

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

**QUALIDADE QUÍMICA E FRACIONAMENTO DO FÓSFORO
DE DOIS LATOSSOLOS ADUBADOS COM LODO DE
ESGOTO**

Marcelo Jara Davalo

Engenheiro Agrônomo

2017

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

**QUALIDADE QUÍMICA E FRACIONAMENTO DO FÓSFORO
DE DOIS LATOSSOLOS ADUBADOS COM LODO DE
ESGOTO**

Marcelo Jara Davalo

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho

Coorientador: Prof. Dr. Wanderley José de Melo

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2017

D245q Davalo, Marcelo Jara
Qualidade química e fracionamento do fósforo de dois
Latossolos adubados com lodo de esgoto / Marcelo Jara Davalo. –
Jaboticabal, 2017
xix, 83 p. : il. ; 29 cm

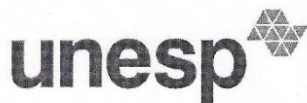
Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade
de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho
Coorientador: Wanderley José de Melo
Banca examinadora: Adriana Aparecida Ribon, Glauco de
Souza Rolim, Felipe Batistella Filho, Teresa Cristina Tarle Pissarra

Bibliografia

1. Adsorção. 2. Disponibilidade. 3. Intemperismo. 4. Lável. 5.
Matéria orgânica. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

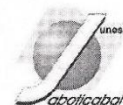
CDU 631.4:631.86

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE QUÍMICA E FRACIONAMENTO DO FÓSFORO DE DOIS LATOSSOLOS ADUBADOS COM LODO DE ESGOTO

AUTOR: MARCELO JARA DAVALO

ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO

COORDINADOR: WANDERLEY JOSÉ DE MELO

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

Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. ADRIANA APARECIDA RIBON- VIDEOCONFERÊNCIA
Departamento de Ciência do Solo / UEG / Palmeiras de Goiás/GO

Prof. Dr. GLAUCIO DE SOUZA ROLIM
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO
Instituto Federal de São Paulo / Campus Matão/SP

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 02 de setembro de 2017

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Marcelo Jara Davalo – Nascido na cidade de Aquidauana, no estado de Mato Grosso do Sul, no dia 27 de fevereiro do ano de 1984. Ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) em fevereiro de 2007, concluindo-o em dezembro de 2010. Durante a graduação, foi bolsista de iniciação científica do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e auxiliar técnico do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da UCDB. Em agosto do ano de 2011, iniciou o curso de mestrado em Ciência do Solo pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, obtendo o título de Mestre em julho de 2013. Pelo mesmo programa de Pós-Graduação, em agosto do ano de 2013, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo).

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci

DEDICO

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Ao meu pai, Olimpio Davalo, por educar pelo exemplo e transmitir aquilo que aprendeu ao longo de sua vida, tanto o certo como o errado. À minha mãe, Lina Brites Jara, seu amor me encanta, sua força me orgulha e sou realmente privilegiado por tê-la em minha vida. Aos meus irmãos, Marcia Jara Davalo e Marcio Jara Davalo, já que suas presenças significaram segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada. À minha filha, Esther Cristina Nóia Jara Davalo, que é simplesmente a minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha filha Esther Cristina Nóia Jara Davalo, pelo “amor que eu nunca vi igual”.

À minha mãe, Lina Brites Jara, pelo exemplo, pela educação, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Eu te amo mãe!

Aos meus irmãos Marcia Jara Davalo e Marcio Jara Davalo, pelo carinho, apoio e companheirismo de sempre: minha família insubstituível.

À Natália Regina de Campos Nóia.

Ao professor Dr. José Frederico Centurion, pela orientação.

Ao professor Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, por aceitar ser meu orientador após a aposentadoria do professor Dr. José Frederico Centurion.

Ao professor Dr. Wanderley José de Melo, pela coorientação e por disponibilizar a área experimental para a coleta dos dados a Tese.

À Dra. Mara Regina Moitinho, por ajudar sempre que precisei.

Ao doutorando, Lucas Boscov Braos, pelo auxílio com a metodologia de fracionamento sequencial de fósforo no solo.

À professora Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz, por disponibilizar o Laboratório de Fertilidade do Solo, para realizar parte das análises.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) da UNESP/FCAV.

A Marcelo Scatolini e aos funcionários da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão pela ajuda com as coletas de amostras de solo do experimento.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
Introdução.....	1
Revisão de Literatura.....	2
Referências.....	15
CAPÍTULO 2 – Indicadores de qualidade química dos Latossolos adubados com lodo de esgoto.....	21
Resumo.....	21
Abstract.....	22
Introdução.....	23
Material e Métodos.....	24
Resultados e Discussão.....	29
Conclusões.....	52
Referências.....	53
CAPÍTULO 3 - Fracionamento do fósforo orgânico em Latossolos adubados com o lodo de esgoto.....	59
Resumo.....	59
Abstract.....	60
Introdução.....	61
Material e Métodos.....	63
Resultados e Discussão.....	70
Conclusões.....	79
Referências.....	79

QUALIDADE QUÍMICA E FRACIONAMENTO DO FÓSFORO DE DOIS LATOSSOLOS ADUBADO COM LODO DE ESGOTO

RESUMO – O lodo de esgoto é um resíduo oriundo do tratamento de esgoto, composto por matéria orgânica e alguns nutrientes que promovem o crescimento de plantas, então, o lodo de esgoto pode substituir ainda que parcialmente os fertilizantes químicos. Diante disso, o objetivo foi avaliar as alterações dos atributos químicos indicadores de qualidade do solo e das frações do fósforo orgânico em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, adubados com dose crescente de lodo de esgoto. O experimento foi instalado em condições de campo em Jaboticabal-SP, no ano agrícola 1997/1998. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: controle (fertilização mineral, sem aplicação de lodo de esgoto), 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca). O lodo de esgoto foi aplicado a lanço nas parcelas, com a umidade de 5% e foi distribuído uniformemente na área total das parcelas, incorporado por meio de gradagem leve na camada de 0 a 0,1 m de profundidade. Após um ano da aplicação do lodo de esgoto, no ano agrícola 2013/2014, as amostras deformadas de solo foram coletadas na área útil da parcela, na camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. A partir das amostras de terra fina seca ao ar, foram realizadas as análises químicas: fósforo resina, matéria orgânica, pH em CaCl₂, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, acidez trocável, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. O fracionamento do fósforo foi feito separando as formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis de fósforo inorgânico e orgânico. Em todas as frações, o fósforo orgânico foi obtido da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico, determinados no mesmo extrato, após digestão (fósforo total) e sem digerir (fósforo inorgânico). Foram feitas análises de variância (teste F), teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparar médias dos atributos indicadores de qualidade química do solo e de regressão polinomial para efeito de dose de lodo de esgoto nos teores de fósforo orgânico medidos por diferentes extratores. Ocorreu o incremento de fósforo e matéria orgânica do solo em função do aumento da dose de lodo de esgoto tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos. O aumento da dose de lodo de esgoto proporcionou incremento nos teores dos micronutrientes boro, cobre, ferro e zinco nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m nos dois Latossolos. A dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou teores altos de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro e zinco no solo tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos. A dose crescente de lodo de esgoto promoveu aumento do teor de fósforo orgânico medidos por diferentes extratores, principalmente na camada de 0-0,1 m. A adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo no solo nas frações orgânico lábil e moderadamente lábil na camada de 0-0,1 m dos Latossolos. A adubação com dose de lodo de esgoto não contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Palavras-chave: adsorção, disponibilidade, intemperismo, lábil, matéria orgânica

CHEMICAL QUALITY AND FRACTIONATION PHOSPHORUS OF TWO OXISOLS FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE

ABSTRACT - Sewage sludge is a waste from sewage treatment, composed of organic matter and some nutrients that promote plant growth, so sewage sludge can even partially replace chemical fertilizers. The objective of this study was to evaluate the changes in chemical attributes indicating soil quality and organic phosphorus fractions in a Eutrophic Red Latosol and a Dystrophic Red Latosol, which were fertilized with increasing amounts of sewage sludge. The experiment was installed in field conditions in Jaboticabal-SP, in the agricultural year 1997/1998. The experimental design was a randomized block with four treatments and five replicates. The treatments were: control (mineral fertilization, without application of sewage sludge), 5, 10 and 20 t ha⁻¹ of sewage sludge (dry basis). The sewage sludge was applied to haul in the plots, with 5% moisture and was evenly distributed in the total plots area, incorporated by means of light harrowing in the 0 to 0.1 m depth layer. After one year of sewage sludge application, in the agricultural year 2013/2014, the deformed soil samples were collected in the plot area, in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layer. Phosphorus resin, organic matter, pH in CaCl₂, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, exchangeable acidity, sulfur, boron, copper, iron, manganese and zinc were analyzed. Phosphorus fractionation was done by separating the labile, moderately labile, non-labile forms of inorganic and organic phosphorus. In all fractions, the organic phosphorus was obtained from the difference between total phosphorus and inorganic phosphorus, determined in the same extract, after digestion (total phosphorus) and undigested (inorganic phosphorus). Analysis of variance (test F), Tukey's test at 5% probability was performed to compare the mean values of soil chemical quality and polynomial regression values for the effect of sewage sludge dose on organic phosphorus measured by different extractors. The increase of phosphorus and organic matter of the soil occurred due to the increase of the dose of sewage sludge in both the 0-0.1 m layer and the 0.1-0.2 m layer in the Oxisols. Increasing the dose of sewage sludge provided an increase in the boron, copper, iron and zinc micronutrient contents in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layers in the two Oxisols. The dose of 5 t ha⁻¹ of sewage sludge presented high levels of potassium, calcium, magnesium, sulfur, copper, iron and zinc in the soil in both the 0-0.1 m layer and the 0.1-0.2 m in the Oxisols. The increasing dose of sewage sludge promoted an increase of the organic phosphorus content measured by different extractors, mainly in the 0-0.1 m layer. Fertilization with a dose of sewage sludge contributed to increase soil phosphorus in the labile and moderately labile organic fractions in the 0-0.1 m layer of the Oxisols. Fertilization with sewage sludge dose did not contribute to increase the total organic phosphorus in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layers of Eutrophic Red Latosol. In the Dystrophic Red Latosol, sewage sludge fertilization contributed to increase the total organic phosphorus in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layers.

Keywords: Adsorption, availability, weathering, labile, organic matter

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Introdução

O solo junto com a água e o ar compõe um conjunto de recursos finitos essenciais para a vida do homem, pois é do solo que o ser humano extrai a maior parte dos seus alimentos. Portanto, sem o solo, a vida humana não poderia ser mantida.

O solo não somente produz alimentos para os humanos. Quando saudável, tem a capacidade de ser um grande filtro ambiental, faz a limpeza da água e do ar e, até mesmo, pode ser receptor final de resíduos orgânicos - oriundos das atividades do homem. Porém, a pouca consciência da importância do solo para a vida pela sociedade tem contribuído para a degradação desse recurso.

As consequências para o homem da negligência com o manejo do solo são inúmeras, e a principal delas é a não produção de alimentos nutritivos em abundância. A população mundial está aumentando muito rápido, o que naturalmente potencializa a demanda por alimentos. Como consequência, esse crescimento tem exigido muito mais dos nossos solos, porque torna necessário o aumento da produção agrícola intensiva, porém será preciso adotar práticas mais eficientes para produzir mais em cada hectare já lavrada.

Para que sejam adotadas práticas agrícolas mais eficientes e assim obtermos resultados satisfatórios nos empreendimentos agrícolas é fundamental conhecermos as características das classes de solo. Na superfície terrestre podemos identificar diversos tipos de solo, porque os tipos de relevo, o material de origem, a vegetação, o clima e os microrganismos interagem e proporcionam distintos processos que formam os solos.

