo	1,01 ^{ns}									
E x T	0,52 ^{ns}									
CV (%)	43,12									

¹ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O P extraído com resina não variou em função do tempo decorrido da aplicação do esterco (Tabela 3), possivelmente porque a maior parte do P do esterco bovino está presente em formas inorgânicas e orgânicas muito solúveis (PAGLIARI; LABOSKI, 2012; SHARPLEY; MOYER, 2000) e passa para a forma disponível rapidamente, quando aplicado ao solo. Entretanto, Sharpley e Sisak (1997), comparando a adição de P em forma inorgânica (KH₂PO₄) e orgânica (cama de frango), concluíram que a disponibilidade do P da cama de frango era menor

devido à complexação do P com compostos orgânicos solúveis (organo-Ca, Fe, e Al).

O Po lábil não sofreu mudanças em função da aplicação de esterco (Tabela 5), resultado que também foi relatado após aplicação contínua de esterco por 111 anos, com variação no teor de Po lábil de 22,5 para 23,0 mg kg⁻¹ (MOTAVALLI; MILES, 2002). Apesar do efeito significativo do tempo, os dados de Po lábil não resultaram em regressões lineares ou quadráticas significativas. Essa variação casual ocorreu porque o Po lábil corresponde à fração mais instável do Po, que pode se tornar disponível para as plantas com maior facilidade (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982), principalmente porque o P dessa fração está disponível aos microrganismos do solo (BOWMAN; COLE, 1978). Trata-se de uma fração sujeita a transformações induzidas pela atividade microbiana, tipo de solo, atividade enzimática e condições climáticas (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982; BECK; SANCHEZ, 1994). O Po lábil recuperado nessa extração provém principalmente de ácidos nucleicos, fosfolipídios e açúcares fosfatados. Esses compostos são de fácil mineralização, e passam a P disponível de forma relativamente rápida, podendo ser absorvidos pelas plantas ou imobilizados pelos microrganismos do solo (BLAKE et al., 2003; TURNER; ENGELBRECHT, 2011). Sharpley e Sisak (1997) relataram que a aplicação de esterco aumenta a atividade microbiana e inicialmente sequestra o P para essa fração, mas, posteriormente, ele é disponibilizado as plantas pela sua mineralização. Essa instabilidade do Po foi demonstrada por Hao; Godlinski e Chang (2008), que observaram aumento do Po lábil em função da taxa de aplicação de esterco em condições de sequeiro, mas não em cultivo irrigado, condição em que essa fração teve seu conteúdo não alterado ou até diminuído, dependendo da dose. O Po dificilmente acumula na forma lábil, pois trata-se de uma fração muito dinâmica, a partir da qual o P pode ser mineralizado ou convertido em outros compostos mais estáveis (DARILEK et al., 2010).

O HCl foi o extrator que menos recuperou Po. Nesta etapa da extração faz-se, na verdade, o pré-tratamento da amostra com o objetivo principal de extrair o Pi que pode interferir nas extrações subsequentes (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009; IVANOFF; REDDY; ROBINSON, 1998). No entanto, esta extração é incluída no cálculo do Po moderadamente lábil, pois a solução de HCl extrai Po da fração húmica da matéria

orgânica e em ligações organo – Ca, Al (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009; BLAKE et al., 2003).

Tabela 5. Frações do P orgânico em Latossolo adubado ou não com esterco, avaliadas durante 112 dias de incubação.