Em relação à superfície do território brasileiro, cerca de um terço é ocupado pela classe dos Latossolos. A classe dos Latossolos agrupa os solos mais intemperizados das regiões tropicais, são formados pelo processo de latolização e na fração argila predominam minerais no último estágio de intemperismos.

Por serem solos altamente intemperizados, apresentam fatores como a baixa fertilidade e o baixo teor de fósforo disponíveis, que são limitantes para a agricultura.

Outro fator não menos importante é a alta capacidade de adsorção de fósforo que aumenta com o aumento dos teores de minerais altamente intemperizados.

Para mitigar os impactos dos fatores citados acima, a utilização do lodo de esgoto em terras agrícolas é uma fonte alternativa de nutrientes de plantas e condicionador de solo de baixo custo, já que pode substituir parcialmente os fertilizantes químicos e fornecer matéria orgânica para o solo, sendo uma alternativa para a disposição final adequada.

O lodo de esgoto aplicado em solos tropicais pode aumentar a quantidade de matéria orgânica e influenciar os atributos químicos, retendo uma maior quantidade de nutrientes e aumentando o teor de fósforo disponível no solo, já que a decomposição da matéria orgânica é a principal fonte de ácidos orgânicos que competem com os minerais de argila pelo fósforo, bloqueando os sítios de adsorção deste elemento no solo.

A alta capacidade de adsorção de fósforo pelos solos, em estádios avançados de intemperismos, entra no contexto de ter que conhecer a natureza e a distribuição das formas de fósforo no solo que possam fornecer informações importantes para o processo de avaliação da disponibilidade do fósforo.

O lodo de esgoto é rico em material orgânico e nutrientes de plantas, e a aplicação desse resíduo promove o aumento dos atributos químicos e do fósforo orgânico de dois Latossolos.

Diante disso, o objetivo foi avaliar as alterações dos atributos químicos indicadores de qualidade do solo e das frações do fósforo orgânico em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico adubados com dose crescente de lodo de esgoto.

Revisão de Literatura

O recurso solo

O solo é um recurso essencial para a vida e a saúde do homem, assim como com a água e o ar, a vida humana não poderia ser mantida sem o solo, justamente por ser a fonte de extração da maior parte dos alimentos (DORAN; PARKIN, 1994).

Ainda segundo os mesmos autores, o bem-estar econômico da maioria das nações é extremamente dependente do solo e do quão bem é mantida a sua saúde.

A dependência e a ligação do homem com o solo são antigas e vêm desde os primeiros seres humanos, pois era sua fonte de sustento, bem como o material com o qual construíram suas casas, aprenderam a moldar, aquecer e fundir em vasos domésticos e tabletes de escrita. Desta forma, a cerâmica foi o primeiro material sintético na história da tecnologia (HILLEL, 1998).

Até mesmo na bíblia o homem manifesta ato de reverência ao solo, pois o nome atribuído ao primeiro ser humano é “Adão”, derivado da palavra hebraica “adama”, que significa “terra ou solo”, e o nome dado à sua companheira é “Hava” (Eva, em transliteração), que significa “vivo” ou “o que dá a vida”. Logo, juntos, “Adão e Eva” significam “solo e vida” (HILLEL, 1998).

A dependência do homem pelo solo associada à expansão populacional naturalmente aumenta a demanda por alimentos e matérias-primas, causando a exploração extrativista descontrolada dos recursos naturais do planeta, com sérios prejuízos ambientais (SIQUEIRA et al., 1994). Dentre os recursos naturais, geralmente, as pessoas têm uma atitude de pouca consciência e sensibilidade em relação ao solo, conseqüentemente isso contribui para a sua degradação, seja pelo mal uso ou pela ocupação desordenada (MUGGLER; SOBRINHO; MACHADO, 2006).

O solo não somente produz alimentos para a sociedade, muito mais é feito pelo mesmo quando saudável, pode atuar como filtro ambiental ao fazer a limpeza da água e do ar, pois é um importante consumidor de gases globais e pode influenciar favoravelmente no equilíbrio do dióxido de carbono. Além disso, o solo muitas vezes atua como o receptor final de resíduos orgânicos promovendo a decomposição e reciclagem de nutrientes para as plantas (DORAN; PARKIN, 1994).

O oposto de solo saudável também pode ocorrer, principalmente porque a problemática em torno da conservação do recurso solo é negligenciada, inevitavelmente a consequência é o crescimento contínuo dos problemas ambientais relacionados à degradação do solo, como: erosão, poluição, deslizamentos e assoreamentos de cursos da água (MUGGLER; SOBRINHO; MACHADO, 2006).

Sempre que mal manejado, o solo pode deixar de produzir alimentos nutritivos em abundância, e isso reforça a crença de que, dentro de uma comunidade, existe

uma forte ligação entre a qualidade do solo e a quantidade/qualidade dos alimentos, a saúde, o bem-estar e a prosperidade das pessoas que ali vivem (DORAN; PARKIN, 1994).

Quando processos de destruição natural são extensivos, podem afetar ecossistemas inteiros em tal grau que seus ciclos naturais começam a quebrar. Um exemplo desse fenômeno é a desertificação, na qual os solos perdem sua qualidade ao ponto de não permitirem mais agricultura e, como consequência, aceleram-se ainda mais os movimentos demográficos de fuga do campo e há o aumento de pessoas nos grandes centros urbanos, provocando outro conjunto de problemas ambientais e sociais (LITTLE, 2001).

Diante disso, pode-se afirmar que o solo desempenha um papel fundamental para a vida humana, pois é com ajuda do mesmo que são produzidos os vegetais, dos quais a humanidade depende direta ou indiretamente (CARNEIRO, 2010). Esse mesmo autor ressalva que a utilização desse recurso natural deve ser pautada em práticas que visem à minimização ou mesmo o impedimento de sua degradação e que mantenham sua qualidade.

O uso do solo de maneira racional e adequada representa fator imprescindível para a obtenção de resultados satisfatórios nos empreendimentos agrícolas, o que torna necessário conhecer as características do solo: intrínsecas e extrínsecas, as quais fornecerão subsídios para avaliação do comportamento do solo, quando submetido a diferentes tipos de exploração (SOUZA, 1997).

Há cerca de trinta mil anos, os homens primitivos identificavam os diferentes tipos de solos a partir da constatação de que alguns forneciam melhores frutos, as melhores matérias-primas e de variadas cores para suas pinturas ou confecções dos objetos e nenhum outro conhecimento adicional era necessário (LEPSCH, 2010).

No Brasil, é possível identificar tipos de solos expressivamente distintos, devido à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados que condicionam distintos processos formadores dos solos (COELHO et al., 2002). Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos em vigor (EMBRAPA, 2013), ocorrem treze classes de solo no primeiro nível categórico (ordens), com menor ou com maior grau de intemperismo. Então, é de suma importância conhecer os solos para melhor manejá-los por meio da

otimização da aplicação de práticas agronômicas sustentáveis, bem como executar planejamento de uso das terras por meio de zoneamentos (EMBRAPA, 2013).

A classe dos Latossolos é a mais representativa, pois os mesmos se encontram amplamente distribuídos pelo Brasil (Figura 1), ocupando cerca de um terço da superfície do território nacional e ocorrendo praticamente em todas regiões do país sob diferentes condições climáticas, relevo e material de origem (KER, 1997). Os Latossolos ocupam cerca de 38,73% da área total do Brasil, 56,30% da área total da região Sudeste brasileira (COELHO et al., 2002) e 40,19% da área total do Estado de São Paulo, como mostra a Figura 2 (SILVA; ALVARES, 2005).

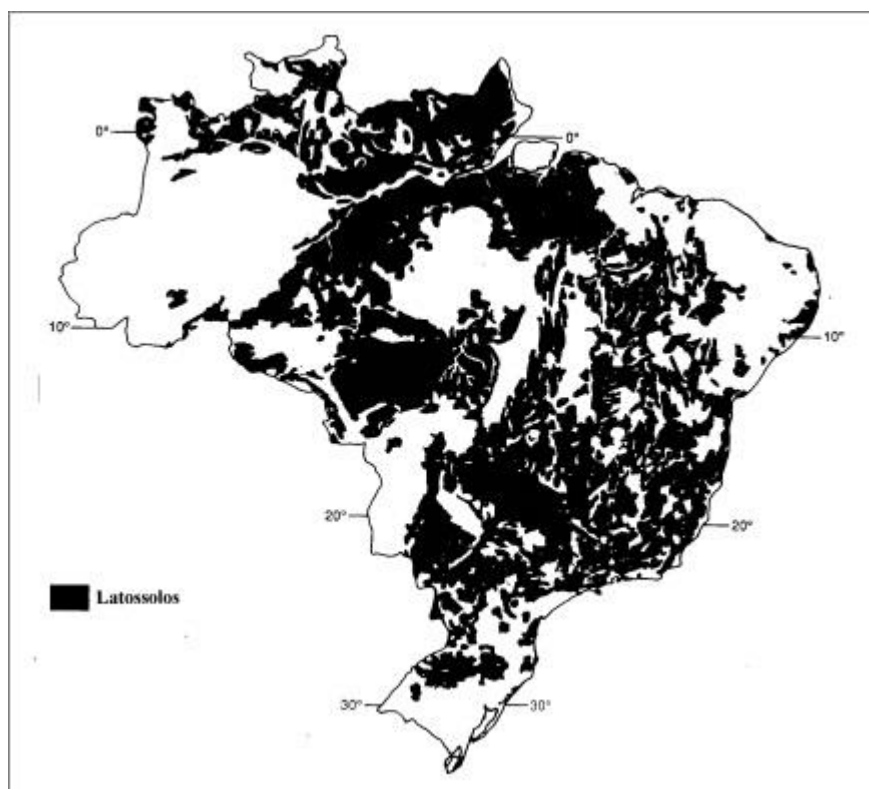


Figura 1. Distribuição das áreas de ocorrência de Latossolos no Brasil. Fonte: Camargo et al. (1986) citado por Ker (1997).

Os Latossolos são formados pelo processo denominado latolização que consiste basicamente na remoção da sílica (SiO_2) e das bases trocáveis do perfil (cálcio, magnésio e potássio), após a transformação dos minerais primários constituintes (SOUZA; LOBATO, 2007). Ainda para esses autores, a latolização causa o enriquecimento por óxidos de ferro e de alumínio, que são agentes agregantes.

Nos Latossolos, na fração argila, predominam minerais nos últimos estádios de intemperismo (caulinítas e óxidos de ferro e alumínio), sendo a fração areia dominada por minerais altamente resistentes ao intemperismo. São de textura variável: de média à muito argilosa, geralmente são muito profundos, porosos, macios e permeáveis, apresentando pequena diferença no teor de argila em profundidade e, comumente, são de baixa fertilidade natural (COELHO et al., 2002).

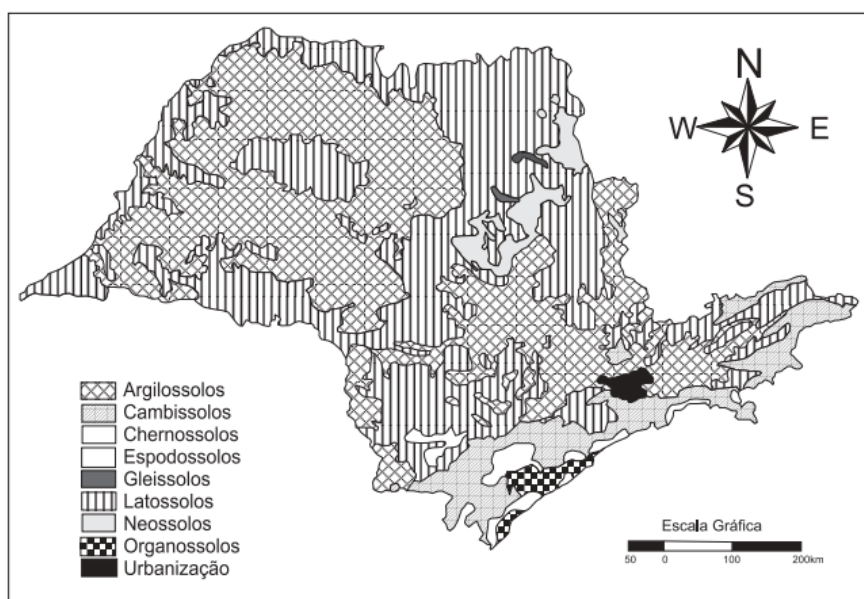


Figura 2. Mapa pedológico do Estado de São Paulo. Fonte: Oliveira et al. (1999).

Nessa classe de solos, são definidos quatro tipos de Latossolos, que se diferenciam, dentre vários outros atributos: pela sua cor, fertilidade natural, pelo teor de óxidos de ferro e pela textura (COELHO et al., 2002; SOUZA; LOBATO, 2007). Por sua expressão e situação geográfica, condição de relevo, entre outros aspectos, os Latossolos constituem a classe de solo de maior utilização agrícola no país (KER, 1997) e, diante disso, é imprescindível conhecermos os fatores limitantes para o seu uso agrícola.

Os fatores limitantes que os Latossolos apresentam para o uso agrícola são: a baixa fertilidade - valores de soma de bases na maioria são bastante baixos, variando de 0,2 a 3,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, os teores de fósforo disponíveis são extremamente baixos, em torno de 2 mg kg^{-1} , quando comparados com o nível crítico de 12 mg kg^{-1} para solos argilosos (OLIVEIRA, 2009). Os Latossolos de textura média, com teores

elevados de areia, assemelham-se aos Neossolos e, por isso, são muito suscetíveis à erosão e, além da grande percolação de água no perfil, associada à baixa capacidade de troca de cátions, pode provocar lixiviação de nutrientes (SOUZA; LOBATO, 2007).

Sobre os Latossolos argilosos, Souza e Lobato (2007) afirmam que o cuidado com a erosão é pertinente, pois a estrutura forte, muito pequena e granular, faz com que apresentem comportamento semelhante aos solos arenosos e, além disso, quando os Latossolos de textura argilosa a muito argilosa sofrem intensa mecanização, pode ocorrer redução da porosidade, com consequente formação de camada compactada, e isso dificulta o enraizamento das plantas e a infiltração de água. Também as doses excessivas de corretivos podem provocar a dispersão da argila, que, por sua vez, pode obstruir os poros do solo.

Outro importante fator que é atribuído principalmente aos Latossolos é alta capacidade de adsorção de fósforo. Segundo Ker (1997), a adsorção tende a aumentar com os teores de argila, goethita e gibbsita no solo, sendo que essa adsorção é rápida e, uma vez adsorvida, sua dessorção se torna tão mais difícil quanto maiores os teores de goethita e gibbsita.

Sabendo que é necessário compreender o comportamento desses solos, a principal finalidade da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo adaptados às condições edafoclimáticas, sociais e culturais e, do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo (COSTA et al., 2003).

Portanto, a relação entre a qualidade do solo e a sustentabilidade agrícola consiste na produção de alimentos e fibras em um solo capaz de cumprir suas funções, em um processo de produção ambiental seguro, economicamente viável e socialmente aceito (MAIA, 2013).

Qualidade do solo

O preparo do solo é uma operação básica de manejo do solo e tem como função proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento de plantas cultivadas, eliminar plantas invasoras e manejar restos culturais, aumentando a porosidade total

na camada preparada (SOUZA; ALVES, 2003). Quando o preparo do solo é executado em condições inadequadas de umidade e com excessiva intensidade, porém, o principal efeito é observado na perda da qualidade estrutural do solo (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Em razão do aumento das atividades antrópicas, o uso de forma sustentável de recursos naturais, como o solo e a água, tem-se tornado um tema de grande importância e, conseqüentemente, aumenta-se a preocupação com o uso sustentável e a qualidade desses recursos (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

No início dos anos 1990, a discussão sobre a qualidade do solo intensificou-se e a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental, começou a abordar, nas publicações, a preocupação com a degradação dos recursos naturais, a sustentabilidade agrícola e a função do solo nesse contexto (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A definição de qualidade do solo não deve ser limitada somente à produtividade que o solo possa fornecer, mas deve abranger a qualidade ambiental, a saúde humana e animal, a segurança e a qualidade alimentar (DORAN; PARKIN, 1994). Várias propostas de formas e fórmulas para avaliar a qualidade do solo surgiram e estão relacionadas com a área de concentração dos pesquisadores (VEZZANI, 2001).

Para Doran e Parkin (1994), a qualidade do solo pode ser medida quantificando alguns dos atributos do solo que servem como sinais iniciais de degradação, por exemplo, os que estão relacionados aos atributos físicos, químicos e biológicos que possibilitam o monitoramento das mudanças com o manejo do solo, a médio e longo prazo.

Pesquisadores brasileiros da ciência do solo estão buscando indicadores mais adequados para avaliar a qualidade nas condições brasileiras e propuseram a avaliação de atributos físicos, químicos e biológicos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), sendo que a qualidade física do solo é a considerada a mais importante para avaliar o grau de degradação ou para apontar as práticas de uso sustentável, por ter grandes efeitos sobre os processos biológicos e químicos do solo (STRECK et al., 2008).

Segundo Chaer e Totola (2007), para avaliar a qualidade do solo, indicadores químicos, físicos e biológicos são ferramentas que devem ser identificadas e analisados, porque permitem a obtenção de informações quanto à sua sensibilidade

a mudanças e quanto aos distúrbios causados pelo manejo. Isso significa que, quando definidos, podem ser monitorados de forma a avaliar o impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo em médio e longo prazo.

Alguns indicadores de qualidade química do solo são amplamente utilizados para medir o efeito dos manejos de solo adotados, como por exemplo a disponibilidade de nutrientes, a quantidade de matéria orgânica total e lábil, o pH do solo, a condutividade elétrica e os teores de metais pesados no solo.

São várias as práticas de manejo de solos e de culturas recomendadas para minimizar os impactos da ação antrópica no solo, tais como: o cultivo mínimo, o plantio direto, a adubação verde, a consorciação de culturas, a rotação de culturas, adubação orgânica, dentre outras (ANDREOLA et al., 2000). A adubação orgânica utilizando resíduos orgânicos originários das atividades humana nos centros urbanos, como o lodo de esgoto, é uma alternativa.

O alto conteúdo de matéria orgânica faz do lodo de esgoto um condicionador de solo que promove um incremento na qualidade do solo, principalmente quando se trata das regiões tropicais, cujos solos são muito intemperizados, com predomínio na fração argila de óxidos de ferro e alumínio e caulinita que possuem baixa capacidade de troca de cátions (NASCIMENTO et al., 2014).

Os elevados teores de matéria orgânica contida no lodo de esgoto contribuem para o aumento na capacidade de troca de cátions e, consequentemente, permite um maior armazenamento de elementos catiônicos, sendo esse um importante parâmetro na avaliação da recuperação de um solo degradado, ou seja, o impacto na qualidade do solo, indicado pela capacidade de troca de cátions, com a adição de lodo, pôde ser evidenciado pelo acréscimo de 28,7 para 44,9 mmol_c dm⁻³ no período de um ano de observação (COLODRO; ESPINDOLA, 2006).

Lodo de esgoto como adubo orgânico do solo

O aumento da população brasileira vivendo em centros urbanos é um indicativo da necessidade do aumento da eficiência das áreas agrícolas na produção de alimentos, e essa mesma população urbana produz diariamente grandes quantidades de dejetos que, em escala variada, são coletadas pelo sistema de esgoto sanitário das cidades (CHUEIRI et al., 2007).

Toda e qualquer atividade humana leva, inevitavelmente, à produção de resíduos e com o tratamento de esgoto doméstico não seria diferente. O tratamento adequado do esgoto resulta em águas residuais com baixa carga poluidora e um resíduo, denominado de lodo de esgoto ou biossólido, composto por matéria orgânica, nutrientes para as plantas e alguns elementos potencialmente tóxicos (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004; SINGH; AGRAWAL, 2008). Galdos, Maria e Camargo (2004) afirmam, porém, que a disposição final adequada desses resíduos é um dos principais desafios a serem enfrentados pelos gestores ambientais.

A destinação adequada dos resíduos é um fator fundamental para que os objetivos de um sistema de tratamento sejam plenamente alcançados e, diante disso, a aplicação do lodo de esgoto em terras agrícolas tem-se tornado cada vez mais atraente, devido aos benefícios que as propriedades do resíduo podem proporcionar (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004; ANTOLÍN et al., 2005). Dentre os vários benefícios, substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais (NASCIMENTO et al., 2004). Segundo Singh e Agrawal (2007), o uso do LE na agricultura é uma prática mundial e é uma técnica de disposição do resíduo muito eficaz.

A utilização do lodo de esgoto na agricultura, com intuito de explorar o seu potencial para fornecer nutrientes e melhorar as condições físicas dos solos e, assim, promover o crescimento de plantas, é uma alternativa para o produtor que pode obter aumento de produtividade das culturas (NAVAS; BERMÚDEZ; MACHÍN, 1998). Além disso, essa é uma alternativa de método adequado e mais econômico de disposição final para os geradores de lodo de esgoto (GUEDES et al., 2006).

O uso do lodo de esgoto no solo influencia diferentes atributos do solo (DEBOSZ et al., 2002), e a disposição final do lodo de esgoto nos solos agrícolas é o bom emprego do conceito de devolver ao solo resíduos orgânicos, nitrogênio e nutrientes de planta que foram exportados para os centros urbanos com os produtos das colheitas (CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2008). A utilização desse material orgânico na agricultura, entretanto, não está isenta de problemas, por isso é necessário o conhecimento das características do lodo de esgoto, solo, vegetação e do clima do local onde será aplicado (SILVA et al., 1998).

Embora existam os benefícios da aplicação do lodo de esgoto, algumas características podem impedir o seu uso agrícola (NASCIMENTO et al., 2014). Entre

elas, está o fato de que muito raramente os sistemas de esgotos urbanos transportam apenas esgotos domésticos para as Estações de Tratamento de Esgoto, pois também são descarregados efluentes industriais e as águas pluviais que escoam das estradas e, assim, o lodo de esgoto pode conter muitos materiais tóxicos, além do orgânico (SINGH; AGRAWAL, 2008). Segundo Samaras et al. (2008), o lodo de esgoto pode conter compostos que podem afetar negativamente as propriedades do solo.

No geral, o lodo de esgoto apresenta em sua composição metais pesados, como cádmio, cromo, cobre, níquel, chumbo, ferro, cobalto, manganês, molibdênio, mercúrio, selênio, zinco, microrganismos patogênicos e compostos orgânicos tóxicos, representando, portanto, riscos diretos ou indiretos à saúde humana e animal, e a concentração dos metais pesados e dos microrganismos, dependeram da origem do lodo de esgoto.

Os resultados de Jamali et al. (2009) mostraram que as frações disponíveis de metais, no solo adubado com lodo de esgoto, aumentaram as formas de metais totais e disponíveis e podem causar fitotoxicidade na agricultura. Segundo Petersen et al. (2003), existe o interesse ambiental dos contaminantes em resíduos orgânicos aplicados ao solo, incluindo o potencial para a absorção de plantas, e esse é motivo de preocupação.