Tempo dias	Po NaHCO ₃ ¹	Po HCl	Po ácidos fúlvicos	Po mod lábil ²	Po ácidos húmicos	Po residual	Po não lábil ³
----- mg kg ⁻¹ -----							
Sem esterco							
3	3,6	2,2	41,2	43,3	13,1	42,8	55,9
7	3,0	3,2	46,7	49,8	14,9	48,8	63,7
14	6,1	2,0	45,7	47,7	14,6	46,3	60,9
21	6,7	1,9	38,9	40,9	8,6	37,2	45,8
28	9,1	5,7	42,5	48,1	10,0	43,2	53,3
49	4,5	2,91	51,4	54,3	8,1	46,2	54,3
70	7,3	5,1	44,6	49,8	7,5	47,0	54,5
91	6,7	1,9	46,8	48,7	7,8	44,2	51,9
112	6,0	3,2	47,9	51,0	8,3	43,0	51,3
Média	6,1a	3,1a	45,1b	48,2b	10,0a	44,3b	54,6b
20 t ha ⁻¹ de esterco							
3	4,5	2,9	48,2	51,1	11,2	46,6	57,8
7	5,0	2,5	51,7	54,2	13,7	56,8	70,5
14	4,1	6,0	47,9	53,9	14,8	53,0	67,8
21	8,5	2,9	46,7	49,6	12,7	46,2	59,0
28	6,4	4,3	50,3	54,6	11,8	45,0	56,8
49	4,6	3,3	45,8	49,2	9,4	47,5	56,9
70	7,1	6,7	52,4	59,2	8,3	49,0	57,3
91	7,8	2,2	47,0	49,2	19,0	49,1	68,0
112	6,6	5,4	53,2	58,5	8,4	45,0	53,4
Média	6,0a	4,0a	49,4a	53,3a	12,3a	48,7a	60,8a
Teste F ²							
Esterco	0,22 ns	2,20 ns	7,52 **	8,54 **	2,64 ns	15,47 **	12,45 **
Tempo	3,87 **	1,99 ns	1,09 ns	1,40 ns	2,05 ns	4,63 **	3,76 **
E x T	0,94 ns	0,73 ns	0,98 ns	0,79 ns	1,16 ns	1,11 ns	0,96 ns
CV (%)	36,51	73,41	13,71	14,69	45,05	9,58	12,93

¹Po lábil, extraído com solução de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹; ² Po moderadamente lábil, corresponde à soma do Po extraído com solução de HCl 1,0 mol L⁻¹ + Po ácidos fúlvicos; e ³ Po não lábil, corresponde à soma de Po ácidos húmicos + Po residual.

²ns, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas frações Po moderadamente lábil e Po não lábil houve efeito da aplicação do esterco (Tabela 5), resultado já relatado por outros autores (MOTAVALLI; MILES, 2002; SHARPLEY; McDOWELL; KLEINMAN, 2004). O aumento nestas frações deveria resultar dos processos de humificação do esterco realizados pelos microrganismos (HEDLEY; STEWART; CHAUHAN, 1982) e estas transformações

são dependentes do tempo, mas este fator só interferiu no Po não lábil e, também, não foi observada tendência definida nem ajuste dos dados a regressões polinomiais. Quando é feita aplicação do esterco, como parte do Po do adubo está nas formas moderadamente lábil e não lábil (extraídas com solução de NaOH), podem ser extraídas juntamente com as mesmas formas de P do solo, particularmente no início do processo de incubação, o que resulta em aumento inicial destas formas de Po no solo (SHARPLEY; MOYER, 2000) e impede a observação do efeito do tempo nas transformações do Po. Nesse contexto, Qian e Schoenau (2000) observaram que em experimento com aplicação única de dejetos líquido de suíno, o P adicionado não aumentou o teor do elemento nas frações mais lábeis, mas entrou no sistema fazendo parte das frações moderadamente lábil e não lábil, resultados similares aos obtidos. Blake et al. (2003) apontam que solos de textura média tem maior tendência a acumular o Po em formas estáveis, mesmo quando não há adição de esterco, enquanto solos de textura mais arenosa acumulam o Po em formas mais lábeis.

Na extração com NaOH houve predomínio do Po nas formas relacionadas aos ácidos fúlvicos. A quantidade de Po nos ácidos fúlvicos foi cerca de 4 vezes maior que o Po nos ácidos húmicos, tendência que já havia sido verificada por Schroeder e Kovar (2006). Os autores relataram que, independente do manejo e profundidade de amostragem, o Po na forma de ácidos fúlvicos predominou no solo.