O acúmulo de metais pesados no solo, em função de aplicações sucessivas de lodo de esgoto, é um dos aspectos que causa preocupação com relação à segurança ambiental necessária para a viabilização do uso do lodo de esgoto na agricultura (RANGEL et al., 2004). Sendo assim, surgiu a legislação, norma P 4230, que estabelece limites quanto à quantidade do resíduo que pode ser aplicada nos solos do estado de São Paulo, baseando-se, principalmente, nos teores de metais pesados, o que se fundamenta em legislação americana (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004).

A utilização contínua do lodo de esgoto na agricultura adotando somente os critérios estabelecidos nas legislações, não é garantia de segurança, por isso é imprescindível o monitoramento periódico do solo (RANGEL et al., 2004). Os mesmos autores afirmam que, estudos a campo, por longo prazo, para fornecer informações para a elaboração de normas que padronizem o uso do lodo de esgoto, são escassos nas condições de clima e solos do Brasil, onde existe um grande potencial para se

utilizar o resíduo em áreas agrícolas, em razão de nossos solos apresentarem baixa reserva de nutrientes e reação ácida.

Diante disso, diversos trabalhos têm mostrado os benefícios do lodo de esgoto para espécies cultivadas e para atributos químicos, físicos e biológicos do solo, porque a aplicação desse resíduo aumenta os teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, além de diminuir o pH do solo. Segundo Colodro e Espíndola (2006), o lodo de esgoto promoveu aumento significativo nos principais atributos químicos, como o fósforo, o potássio, o magnésio, a matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions. Apesar disso, pode acontecer o aumento de alumínio e a acidez potencial (SIMONETE et al., 2003).

O lodo de esgoto é um material predominantemente de origem orgânica e pode ser caracterizado como fonte de nutrientes, em razão da sua composição em nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (BEZERRA et al., 2006), além de ser um condicionador de solo de baixo custo (PETERSEN et al., 2003). Segundo Wang et al. (2008), Navas, Bermúdez e Machín (1998), o lodo de esgoto tem efeito fertilizante, porque é possível constatar, na cultura da cevada adubada com o resíduo, o maior número de espigas, maior altura de plantas e o rendimento de biomassa com o aumento de dose de lodo de esgoto aplicado no solo, além de contribuir para melhorar os atributos microbiológicos e bioquímicos do solo (ANTOLÍN et al., 2005).

Embora sejam constatados os benefícios supracitados, mais pesquisas são necessárias para determinar a dose de lodo de esgoto adequada, de forma a proporcionar o melhor desenvolvimento de plantas, com menor risco de contaminação do solo e das plantas, principalmente em aplicações a longo prazo. Antolín et al. (2005) constataram, por exemplo, que o aumento significativo das concentrações de metais pesados em grãos de cevada, em aplicações do resíduo em três anos seguidos.

Fósforo no solo

Como já foi ressaltado neste trabalho, o esgoto doméstico, quando tratado nas Estações de Tratamento de Esgoto, gera um resíduo que recebe o nome de lodo de esgoto ou biossólido, com características que permitem sua utilização agrícola, por conter nutrientes como o nitrogênio, fósforo e micronutrientes e, então, o biossólido

pode servir como um complemento da adubação, podendo reduzir a utilização de fertilizantes químicos e o custo da adubação (BARBOSA; TAVARES FILHO, 2006).

Em relação ao fósforo, o solo pode ser considerado como fonte ou dreno do mesmo, mas isso vai depender das características desse elemento e do grau de intemperismo (PAVINATO; ROSELEM, 2008). Ainda para esses autores, em solos tropicais e subtropicais (solos-dreno), o fósforo encontra-se em concentrações muito baixas na solução, sendo limitante para o cultivo de plantas comerciais. Já em solos de menor grau de intemperismo, o fósforo pode ser fornecido às plantas, por meio do intemperismo dos fosfatos primários das rochas.

O nutriente fósforo é dividido de acordo com a facilidade de reposição na solução do solo e, independentemente da sua natureza química, as formas desse macronutriente têm diferentes capacidades de dessorção e reposição na solução do solo, que é composta, segundo sua natureza química por: fósforo orgânico diéster, fósforo orgânico monoéster, fósforo inorgânico em ligações com ferro, alumínio, cálcio, argilas silicatas e óxidos e a energia de ligação a outros íons ou moléculas: monodentadas, bidentadas e bionucleadas (GATIBONI et al., 2007).

O conhecimento da natureza e distribuição dos teores de fósforo no solo é útil, pois pode fornecer informações importantes no processo de avaliação da disponibilidade na solução do solo e também pode auxiliar na avaliação da dinâmica desse elemento no solo, em função da ação antrópica.

Em solos com grande quantidade de argilominerais e óxidos, a adsorção de fósforo é maior e para o atendimento da exigência das culturas, os níveis de adubação fosfatada são mais elevados do que em solos arenosos. A constituição mineralógica é outra característica que tem papel importante na adsorção de fósforo pelos solos, o que se justifica pela peculiaridade da energia de ligação entre o fósforo e cada fração adsorvente (MOTTA et al., 2002).

Diante disso, foi proposto por Kovar e Pierzynski (2009) o fracionamento de fósforo por meio do qual são determinadas as frações: fósforo orgânico lábil, extraído com solução de NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} pH 8,5; fósforo orgânico moderadamente lábil, extraído com solução de HCl 1,0 mol L^{-1} ; fósforo orgânico moderadamente resistente, extraído com solução de NaOH 0,5 mol L^{-1} , que contém fósforo ácidos fúlvicos + fósforo ácidos húmicos (o fósforo orgânico é determinado no extrato e, após

acidificação para precipitação dos ácidos húmicos, no sobrenadante, de modo que o fósforo ácidos húmicos é obtido por diferença); e fósforo orgânico não lábil, determinado por incineração.

Os sistemas de cultivo e a forma de adubação também influenciam o comportamento dos nutrientes do solo. Nos sistemas de cultivo e na forma de adubação que possibilita o acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, é bem e provável que ocorreria o aumento na disponibilidade de nutrientes nessas camadas.

O balanço entre a riqueza da rocha de origem e o grau de desenvolvimento pedogenético determina o grau de empobrecimento do solo, combinado com o efeito do manejo, ocasionando diferenças na magnitude das formas de fósforo encontradas nos Latossolos estudados por Motta et al. (2002), ou seja, as formas pouco lábeis de fósforo predominaram nos Latossolos estudados, com destaque para as orgânicas associadas a compostos húmicos nos não cultivados, e as inorgânicas ligadas a ferro e alumínio nos cultivados.

Em solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, as formas orgânicas de fósforo são as principais responsáveis pelo fornecimento desse nutriente às plantas (GATIBONI et al., 2007). O caso do solo adubado com lodo de esgoto resulta em aumento dos teores de fósforo e de matéria orgânica (COSTA et al., 2014). Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 1980), o lodo de esgoto típico possui 2% de fósforo e 25% de carbono.

Em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico argiloso, adubado com as doses de 54, 108 e 216 t ha⁻¹ de lodo de esgoto úmido com e sem calcário (1 t ha⁻¹), apresentam-se maiores teores de fósforo do que nos tratamentos com dose de 115, 230 e 460 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato triplo) com e sem calcário, ou seja, a eficiência do lodo de esgoto como fonte fósforo ao milho foi superior em 25% à do superfosfato triplo (SILVA; RESCK; SHARMA, 2002).

A aplicação constante de adubo orgânico, a exsudação radicular e o metabolismo dos microrganismos, como fontes naturais de reposição de ácidos orgânicos no solo, podem manter o processo de bloqueio dos sítios de adsorção de fósforo de maneira mais contínua. Isso, no entanto, vai depender do tipo de ácido orgânico produzido, das características de cada solo e da efetividade de complexação

do ácido orgânico produzido. É importante lembrar que os ácidos orgânicos de alta massa molecular (ácidos húmicos e fúlvicos) persistem por mais tempo no solo e são mais efetivos na complexação de elementos tóxicos, como o alumínio, portanto esses compostos podem ser mais importantes que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular na inibição da adsorção de fósforo no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Para Souza et al. (2006), a adoção de sistemas de manejo do solo, com intuito de aumentar o teor de matéria orgânica, o pH do solo e a atividade dos microrganismos do solo, pode interferir no processo de adsorção do fósforo, porque os grupos funcionais carboxílicos e fenólicos da matéria orgânica são responsáveis pelo bloqueio dos sítios de carga positiva dos óxidos de ferro e alumínio. Ainda para os mesmos autores, a elevação do pH do solo, por meio da calagem, eleva a produção de hidroxilas e promove a precipitação de ferro e alumínio trocáveis, reduzindo a precipitação de fósforo com esses dois metais.

Sendo assim, a caracterização do fósforo orgânico é de importância fundamental à compreensão do ciclo do fósforo em solos de avançado estágio de intemperismo. Por essa razão, conhecer a capacidade que o solo tem de disponibilizar fósforo para as plantas pode ajudar a definir melhor o manejo e a forma de adubação do solo.

Referências

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e, ou, mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 867-874, 2000.

ANTOLÍN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCÍA, C.; POLO, A.; SÁNCHEZ-DÍAS, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 94, n. 2-3, p. 224-237, 2005.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

CARNEIRO, S. P. **Qualidade de um Latossolo Vermelho sob diferentes tipos de usos e manejos em área do cerrado**. 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CARPENEDO, V., MIELNICKZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de LATOSSOLOS ROXOS, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

CHAER, G. M.; TOTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, 2007.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, 2008.

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 1-11.

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um Latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527-535, 2003.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L. K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v. 19, n. 3, p. 237-248, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21. (SSSA Special Publication, 35).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em Latossolo Vermelho eutroférrico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004.

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

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. New York: Academic Press, 2003. p. 494.

JAMALI, M. K.; KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; AFRIDI, H. I.; JALBANI, N.; KANDHRO, G. A.; SHAS, A. Q.; BAIG, J. A. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 2-3, p. 1386-1391, 2009.

KER, J. C. Latossolos do Brasil: Uma revisão. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 17-40, 1997.

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

LEPSCH, I. F. O recurso solo. In: _____. (Ed.). **Formação e conservação do solo**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 10-28.

LITTLE, P. E. Os conflitos socioambientais: um campo de estudo e de ação política. In: BARTHOLO JR., R.; MOTA, C. R.; BERNARDO, M.; KLINK, C. A.; NASCIMENTO, E. P.; LITTLE, P. E.; DRUMMOND, J. A.; FROTA, I.; VIANNA, J. N. S. **A difícil sustentabilidade: política energética e conflitos ambientais**. Rio de Janeiro: Editora Garamond Ltda, 2001. Cap. 7, p. 107-122.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 603-609, 2013.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: influência da mineralogia e histórico de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.

MUGGLER, C. C.; SOBRINHO, F. A. P.; MACHADO, V. A. Educação em solos: Princípios, teoria e métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 733-740, 2006.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; FERNANDES, L. A.; CRUZ, S. F.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N. Atributos químicos do solo adubado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, n. 87, n. 1-2, p. 123-135, 1998.

OLIVEIRA, G. C. Solos dos cerrados. In: _____. (Ed.). **Solos da região dos cerrados: Reconhecimento na paisagem, potencialidades e limitações para uso agrícola**. Lavras: UFLA, 2009. cap. 8, p. 23-41.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas; Rio de Janeiro: EMBRAPA – Solos, 1999. 64 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PETERSEN, S. O.; HENRIKSEN, K.; MORTENSEN, G. K.; KROGH, P. H.; BRANDT, K. K.; SORENSEN, J.; MADSEN, T.; PETERSEN, J.; GRON, C. Recycling of sewage sludge and household compost to arable land: fate and effects of organic contaminants, and impact on soil fertility. **Soil & Tillage Research**, v. 72, n. 2, p. 139-152, 2003.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, 2004.