Em solos em que são feitas aplicações de P em formas orgânicas é esperado que as frações de Po mais estáveis acumulem, o que de fato ocorreu com as formas moderadamente lábil e não lábil, extraídas com solução de NaOH (Tabela 5). Em solos não adubados estas frações tendem a diminuir e, nesta condição, Beck e Sanchez (1994) relataram que em latossolo, a fração do Po extraída com NaOH atuou como maior fornecedora de P. Essa fração é constituída principalmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos, sendo que os ácidos fúlvicos são considerados mais lábeis e contêm teor de P mais elevado (IVANOFF; REDDY; ROBINSON, 1998; SCHROEDER; KOVAR, 2006). A fração residual atua como dreno de P em sistemas nos quais há adição do elemento, principalmente quando são usados adubos ou resíduos orgânicos (IVANOFF; REDDY; ROBINSON, 1998; KASHEN; AKINREMI; RACZ, 2004; HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008). Sendo assim, solos

que recebem P em excesso, principalmente na forma de adubos orgânicos, ficam predispostos a acumular P na forma não lábil, como o caso das parcelas que receberam esterco.

O aumento do teor de P nas frações mais estáveis do Po (moderadamente lábil e não lábil) contribuiu para o aumento do Po total (Tabela 6). O aumento do Po total decorrente da aplicação do esterco foi obtido com os dois métodos de determinação de Po (soma das frações e incineração), mas com o método da incineração os valores obtidos foram maiores na maior parte das amostras. O acúmulo do P na forma orgânica em áreas de aplicação de esterco é esperado e já foi verificado por outros autores (HAO; GODLINSKI; CHANG, 2008; SHARPLEY; McDOWELL; KLEINMAN, 2004), porque o P, mesmo em concentrações relativamente baixas, está na composição de todos os esterco.

As formas predominantes do Po foram as moderadamente lábeis (em média, 44,4% do Po total) e as não lábeis (em média 50,5% do Po total), com pequena participação do Po lábil, cerca de 5,1%. Embora a aplicação de 20 t ha⁻¹ de esterco tenha aumentado o teor de Po nas frações moderadamente lábil e não lábil e o Po total (Tabelas 5 e 6), ela não mudou as proporções dessas frações no Po total, conforme já relatado por Schroeder e Kovar (2006). Isso é esperado devido ao fato que no período avaliado também não houve alterações no teor de matéria orgânica, que poderiam levar a mudanças nas proporções dessas frações em relação ao Po total (SCHROEDER; KOVAR, 2006). As frações lábeis, apesar de representarem pequena parte do Po total, são as que apresentam maior variação em função do tempo. Esse comportamento é justificado pela característica dessa fração de ser muito instável e sofrer mudanças em função do tempo, manejo e condições edafoclimáticas. As outras frações, por serem mais estáveis, são mais resistentes a alterações.

Não houve correlação de nenhuma das frações do Po com a matéria orgânica (Tabela 7). Blake et al. (2003) relatam que em solo de textura arenosa com baixo teor de C orgânico, o Po representava grande parte do P total, enquanto em dois solos de textura média, com teores de C orgânico 2,5 vezes maior, o Po representava pequena parte do P total. Isso significa que o Po é influenciado por vários outros fatores, além do teor de matéria orgânica (BLAKE et al., 2003;

DARILEK et al., 2010). O P resina correlacionou significativamente com o Po moderadamente lábil e não lábil e com o P total. Correlação entre o P resina e o Po lábil e não lábil foi obtida também por Beck e Sanchez (1994), que concluíram que a mineralização do P dessas frações era a principal fonte do P disponível extraído por resina, em argissolo de clima tropical.

Tabela 6. P orgânico total obtido por soma das frações e por incineração, em Latossolo adubado ou não com esterco, avaliadas durante 112 dias de incubação.