SAMARAS, P.; PAPADIMITRIOU, C. A.; HARITOU, I.; ZOUBOULIS, A. I. Investigation of sewage sludge stabilization potential by the addition of fly ash and lime. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1-2, p. 1052-1059, 2008.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco de dados sobre erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociência**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 1-8, 1998.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agrônômica para o bio sólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 487-495, 2002.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. **Chemosphere**, v. 67, n. 11, p. 2229-2240, 2007.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, n. 28, n. 2, p. 347-358, 2008.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental**. Brasília: CNPAF; CNPSo, 1994. 142 p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 45).

SOUZA, C. G. Solos – Potencialidade Agrícola. In: CALDEIRON, S. S. **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 1997, p. 75-109.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Latossolos. In: **Bioma Cerrado**. EMBRAPA: Agência de Informação Embrapa, 2007.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: Influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um LATOSSOLO VERMELHO de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2003.

STRECK, C. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, número especial, p. 2603-2612, 2008.

USDA - United States Department of Agriculture. **Report and Recommendations on organic farming**. Washington: US. Government, 1980. 94 p.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 196 f. Tese (Doutor Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

WANG, X.; CHEN, T.; GE, Y.; JIA, Y. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. **Journal of Hazardous Materials**, v. 160, n. 2-3, p. 554-558, 2008.

CAPÍTULO 2 – Indicadores de qualidade química dos Latossolos adubados com lodo de esgoto

RESUMO - O lodo de esgoto é um resíduo oriundo do tratamento de esgoto, composto por matéria orgânica e alguns nutrientes que promovem o crescimento de plantas, diante disso, o lodo de esgoto pode substituir ainda que parcialmente os fertilizantes químicos. O objetivo foi avaliar as alterações dos atributos químicos indicadores de qualidade do solo em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, adubados com dose crescente de lodo de esgoto. O experimento foi instalado em condições de campo em Jaboticabal-SP, no ano agrícola 1997/1998. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: 0 (controle, fertilização mineral), 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca). O lodo de esgoto foi aplicado a lanço nas parcelas, com a umidade de 5% e foi distribuído uniformemente na área total das parcelas, incorporado por meio de gradagem leve na camada de 0 a 0,1 m de profundidade. Após um ano da aplicação do lodo de esgoto, no ano agrícola 2013/2014, as amostras deformadas de solo foram coletadas na área útil da parcela, na camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. A partir das amostras de terra fina seca ao ar, foram realizadas as análises químicas: fósforo resina, matéria orgânica, pH em CaCl₂, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, acidez trocável, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados mostram que a adição de dose crescente de lodo de esgoto influenciou os atributos químicos dos LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico nas duas camadas avaliadas. Nos dois Latossolos, os coeficientes de variação foram classificados como baixos a muito altos, entre 2,74 e 241,17%. Nos dois Latossolos, a adição do lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo resina e a matéria orgânica do solo nas duas camadas analisadas. O aumento do fósforo no solo se deve à contribuição desse elemento com a adição de lodo de esgoto, ou seja, as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, incorporadas nas camadas de 0-0,1 m dos Latossolos, contribuíram com 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O lodo de esgoto não altera a quantidade de potássio no solo em função da dose aplicada, possivelmente porque o resíduo tem baixo teor em sua composição. O uso do lodo de esgoto em solos agrícolas aumenta as concentrações de micronutrientes. Foi constatado que concentrações de micronutrientes não atingiram os níveis fitotóxicos, possivelmente, isso pode estar relacionado pelas baixas concentrações desses elementos no lodo de esgoto. Ocorreu o incremento de fósforo e matéria orgânica do solo em função do aumento da dose de lodo de esgoto tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos. O aumento da dose de lodo de esgoto proporcionou incremento nos teores dos micronutrientes boro, cobre, ferro e zinco nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m nos dois Latossolos. A dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou teores altos de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro e zinco no solo tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos.

Palavras-chave: doses, elementos traços, fertilidade do solo, resíduos

Indicators of chemical quality of Oxisols fertilized with sewage sludge

ABSTRACT - Sewage sludge is a residue from the treatment of sewage, composed of organic matter and some nutrients that promote the growth of plants. In view of this, sewage sludge can even partially replace chemical fertilizers. The objective was to evaluate the alterations of chemical attributes of soil quality indicators in a Eutrophic Red Latosol and Dystrophic Red Latosol, fertilized with increasing dose of sewage sludge. The experiment was installed in field conditions in Jaboticabal-SP, in the agricultural year 1997/1998. The experimental design was a randomized block with four treatments and five replicates. The treatments were: 0 (control, mineral fertilization), 5, 10 and 20 t ha⁻¹ of sewage sludge (dry basis). The sewage sludge was applied to haul in the plots, with 5% moisture and was evenly distributed in the total plots area, incorporated by means of light harrowing in the 0 to 0.1 m depth layer. After one year of sewage sludge application, in the agricultural year 2013/2014, the deformed soil samples were collected in the plot area, in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layer. Phosphorus resin, organic matter, pH in CaCl₂, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, exchangeable acidity, sulfur, boron, copper, iron, manganese and zinc were analyzed. The results were submitted to analysis of variance by the F test and, when significant, the averages were compared by the Tukey test at 5% probability. The results show that the addition of increasing dose of sewage sludge influenced the chemical attributes of both the Eutrophic Red Latosol and the Dystrophic Red Latosol in the two layers evaluated. In the two Oxisols, the coefficients of variation were classified as low to very high, between 2.74 and 241.17%. In both Latosols, the addition of sewage sludge contributed to increase the resin phosphorus and soil organic matter in the two layers analyzed. The increase of phosphorus in the soil is due to the contribution of this element with the addition of sewage sludge, that is, the doses of 5, 10 and 20 t ha⁻¹ of sewage sludge, incorporated in the layers of 0-0,1 m of the Oxisols, contributed with 100, 200 and 400 kg ha⁻¹ of P₂O₅. Sewage sludge does not alter the amount of potassium in the soil as a function of the applied dose, possibly because the residue is low in composition. The use of sewage sludge in agricultural soils increases micronutrient concentrations. It was found that micronutrient concentrations did not reach the phytotoxic levels, possibly, this may be related to the low concentrations of these elements in the sewage sludge. The increase of phosphorus and organic matter of the soil occurred due to the increase of the dose of sewage sludge in both the 0-0.1 m layer and the 0.1-0.2 m layer in the Oxisols. Increasing the dose of sewage sludge provided an increase in the boron, copper, iron and zinc micronutrient contents in the 0-0,1 and 0,1-0,2 m layers in the two Oxisols. The dose of 5 t ha⁻¹ of sewage sludge presented high levels of potassium, calcium, magnesium, sulfur, copper, iron and zinc in the soil in both the 0-0,1 m layer and the 0,1-0,2 m in the Oxisols.

Keywords: doses, trace elements, soil fertility, residues

Introdução

A utilização de lodo de esgoto em solos agrícolas é uma prática popularmente convencional nos países desenvolvidos e é uma alternativa particularmente conveniente às regiões com agricultura, as quais possuem extensas áreas com solos de baixa fertilidade e de baixos níveis de matéria orgânica (REI et al., 2009). Por essa razão, a dinâmica da matéria orgânica do solo é de extrema importância para os sistemas agropecuários.

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes para as plantas, então pode ser recomendada a sua aplicação como condicionador de solo e/ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006 a), pois apresenta condições de promover o incremento na qualidade do solo em recuperação, no que diz respeito ao aumento significativo nas suas principais características químicas, como o fósforo, o potássio, o magnésio, a matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions (COLODRO; ESPINDOLA, 2006).

A atuação condicionadora de solo do lodo de esgoto se torna mais importante, principalmente considerando seu uso em regiões tropicais, cujos solos se apresentam geralmente em estágio avançado de intemperismo, com predomínio, na fração argila, de óxidos de ferro e alumínio e caulinita que possuem baixa capacidade de troca catiônica (NASCIMENTO et al., 2014).

O lodo de esgoto é fonte de fósforo e também tem condições de agir diminuindo a adsorção do elemento em solos, por conter elevado teor de matéria orgânica que pode fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelos sítios de adsorção, podendo assim aumentar a disponibilidade desse nutriente na solução solo (HUE, 1995).

Cada lodo de esgoto que é gerado pelas Estações de Tratamento de Esgoto, apresenta composição química muito variada e, por isso, deve ser avaliado quanto ao seu valor agrônômico e aos potenciais impactos de sua aplicação sobre os atributos do solo, para que atenda aos critérios técnicos e de segurança à saúde e ao ambiente, estabelecidos para o uso agrícola de resíduo (BETTIOL; CAMARGO, 2006 b).

O lodo de esgoto é rico em material orgânico e nutrientes de plantas, e a aplicação desse resíduo promove o incremento nos atributos químicos do solo. Diante disso, o objetivo foi avaliar as alterações dos atributos químicos indicadores de

qualidade do solo em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, adubados com dose crescente de lodo de esgoto.

Material e métodos

Descrição das áreas experimentais

Os experimentos foram realizados em dois Latossolos e em condições de campo na área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, tendo início no ano agrícola 1997/1998. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, clima tropical, com estação seca de inverno (VOLPE; CUNHA, 2008).

O solo da área experimental localizada nas coordenadas geográficas 21° 14' 46,81" S e 48° 17' 07,85" W, a uma altitude de 550 m, é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico-oxídico e o solo da área localizada nas coordenadas geográficas: latitude 21° 13' 57,96" S e longitude 48° 17' 06,18" W, a uma altitude de 620 m, é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado caulínítico (EMBRAPA, 2013).

A Tabela 1 apresenta os valores médios da composição granulométrica e os teores médios de óxido de ferro e de alumínio dos Latossolos, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Tabela 1. Valores médios da composição granulométrica e de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3) nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m dos Latossolos.

Camada (m)	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico					LATOSSOLO VERMELHO Distrófico				
	Argila	Silte	Areia	Fe_2O_3	Al_2O_3	Argila	Silte	Areia	Fe_2O_3	Al_2O_3
	-----g kg ⁻¹ -----			-----%-----		-----g kg ⁻¹ -----			-----%-----	
0-0,1	530,17	276,03	193,80	14	39	284,30	69,60	646,10	5	16
0,1-0,2	538,17	270,18	191,65	14	39	299,35	68,10	632,55	6	19

Os Latossolos são de grande ocorrência na região e em todo o Estado de São Paulo e, em geral, o material geológico é constituído por arenitos do Grupo Bauru, Formação Adamantina e por basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1981).

Histórico da área experimental

Os experimentos foram instalados em novembro do ano agrícola de 1997/1998, e as doses de lodo de esgoto aplicadas (base seca) foram: 0 (controle), 2,5, 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. A dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto foi estabelecida para fornecer a quantidade de nitrogênio exigido pela planta do milho, admitindo-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo seria disponibilizado para a cultura.

A partir do segundo ano, as parcelas com o tratamento dose de 0 t ha⁻¹ ou controle passaram a ser adubadas com fertilizantes mineral simples, de acordo com a análise do solo e as recomendações de Raij et al. (1997). Do quarto ano (ano agrícola 2000/2001) em diante, as parcelas com o tratamento 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto passaram a ser adubadas com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

A partir do ano agrícola 2000/2001, nas parcelas com tratamento com dose de lodo de esgoto, também passou a ser feita a aplicação de fertilizantes químicos simples, de acordo com análise de solo e as recomendações de Raij et al. (1997), de modo que as parcelas recebessem as mesmas quantidades de potássio e, assim, pudesse atender as exigências nutricionais das culturas plantadas durante os dezessete anos de experimentação (Tabela 2).