Tempo dias	Po total soma ¹ ----- mg kg ⁻¹ -----	Po total incineração -----	Po soma/ Po incineração -- % --
Sem esterco			
3	102,8	108,2	95,1
7	116,5	95,2	122,3
14	114,7	86,0	133,4
21	93,4	93,8	99,6
28	110,5	103,0	107,3
49	113,2	96,9	116,8
70	111,6	85,3	130,8
91	107,3	99,3	108,1
112	108,3	95,5	113,4
Média	108,9b	95,9b	114,1
20 t ha ⁻¹ de esterco			
3	113,4	104,4	108,6
7	129,8	95,2	136,3
14	125,7	90,4	139,0
21	117,0	100,0	117,0
28	117,8	100,0	117,8
49	110,7	93,8	117,9
70	123,6	89,4	138,2
91	125,1	126,6	98,8
112	118,5	110,6	107,2
Média	120,1a	105,0a	120,1
Teste F ²			
Esterco	18,86**	4,21	
Tempo	2,02ns	1,15 ns	
E x T	0,83ns	0,79 ns	
CV (%)	9,70	18,74	

¹Po total soma foi obtido por meio da soma das frações, o Po total incineração foi obtido pelo método da ignição. ²ns, *, **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Valores de r entre o teor de matéria orgânica (MO), o P resina e as formas orgânicas de P (Po) obtidos em Latossolo tratado e não tratado com esterco.

	P resina	MO	Po lábil	Po mod	Po não lab	Po total	P total
P resina	-	0,30 ns	0,26 ns	0,55 **	0,50 **	0,39 ns	0,67 ***
MO		-	0,34 ns	0,07 ns	0,12 ns	-0,10 ns	0,09 ns
Po lábil			-	0,15 ns	-0,19 ns	0,25 ns	0,38 ns
Po mod				-	0,29 ns	0,21 ns	0,69 ***
Po não lab					-	0,14 ns	0,23 ns
Po total						-	0,43 *
P total							-

ns, *, **, e ***: não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade.

O P total, por sua vez, correlacionou com o Po total e com o Po moderadamente lábil. Essas frações representam a maior parte do P total do solo, por isso a correlação. Schroeder e Kovar (2006) relataram que as frações Po moderadamente lábil e não lábil apresentam alta correlação com o P total e o Po total, e tendem a aumentar à medida que práticas que causam aumento da MO do solo e do P total são adotadas. Embora a adição do esterco não tenha resultado em aumento no teor de MO do solo, ela aumentou o P total (Tabela 5) e o Po total (Tabela 7).

5 CONCLUSÕES

A aplicação do esterco causou aumento no Po moderadamente lábil, no Po não lábil e no Po total, e não interferiu nas proporções das frações em relação ao Po total. O Po moderadamente lábil e o Po não lábil correlacionaram com o P resina, indicando que as duas frações têm influência no P disponível para as plantas e que, portanto, a aplicação de esterco aumenta a capacidade do solo em repor o P disponível.

As frações lábil e não lábil do Po variaram ao longo dos tempos de amostragem, mas não houve tendência definida. Estudos em longo prazo devem ser realizados para identificar a variação dessas frações frente ao tempo de aplicação.

6 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1003-1011, 2003.
- BECK, M. A.; SANCHEZ, P. A. Soil phosphorus fractions dynamics during 18 years of cultivation on a typic paleudult. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p.1424-1431, 1994.
- BLAKE, L.; JOHNSTON, A. E.; POULTON, P. R.; GOULDING, K. W. T. Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods. **Plant and Soil**, The Hague, v.254, p.245-261, 2003.
- BOWMAN, R. A.; COLE, C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soil. **Soil Science**, Baltimore, v.125, p.95-101, 1978.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 28, de 27 julho de 2007. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 jul. 2007. Seção 1, p.11.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106)
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 2001. p. 270-276.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Detrerminação da matéria orgânica. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 173-180.
- CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular técnica, 6)
- CHEN, G. C.; HE, Z. L.; HUANG, C. Y. Microbial biomass phosphorus and its significance in predicting phosphorus availability in red soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.31, p.655-667, 2000.
- CHRISTENSEN, B. T. Effects of animal manure and mineral fertilizer on the total carbon and nitrogen contents of soil size fractions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.5, p.304-307, 1988.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicações de fosfato em solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.925-930, 2002.