Tabela 2. Culturas plantadas nos Latossolos e origem do lodo de esgoto usado durante os 17 anos do experimento.

Ano agrícola	Cultura	Local
1997/1998 a 2001/2002	Milho	Barueri
2002/2003	Girassol	Barueri
2003/2004	Crotalária	Barueri
2004/2005	Milho	Barueri
2005/2006 a 2006/2007	Milho	Franca
2007/2008	Milho	Barueri
2008/2009	Girassol	Barueri
2009/2010 a 2013/2014	Milho	Monte Alto

O lodo de esgoto, aplicado como tratamento nas parcelas durante os dezessete anos de experimentação, foi obtido em diferentes Estações de Tratamento de Esgoto, operadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), conforme consta na Tabela 2.

Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram inicialmente instalados em novembro de 1997, adotando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais de 60 m² (6 m x 10 m) cada. Os tratamentos utilizados no ano agrícola 2013/2014 foram: 0 (controle, com fertilização mineral), 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca.

Dessa forma, os tratamentos em doses acumuladas no décimo sétimo ano agrícola foram: 0 (controle), 85, 170 e 287,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca. Sendo que, no tratamento controle, foi realizada a fertilização mineral, baseada na análise de fertilidade e nas recomendações de Raij et al. (1997).

Os tratamentos correspondentes às doses acumuladas de lodo de esgoto foram obtidos da seguinte forma: Dose de 85 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 17 anos x 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca; Dose de 170 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 17 anos x 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca; Dose 287,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 3 anos x 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 14 anos x 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca.

Caracterização do lodo de esgoto

A caracterização química do lodo de esgoto (Tabela 3), usado no décimo sétimo ano agrícola, foi realizada com uma amostra composta, formada por seis amostras simples, coletadas em diferentes pontos da massa do resíduo. A amostra inicialmente foi seca em estufa com circulação forçada de ar, a uma temperatura entre 60 - 70° C, até atingir massa constante. O lodo de esgoto seco foi submetido à moagem em macromoinho tipo Willey, dotado de peneira com 40 mesh e homogeneizado, sendo então devidamente acondicionado em saco de polietileno, identificado e armazenado em câmara seca até o momento das análises (ABNT, 2004).

A concentração de nitrogênio foi determinada pelo método de Kjeldahl (MELO, 1974); o fósforo, por espectrofotometria (MALAVOLTA et al., 1997); o potássio, por fotometria de chama (SARRUGE; HAAG, 1974); o enxofre, por turbidimetria (VITTI, 1989) e os demais elementos, por espectrofotometria de absorção atômica no extrato da digestão com HNO₃ + H₂O₂ + HCl segundo método 3050b (USEPA, 1996).

Tabela 3. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo sétimo ano e limites máximos permitidos.

Atributos químicos do lodo de esgoto	Teor	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto (mg kg ⁻¹)	Acumulo máximo pela aplicação de lodo de esgoto (kg ha ⁻¹) ¹
Macronutrientes (g kg ⁻¹)			
Nitrogênio	45,00	-	-
Fósforo	20,00	-	-
Potássio	2,50	-	-
Cálcio	20,10	-	-
Magnésio	1,33	-	-
Enxofre	2,38	-	-
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)			
Boro	51,65	-	-
Cloro	1,14	-	-
Ferro	4100,00	-	-
Manganês	0,70	-	-
Zinco	0,50	7500	2800
Cobre	0,19	4300	1500
Molibdênio	1,77	75	50
Níquel	0,02	420	420
Elementos traços (mg kg ⁻¹)			
Cadmio	1,66	85	39
Cromo	0,05	-	1000
Chumbo	0,10	840	300
Bário	2,36	-	1300
Cobalto	15,04	-	-
Arsênio	4,50	75	41
Mercúrio	3,20	57	17
Selênio	<0,05	100	100

¹Resolução n° 375 (CONAMA, 2006).

Instalação e condução do experimento

No ano agrícola 2013/2014, o lodo de esgoto foi aplicado a lanço nas parcelas, com a umidade que chegou da Estação de Tratamento de Esgoto à 5%. O lodo de esgoto foi distribuído uniformemente na área total das parcelas, incorporado por meio de gradagem leve na camada de 0 a 0,1 m de profundidade. Após a aplicação do lodo de esgoto, as parcelas foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m, e o fertilizante mineral simples (sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio) foi aplicado no sulco de semeadura (Tabela 4).

O milho híbrido 2B710PW DOW foi semeado logo após a fertilização mineral. A semeadura do milho foi realizada com espaçamento entrelinhas de 0,90 m, com 7 a 8 sementes por metro linear. A adubação de cobertura foi realizada com fertilizante mineral simples (sulfato de amônio e cloreto de potássio), quarenta dias após o plantio da cultura do milho (Tabela 4).

Tabela 4. Adubação de plantio e de cobertura para a cultura do milho utilizando fertilizantes químicos simples no décimo sétimo ano agrícola.

Nutrientes	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	20
Adubação de plantio (kg ha ⁻¹)				
N	30	--	--	--
P ₂ O ₅	50	--	--	--
K ₂ O	50	36	22	--
Adubação de cobertura 40 dias após o plantio (kg ha ⁻¹)				
N	140	--	--	--
P ₂ O ₅	--	--	--	--
K ₂ O	40	40	40	40

N = sulfato de amônio (21% de N), P₂O₅ = superfosfato simples (18% de P₂O₅) e K₂O = cloreto de potássio (60% de K₂O).

Amostragem, preparo e análise química do solo

Após um ano da aplicação do lodo de esgoto, que foi realizada no agrícola 2013/2014, ou seja, na última quinzena de outubro do ano agrícola 2014/2015, foram coletadas as amostras de solo deformadas na área útil de 32 m² de cada parcela, na camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, com auxílio de trado do tipo holandês. A área útil foi determinada considerando bordadura, 1 m das extremidades da parcela.

Em cada parcela, foram coletadas vinte amostras simples e foram misturadas para formar uma amostra composta. As amostras compostas foram colocadas em embalagens de plástico, devidamente identificadas e enviadas para o laboratório. Ao chegar no laboratório, as amostras foram imediatamente colocadas para secar ao ar e à sombra, em cima de papel Kraft identificado, foram destorroadas, homogeneizadas, passadas em peneira de malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar e colocadas em caixas, armazenadas para posterior análises.

A partir das amostras de terra fina seca ao ar, foram realizadas as análises químicas utilizando os métodos descritos por Raij et al. (2001): fósforo resina, matéria orgânica, pH em CaCl₂, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, acidez trocável, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco.

Análise estatística dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade empregando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

Resultados e discussão

Os teores dos elementos químicos adicionados no solo com a aplicação do lodo de esgoto estão apresentados nas Tabelas de 5 a 8. As doses de lodo de esgoto influenciaram os atributos químicos dos LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, nas duas camadas avaliadas. A influência significativa da aplicação do lodo de esgoto nas concentrações de quase todas as variáveis analisadas por Bezerra et al. (2006) também foram constatadas em uma área de empréstimo (onde são escavados materiais para utilização na execução de aterros constituintes da plataforma da rodovia) a qual, antes da extração de material terroso para a construção, era coberta por LATOSSOLO AMARELO, originado de sedimentos argiloarenoso.

A influência da aplicação por dezessete anos consecutivos das doses de lodo de esgoto nos atributos químicos do solo corrobora com os resultados de Antolín et al. (2005), da forma como constaram que as aplicações de lodo de esgoto afetaram significativamente os atributos químicos do solo devido à adição de matéria orgânica. Segundo Singh e Agrawal (2007), o solo adubado com lodo de esgoto tem a tendência de apresentar maior condutividade elétrica, matéria orgânica, fósforo e potássio em relação ao solo não adubado com o lodo de esgoto.

O coeficiente de variação é uma medida que possibilita verificar a precisão do experimento. Tendo em vista os coeficientes de variação obtidos comumente nos ensaios agrícolas de campo, Pimentel-Gomes (2009) considera baixos, quando inferior a 10%; médios, quando de 10 a 20%; altos, quando de 20 a 30%; muito altos, quando superiores a 30%.

Ainda de acordo com as Tabelas de 5 a 8, nos dois Latossolos, os coeficientes de variação foram classificados como baixos a muito altos, entre 2,74 e 241,17%. Enquanto que Bezerra et al. (2006) verificaram que os coeficientes de variação foram altos e muito altos, entre 25 e 65%, à exceção daquele encontrado para a análise referente ao pH do solo. Martins et al. (2015) obtiveram valores de coeficiente de variação maior que 30% para a maioria dos atributos de fertilidade do solo avaliados em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, adubados com lodo de esgoto e fertilizantes na forma mineral pelo período de cinco anos consecutivos.

Tabela 5. Atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico adubado com dose de lodo de esgoto.

Camada (m)	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)				
	0	5	10	20	
Fósforo resina (mg dm ⁻³)					
0-0,1	43,40 Ca	52,80 BCa	95,80 ABa	121,80 Aa	
0,1-0,2	29,60 Ab	31,40 Aa	66,80 Ab	67,80 Ab	
Matéria orgânica (g dm ⁻³)					
0-0,1	23,60 Ba	25,20 Ba	26,40 Ba	30,80 Aa	
0,1-0,2	20,80 Bb	23,00 ABb	24,20 ABb	25,40 Ab	
pH do solo					
0-0,1	5,06	5,32	5,26	5,18	
0,1-0,2	5,28	5,28	5,22	5,12	
Potássio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	5,50 Aa	5,50 Aa	4,80 ABa	3,72 Ba	
0,1-0,2	4,08 b	3,30 b	4,16 a	3,28 a	
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	29,80 a	35,20 a	35,60 a	39,20 a	
0,1-0,2	29,80 a	29,40 a	32,60 a	31,80 b	
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	22,40 Ba	25,00 ABa	23,20 ABa	31,20 Aa	
0,1-0,2	18,40 a	21,40 a	17,60 a	21,60 b	
Alumínio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	1,20	0,00	0,00	0,80	
0,1-0,2	0,40	0,00	0,20	0,20	
Acidez potencial (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	43,80 Aba	35,20 Ba	37,00 Ba	48,00 Aa	
0,1-0,2	34,60 b	33,80 a	37,20 a	40,80 a	
Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	53,70 Ba	65,70 ABa	63,60 Aba	74,12 Aa	
0,1-0,2	56,28 a	54,10 a	54,36 a	56,68 b	
Capacidade de troca de cátions (CTC mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	97,50 Ba	100,90 Ba	100,60 Ba	122,12 Aa	
0,1-0,2	90,88 a	87,90 b	91,56 b	97,48 b	
Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	54,90 Ba	65,70 ABa	63,60 Aba	74,92 Aa	
0,1-0,2	56,68 a	54,10 b	54,56 b	56,88 b	
Saturação por bases (V%)					
0-0,1	55,18	64,70	62,99	60,24	
0,1-0,2	60,98	61,40	59,03	58,31	
	Dose (D)	Camada (C)	Int. Dx C	CV-D%	CV-C%
Fósforo	5,53*	190,08**	16,55**	60,77	10,64
MO	10,41**	40,04**	2,57 ^{NS}	9,67	6,21
pH do solo	1,40 ^{NS}	0,14 ^{NS}	1,55 ^{NS}	3,52	3,26
Potássio	2,38 ^{NS}	24,86**	2,91 ^{NS}	26,50	17,36
Cálcio	0,90 ^{NS}	8,05*	1,30 ^{NS}	24,88	13,71
Magnésio	3,39 ^{NS}	5,47*	3,25*	21,69	22,15
Alumínio	2,47 ^{NS}	1,26 ^{NS}	0,80 ^{NS}	212,69	241,17
Acidez potencial	8,59**	6,43*	1,69 ^{NS}	11,68	14,14
SB	1,13 ^{NS}	9,78**	2,17 ^{NS}	21,28	15,09
CTC	5,54*	32,84**	2,95 ^{NS}	10,22	7,46
CTCef	1,08 ^{NS}	12,03**	2,41 ^{NS}	21,33	13,98
V%	0,91 ^{NS}	0,20 ^{NS}	1,44 ^{NS}	11,86	9,86

**, *, ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo; Coeficiente de variação em percentagem (CV). Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 6. Atributos químicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico adubado com dose de lodo de esgoto.