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

DALAL, R. C. Soil organic phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.29, p. 83-117, 1977.

DARILEK, J. L.; HUANG, B.; LI, D. C.; WANG, Z. G.; ZHAO, Y. C.; SUM, W. X.; SHI, X. Z. Effect of land use conversion from rice paddies to vegetable fields on soil phosphorus fractions. **Pedosphere**, Oxford, v.20, p.137-145, 2010.

DORMAAR, J. F.; CHANG, C. Effect of 20 annual applications of excess feedlot manure on labile soil phosphorus. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 507-512, 1995.

DOU, Z.; TOTH, J. D.; GALLIGAN, D. T.; RAMBERG, C. F.; FERGUSON, J. D. Laboratory procedures for characterizing manure phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, p.508-514, 2000.

EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus- and nitrogen- based manure and compost applications. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.128-135, 2002.

EGHBALL, B.; WIENHOLD, B. J., WOODBURY, B. L.; EIGENBERG, R. A. Plant availability of phosphorus in swine slurry and cattle feedlot manure. **Agronomy Journal**, Madison, v.97, p.542-548, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2013. 306p.

FIXEN, P. E. World fertilizer nutrient reserves. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Contexto mundial e práticas de suporte. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2010. p.93-109.

GRIFFIN, T. S.; HONEYCUTT, C. W.; HE, Z. Changes in soil phosphorus from manure application. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.67, p. 645-653, 2003.

GUPPY, C. N.; MENZIES, N. W.; MOODY, P. W.; BLAMEY, F. P. C. Competitive sorption reaction between phosphorus and organic matter: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p.189-202, 2005.

HAO, X.; GODLINSKI, F.; CHANG, C. Distribution of phosphorus forms in soil following long-term continuous and discontinuous cattle manure applications. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.72, p.90-97, 2008.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**. An introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey: Pearson Education, 2005. 515p.

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

HUE, N. V.; IKAWA, H.; SILVA, J. A. Increasing plant-availability phosphorus in a ultisol with a yard-waste compost. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, p.3291-3303, 1994.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P.; BAHAN, J. Organic amendments and phosphorus dynamics: II. Distribution of soil phosphorus fractions. **Soil Science**, Baltimore, v.161, p.436-443, 1996.

IVANOFF, D. B.; REDDY, K. R.; ROBINSON, S. Chemical fractionation of organic phosphorus in selected histosols. **Soil Science**, Baltimore, v.163, p.36-45, 1998.

KASHEM, A. AKINREMI, O. O.; RACZ, G. J. Phosphorus fractions in soil amended with organic and inorganic phosphorus sources. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.84, p.83-90, 2004.

KAUR, T.; BRAR, B. S.; DHILLON, N. S. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizer under maize-wheat cropping system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.81, p.59-69, 2008.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KOVAR, J. L.; PIERZYNSKI, G. M. **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters**. 2. ed. Virginia Tech University:s.l., 2009. 122p. (Southern Cooperative Series Bulletin, 408).

KUO, S. Phosphorus. In: SPARKS, D. L. (Ed). **Methods of soil analysis: part 3: Chemical methods**. Madison: SSSA, 1996. p.869-920.

LEY, R. E.; SCHMIDT, S. K. Fungal and bacterial responses to phenolic compounds and amino acids in high altitude barren soils. **Soil Biology and Biogeochemistry**, Elmsford, v.34, p.989–995, 2002.

LEYTEM, A. B.; WESTERMANN, D. T. Phosphorus availability to barley from manure and fertilizers on a calcareous soil. **Soil Science**, Baltimore, v.170, p.401-412, 2005.

LEYTEM, A. B.; TURNER, B. L.; THACKER, P. A. Phosphorus composition of manure from swine fed low-phytate grains. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, p. 2380-2383, 2004.