Camada (m)	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)				
	0	5	10	20	
Fósforo resina (mg dm ⁻³)					
0-0,1	48,60 Ba	69,00 Ba	124,00 Aa	146,80 Aa	
0,1-0,2	25,60 Bb	46,80 ABb	77,00 Ab	84,80 Ab	
Matéria orgânica (g dm ⁻³)					
0-0,1	19,00 Ba	20,40 Ba	25,00 Aa	25,60 Aa	
0,1-0,2	14,60 Bb	16,80 ABb	18,20 ABb	18,60 Ab	
pH do solo					
0-0,1	4,88 Ba	5,32 Aa	5,14 ABa	5,02 ABa	
0,1-0,2	4,76 Ba	5,16 Aa	5,00 ABa	4,76 Bb	
Potássio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	4,04 a	3,56 a	3,98 a	3,08 a	
0,1-0,2	2,84 b	2,68 b	2,54 b	2,18 b	
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	16,60 Ba	28,60 Aa	27,60 Aa	28,00 Aa	
0,1-0,2	13,60 a	23,20 b	23,40 b	16,60 b	
Magnésio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	12,00 Ba	19,60 Aa	17,60 Aa	19,40 Aa	
0,1-0,2	8,60 a	12,40 b	10,20 b	9,00 b	
Alumínio (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	1,20 b	0,00 a	0,00 a	1,20 b	
0,1-0,2	2,60 Aa	0,00 Ba	0,40 Ba	2,40 Aa	
Acidez potencial (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	34,40 Aa	27,40 Ba	33,60 Aa	39,20 Aa	
0,1-0,2	32,20 ABa	28,00 Ba	29,80 ABb	35,20 Ab	
Soma de bases (mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	32,64 Ba	51,76 Aa	49,18 Aa	50,48 Aa	
0,1-0,2	25,04 a	38,28 b	36,14 b	27,78 b	
Capacidade de troca de cátions (CTC mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	67,04 Ba	79,16 ABa	82,78 Aa	89,68 Aa	
0,1-0,2	57,24 b	66,28 b	65,94 b	62,98 b	
Capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef mmol _c dm ⁻³)					
0-0,1	33,84 Ba	51,76 Aa	49,18 Aa	51,68 Aa	
0,1-0,2	27,64 b	38,28 b	36,54 b	30,18 b	
Saturação por bases (V%)					
0-0,1	47,94 Ba	64,85 Aa	59,37 ABa	55,52 Aba	
0,1-0,2	43,28 Ba	57,52 Ab	54,37 ABb	43,94 Bb	
	Dose (D)	Camada (C)	Int. Dx C	CV-D%	CV-C%
Fósforo	12,98**	73,61**	4,67*	41,25	18,26
MO	9,40**	92,10**	2,26 ^{NS}	13,11	9,08
pH do solo	8,58**	15,31**	0,51 ^{NS}	4,07	2,74
Potássio	1,76 ^{NS}	58,32**	0,85 ^{NS}	26,58	14,70
Cálcio	4,88*	28,15**	2,72 ^{NS}	32,23	16,11
Magnésio	3,81*	49,42**	2,02 ^{NS}	28,46	23,48
Alumínio	8,82**	7,14*	1,39 ^{NS}	110,78	91,02
Acidez potencial	9,90**	8,71**	1,78 ^{NS}	12,17	7,75
SB	4,34*	43,66**	2,12 ^{NS}	27,84	17,47
CTC	5,40*	84,38**	4,16*	12,08	7,98
CTCef	3,83*	47,50**	2,58 ^{NS}	25,60	15,48
V%	6,59**	19,76**	0,98 ^{NS}	16,15	9,53

**, *, ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo; Coeficiente de variação em percentagem (CV). Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em solos adubados com lodo de esgoto e fertilizantes na forma mineral, por anos consecutivos e longo períodos, a tendência é apresentar coeficiente de variação entre baixos e muito altos, principalmente altos para a maioria dos atributos de fertilidade do solo, devido à concentração desuniforme dos elementos no solo e à variabilidade espacial, o que é esperado quando se trata de experimento em condições de campo (MARTINS et al., 2015).

Fósforo resina no solo

Em relação à quantidade de fósforo no solo, tendo em vista que não foi feita a aplicação do nutriente na forma mineral, é razoável presumir que as doses de lodo de esgoto aumentaram e disponibilizaram o nutriente para a cultura do milho (Tabelas 5 e 6), corroborando com os resultados de Colodro e Espíndola (2006); Chiba, Mattiazo e Oliveira (2008).

Nos dois Latossolos, em todos os tratamentos, observou-se maiores teores de fósforo resina na camada de 0-0,1 m em relação à camada de 0,1-0,2 m, tendo em vista a sua relativa imobilidade no solo (COLODRO; ESPINDOLA, 2006; GUEDES et al., 2006), a forma de aplicação do fertilizante, colocado na linha de plantio no tratamento controle e as doses de lodo de esgoto, que foram incorporadas com gradagem leve na camada de 0-0,1 m. Exceto no tratamento com 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, as duas camadas apresentaram médias de fósforo resina que não diferiram estatisticamente.

As doses de lodo de esgoto aplicadas e incorporadas na camada 0-0,1 m nos dois Latossolos contribuíram para o aumento de fósforo resina no solo principalmente pela mineralização do fósforo orgânico e a neutralização de sítios de fixação de fósforo em óxidos de ferro e alumínio por ácidos orgânicos (ROCHA; GONÇALVES; MOURA, 2004). O elevado teor de matéria orgânica na composição do lodo de esgoto pode atuar diminuindo a adsorção de fósforo pelos colóides minerais do solo, devido ao fornecimento de íons orgânicos que competem com o fosfato pelos sítios de adsorção (CALDEIRA JUNIOR et al., 2009).

Os resultados de fósforo são divididos por Raij et al. (1997) em cinco classes de teores. No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, na camada de 0-0,1 m, os tratamentos 0 e 5 t ha⁻¹ e os tratamentos 10 e 20 t ha⁻¹ apresentaram teores de fósforo

resina considerados alto e muito alto, respectivamente. Na camada de 0,1-0,2 m, os tratamentos 0 e 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram teores de fósforo resina considerados médio, enquanto nos tratamentos 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, os teores de fósforo resina são considerados alto (Tabela 5).

No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,1 cm, verificou-se, nos tratamentos 0 e 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, teores de fósforo resina considerados alto e, nos tratamentos 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a quantidade de fósforo resina estão enquadrados na classe de teores muito alto. Na camada de 0,1-0,2 m, verificou-se teores de fósforo resina considerados médio para 0 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, alto para 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e muito alto para a 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (Tabela 6).

Nos dois Latossolos, a adição do lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo resina nas duas camadas analisadas. O mesmo resultado foi constatado por Simonete et al. (2003); Galdos, Maria e Camargo (2004); Chueiri et al. (2007) e Marin et al. (2010). O aumento do fósforo no solo se deve à contribuição desse elemento com a adição de lodo de esgoto (COLODRO; ESPINDOLA, 2006; LOBO et al., 2013), ou seja, as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, incorporadas nas camadas de 0-0,1 m dos Latossolos, contribuíram com 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

O aumento das concentrações de fósforo disponível nas duas camadas e nos dois Latossolos estudados pode ter ocorrido após os anos seguintes de aplicações anuais de lodo de esgoto, com a diminuição simultânea e pH do solo, o que também pode ter induzido a solubilização Fe-P e Al-P (BUENO et al., 2011).

No entanto, no geral, para os adubos orgânicos, pode-se assumir que 70% do seu conteúdo total em fósforo estará disponível no primeiro ano de aplicação (RAIJ et al., 1997). Portanto, a aplicação de lodo de esgoto no solo pode funcionar como uma adubação corretiva, elevando o teor baixo de fósforo no solo até o valor muito alto (KITAMURA et al., 2008).

Matéria orgânica do solo

A adição de lodo de esgoto promoveu maior teor de matéria orgânica na camada de 0-0,1 m em relação à camada de 0,1-0,2 m, nos dois Latossolos (Tabelas 5 e 6). A incorporação do lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m possivelmente

contribuiu para o maior acúmulo de matéria orgânica na camada superficial, e as aplicações sucessivas por longo período também influenciam no acúmulo de matéria orgânica do solo (OLIVEIRA et al., 2002; BUENO et al., 2011).

É oportuno ressaltar que a ruptura dos agregados do solo causada pelo uso do implemento no momento da incorporação do lodo de esgoto e calcário (quando necessária a correção da acidez do solo) até a profundidade de 0,1 m, pode acelerar as perdas de matéria orgânica por ficar exposta ao ataque microbiano e ainda assim o teor de matéria orgânica foi maior na camada de 0-0,1 m em relação à camada de 0,1-0,2 m.

O maior teor de matéria orgânica na camada de 0-0,1 m tem consequência direta sobre o estoque de carbono, e isso pode ser justificado pela qualidade e quantidade aplicada de lodo de esgoto, além do que as aplicações elevadas e contínuas possivelmente acarreta em menores taxas de mineralização (DIAS et al., 2007). A maior produção de biomassa vegetal ocasiona maior aporte de matéria orgânica oriunda da decomposição das raízes do milho que permanecem no campo após a colheita (BOEIRA; SOUZA, 2007; DIAS et al., 2007).

A grande dificuldade de se aumentar o teor de matéria orgânica na camada de 0,1-0,2 m é a rápida mineralização do carbono resíduo nas camadas superficiais de solos das regiões tropicais, sem que haja tempo para maior movimentação da matéria orgânica no perfil do solo (DIAS et al., 2007), ou seja, os compostos orgânicos independentes da sua origem, possuem baixa mobilidade e se movimentam pouco no perfil do solo (BOEIRA; SOUZA, 2007; DIAS et al., 2007). A distribuição do teor de matéria orgânica do solo em profundidade também é influenciada, por exemplo, pelo tipo de preparo do solo e pela rotação de cultura (FREIXO et al., 2002).

Embora os lodos de esgoto possuam teor relativamente alto de matéria orgânica, segundo Boeira e Souza (2007), estima-se que toda a matéria orgânica contida no lodo de esgoto seja consumida na reação de degradação, indicando que o resíduo, na grande maioria dos casos, não se constitui em fonte de matéria orgânica em si. Apesar do lodo de esgoto ser rico em matéria orgânica, para pesquisadores como Nascimento et al. (2014), a aplicação não influenciou os teores dessa variável no solo.

O aumento da dose de lodo de esgoto promoveu aumento do teor de matéria orgânica nas duas camadas estudadas nos dois Latossolos (Tabelas 5 e 6), corroborando os resultados encontrados pelo Simonete et al. (2003), Nascimento et al. (2004), Soares et al. (2008), Wang et al. (2008) e Lobo et al. (2013), que verificaram o aumento da matéria orgânica proporcional à dose de lodo de esgoto utilizada.