LUCCHERO, D. W.; MARTENS, D. C.; MCKENNA, J. R.; STARNER, D. E. Accumulation and movement of phosphorus from poultry litter application on a Starr loan. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, p.1709-1718, 1995.

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**, Viçosa, v.17, p.331-336, 1993.

MOTAVALLI, P. P.; MILES, R. J. Soil phosphorus fractions after 111 years of animal manure and fertilizer applications. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.36, p.35-42, 2002.

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

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo no solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PAGLIARI P. H.; LABOSKI, C. A. M. Investigation of the inorganic and organic phosphorus forms in animal manure. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.41, p.901-910, 2012.

OBERSON, A.; FARDEAU, J. C.; BESSON, J. M. STICHER, H. Soil phosphorus dynamics in cropping systems managed according to conventional and biological agricultural methods. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.16, p.111-117, 1993.

PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.30, p.1-42, 1978.

QIAN, P.; SCHOENAU, J. J. Fractionation of P in soil as influenced by a single addition of liquid swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.80, p. 561-566, 2000.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.181-188.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 189-199.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.

REDDY, D. D.; RAO, A. S.; TAKKAR, P. N. Effects of repeated manure and fertilizer phosphorus additions on soil phosphorus dynamics under a soybean-wheat rotation. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.28, p.150-155, 1999.

RICHARDS, J. E.; BATES, T. E.; SHEPPARD, S. C. Changes in the forms and distribution of soil phosphorus due to long-term corn production. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 311-318, 1995.

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformation in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v.16, p.1-120, 1991.

SCHJØNNING, P.; CHRISTENSEN, B. T.; CARSTENSEN, B. Physical and chemical properties of a sandy loam receiving animal manure, mineral fertilizer or no fertilizer for 90 years. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.45, p.257-268, 1994.

SCHROEDER, P. D.; KOVAR, J. L. Comparison of organic and inorganic phosphorus fractions in an established buffer and adjacent production field. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.37, p.1219-1232, 2006.

SHARPLEY, A. N.; MOYER, B. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, p.1462-1469, 2000.

SHARPLEY, A. N.; SISAK, I. Differential availability of manure and inorganic sources of phosphorus in soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p. 1503-1508, 1997.

SHARPLEY, A. N.; McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, J. A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p.2048-2057, 2004.

SMECK, N. E. Phosphorus dynamics in soils and landscapes. **Geoderma**, Amsterdam, v. 36, p. 185-199, 1985.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZSCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus compounds and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.105, p.21-48, 2002.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos-UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5)

TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; OBERSON, A. Innovative soil phosphorus availability indices: assessing organic phosphorus. In: HAVLIN, J.; JACOBSEN, J. S. (Eds.). **Soil testing: prospects for improving nutrient recommendations**. Madison: SSSA, 1994. p. 143-162.

TRAN, T. S.; N'DAYEGAMIYE, A. Long-term effects of fertilizers and manure application on the forms and availability of soil phosphorus. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.75, p.281-285, 1995.

TURNER, B. L.; ENGELBRECHT, B. M. J. Soil organic phosphorus in lowland tropical rain forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.103, p.297-315, 2011.

VIAUD, V.; ANGERS, D. A.; PARNAUDEAU, V.; MORVAN, T.; MENASSERI AUBRY, S. Response of organic matter to reduce tillage and animal manure in a temperate loamy soil. **Soil Use and Management**, Oxford, v.27, p.84-93, 2011.

VU, D. T.; TANG, C.; ARMSTRONG, R. D. Changes and availability of P fractions following 65 years of P application to a calcareous soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, The Hague, v.304, p.21-34, 2008.

WALKER, T. W.; SYERS, J. K. The fate of phosphorus during pedogenesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.15, p.1-19, 1976.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J. P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.962-966, 2000.

YAGI, R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; BARBOSA, J.C. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of liming, vermicompost and cattle manure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, p.549-557, 2003.