Por conter maior quantidade de substâncias húmicas de natureza mais recalcitrante, existe uma grande possibilidade de que o carbono orgânico oriundo das aplicações de doses acumuladas de lodo de esgoto permaneça no solo por mais tempo, e isso pode explicar o acréscimo nos teores de carbono orgânico nas duas camadas analisadas dos Latossolos (SOARES et al., 2008).

No geral, as pesquisas têm demonstrado que a possibilidade de manutenção ou aumento nos teores de matéria orgânica dos solos em função da aplicação de lodo de esgoto é devido a aplicação de doses acumuladas e por longo períodos de tempo (OLIVEIRA et al., 2002; ANTOLÍN et al., 2005; BEZERRA et al., 2006; GUEDES et al., 2006; DIAS et al., 2007).

A avaliação dos indicadores de qualidade química do solo foi realizada um ano após a aplicação no decimo sexto ano das doses de 0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹ e segundo Oliveira et al. (2002), doses de lodo de esgoto menores que 33-37 t ha⁻¹ são necessárias várias aplicações anuais e sucessivas para que se detectem os efeitos sobre o carbono orgânico do solo por um período superior ou igual a um ano. A baixa relação C/N do lodo de esgoto também reforça a ideia de que a aplicação deve ser contínua para manter os níveis de matéria orgânica (MARTINS et al., 2015).

Em síntese, a capacidade do lodo de esgoto em promover aumentos no teor de matéria orgânica no solo, segundo Guedes et al. (2006), dependerá basicamente das características do próprio resíduo, da dose, da frequência e da forma da aplicação (incorporação ou distribuição superficial).

pH do solo

A aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas pode aumentar ou diminuir a acidez do solo, isso vai depender do tipo de tratamento ao qual o resíduo tenha sido submetido na Estação de Tratamento de Esgoto. É importante ressaltar que, em todos os tratamentos, foi realizado a calagem, a incorporação do calcário na camada de 0-

0,1 m e o lodo de esgoto utilizado neste experimento não foi higienizado pelo processo de estabilização alcalina para a eliminação de patógenos.

Para o efeito de dose de lodo de esgoto no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, o teste F foi não significativo e podemos concluir que as doses de lodo de esgoto não diferem entre si em relação ao pH do solo nas duas camadas (Tabela 5), corroborando os resultados de Colodro e Espíndola (2006), que não observaram o efeito da adição do lodo de esgoto no pH do solo, demonstrando que a correção da acidez realizada antes da instalação do experimento foi o suficiente para manter o pH do solo em níveis adequados para as culturas.

No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, o teste F foi significativo, e as doses de lodo de esgoto diferem entre si em relação ao efeito sobre o pH do solo nas duas camadas (Tabela 6), ou seja, as médias de pH do solo apresentaram uma tendência de aumentar até a dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e, a partir de 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a média de pH do solo diminuiu, resultados semelhantes foram constatados por Bezerra et al. (2006) e Caldeira Junior et al. (2009). Segundo Kitamura et al. (2008), a queda do pH pode ocorrer em solo adubado com lodo de esgoto, que não é tratado com cal e também pelo poder acidificante gerado pela biodecomposição da matéria orgânica.

A acidificação do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico nas duas camadas estudadas, nas doses de 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, pode estar associada às reações de nitrificação do nitrogênio amoniacal (ANTOLIN et al., 2005), à provável oxidação de sulfitos (SIMONETE et al., 2003) e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004; BEZERRA et al., 2006; LOBO et al., 2013; COSTA et al., 2014) que liberam íons de hidrogênio para a solução do solo.

Contradizendo os resultados do presente experimento e de outros observados na literatura, em que a aplicação de lodo de esgoto não alcalinizado promove a redução do pH do solo, Nascimento et al. (2014) constaram nos tratamentos controle, lodo de esgoto solarizado, lodo de esgoto compostado e lodo de esgoto vermicompostado, um ligeiro aumento no valor de pH do solo.

O LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico tem maior teor de argila, óxidos e matéria orgânica em relação ao LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, o qual

consequentemente tem maior poder tampão, ou seja, apresenta maior resistência à mudança de pH do solo (PROCHNOW, 2014).

Para o efeito de camadas no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, as camadas testadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m não diferem entre si em relação ao pH do solo. Exceto no tratamento com a dose de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a média de pH do solo verificada na camada de 0-0,1 m foi maior em relação à camada de 0,1-0,2 m.

O LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico apresentou nas duas camadas avaliadas acidez ativa considerada média. Já no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, a acidez ativa variou de média a alta, com destaque para o tratamento controle, que foi detectado acidez ativa alta nas duas camadas (RAIJ et al., 1997). Os pesquisadores Bueno et al. (2011) verificaram nas parcelas de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, que foram aplicados fertilizantes minerais, valores de acidez do solo classificados como média e, nas parcelas com as doses de 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, valores classificados com alto e muito alto.

Portanto, a extensão das alterações no pH do solo é depende da capacidade tamponante do solo e da quantidade e do tipo de tratamento que o lodo de esgoto recebeu (NASCIMENTO et al., 2004).

Potássio no solo

No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, na camada de 0-0,1 m, o teor de potássio diminuiu com o aumento da dose de lodo de esgoto, enquanto que na camada de 0,1-0,2 m do mesmo solo e no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, nas duas camadas avaliadas, os teores médios de potássio não diferiram com aplicação das doses lodo de esgoto (Tabelas 5 e 6). Diferentemente dos resultados de Bezerra et al. (2006), os quais indicaram que as doses de lodo de esgoto influenciaram e aumentaram a concentração do teor de potássio no solo.

Resultados semelhantes aos verificados na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico também foram constatados por Barbosa et al. (2007), em LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, por Chiba, Mattiazzo e Oliveira

(2008), em um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e por Lobo et al. (2013) LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ou seja, os tratamentos com doses de lodo de esgoto não apresentaram médias de teores de potássio diferente dos tratamentos controle e fertilização mineral, devido ao baixo teor desse elemento no lodo de esgoto utilizado e devido à dose aplicada.

Vários resultados de pesquisas apontam a baixa eficiência do lodo de esgoto em aumentar os teores de potássio no solo, diante disso, muitos pesquisadores apontam a necessidade de complementar com fontes de potássio, visando atender as exigências das plantas. Segundo Tsutiya (2001), o potássio tende a ficar em solução durante o tratamento do lodo de esgoto em Estação de Tratamento de Esgoto.

No presente experimento, a quantidade de potássio adicionada com as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, aplicada no solo, foi equivalente à 15, 30 e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo necessário adicionar fertilizante na forma mineral para suprir a necessidade da cultura do milho. Já Colodro e Espíndola (2006) verificaram que a quantidade adicionada para as doses 30 e 60 t ha⁻¹ de lodo de esgoto acrescentou cerca de 251 e 502 kg ha⁻¹ de K₂O.

Comparando duas camadas em relação ao teor de potássio no solo, verificou-se que os tratamentos não proporcionaram diferenças significativas no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, exceto nos tratamentos 0 e 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a média verificada na camada de 0-0,1 m foi maior em relação à camada de 0,1-0,2 m. Enquanto que, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a camada de 0-0,1 m apresentou maior média de teor de potássio no solo em relação à camada de 0,1-0,2 m, em todos os tratamentos.

Segundo os limites de interpretação de teores de potássio disponíveis no solo, estabelecidos para culturas anuais para os solos do estado de São Paulo, a quantidade de potássio verificada nas duas camadas estudadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, são classificados como de alto teor. Enquanto que no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,1 m, foi constatado alto teor de potássio e, na camada de 0,1-0,2 m, o teor de potássio recuperado é considerado médio. Em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, Kitamura et al. (2008) constataram que o teor de potássio, que já era considerado baixo, permaneceu estável após a adubação com 60 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. A média do teor de potássio

encontrado no solo por Simonete et al. (2003), Colodro e Espíndola (2006) também foi considerado baixo.

A literatura previne sobre a baixa eficiência do lodo de esgoto para fornecer potássio, por isso o lodo de esgoto não deve ser considerado um fertilizante orgânico substituto da adubação convencional, mas sim complementar desta, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e, conseqüentemente, o custo da adubação (MARTINS et al., 2015).

Porém, a baixa concentração de potássio no lodo de esgoto e a complementação que deve ser realizada usando fertilizante químico, em todos os tratamentos com lodo de esgoto, com finalidade de reposição e nivelção dos teores entre os tratamentos, deixam dúvidas quanto à contribuição do lodo de esgoto nas alterações de potássio no solo.

Cálcio no solo

No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, em ambas as camadas, o teor de cálcio no solo não foi alterado com o aumento das doses de lodo de esgoto testadas (Tabela 5). No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, os tratamentos com 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram maiores médias em relação ao tratamento controle (Tabela 6), corroborando o resultado de Nascimento et al. (2004), Colodro e Espindola (2006) que também constataram o aumento na quantidade de cálcio com o aumento da dose de lodo de esgoto.

A não alteração do teor de cálcio no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, com o aumento das doses de lodo de esgoto testadas, pode indicar que apenas a realização da calagem seja o suficiente para alterar o teor do nutriente no solo (KITAMURA et al., 2008). Para Guedes et al. (2006), devido ao elevado teor de cálcio no lodo de esgoto, possivelmente tenha ocorrido uma saturação do complexo de troca desse elemento no solo. É importante relatar que o superfosfato simples possui 20% de cálcio, por isso a dose de superfosfato simples aplicado no tratamento controle pode ter contribuído para que a média do teor de cálcio fosse semelhante às médias verificadas nos tratamentos com dose de lodo de esgoto.

Em relação às camadas testadas, verificou-se que a camada de 0-0,1 m apresentou médias de cálcio no solo que não diferiram da camada de 0,1-0,2 m nos

tratamentos controle, 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. Já no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, somente o tratamento controle apresentou médias de cálcio que não diferiram entre as camadas. Possivelmente tenha ocorrido a lixiviação do cálcio, já que Oliveira et al. (2002) comprovaram a hipótese da lixiviação de íons ao verificarem que as doses empregadas de lodo de esgoto proporcionaram aumentos significativos da condutividade elétrica até 0,8 m de profundidade.

Os teores de cálcio verificados nos dois Latossolos e nas duas camadas são classificados como de alto teor no solo, corroborando os resultados de Simonete et al. (2003), Colodro e Espindola (2006). Os pesquisadores Rocha, Gonçalves e Moura (2004) verificaram altos teores de cálcio no solo nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m 32 meses após a aplicação de lodo de esgoto alcalinizado, principalmente em virtude da alta concentração de cálcio no lodo de esgoto (Tabela 3).

Magnésio no solo

As doses de lodo de esgoto alteraram o teor de magnésio nos dois Latossolos somente na camada de 0-0,1 m (Tabelas 5 e 6), mesmo o resíduo apresentando baixo conteúdo de magnésio em sua composição (Tabela 3).

No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, a dose de lodo de esgoto aumentou o teor de magnésio, porém o tratamento controle apresentou média semelhante aos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹ e média menor em relação ao tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Além disso, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, foi observado que o tratamento controle apresentou o teor médio de magnésio menor que nos tratamentos que receberam 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, corroborando os resultados de Simonete et al. (2003), Bezerra et al. (2006), Barbosa et al. (2007).

Em relação à camada de 0,1-0,2 m nos dois Latossolos, a quantidade de magnésio no solo não foi afetada pela aplicação da dose crescente de lodo de esgoto. Resultados semelhantes foram constados por Chueiri et al. (2007), que verificaram que o teor de magnésio não foi afetado pelas doses de lodo de esgoto alcalinizado, após 20 dias da aplicação.

As médias de magnésio, no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, não diferiram entre as camadas nos tratamentos 0, 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Já no

tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a camada de 0-0,1 m apresentou maior média em relação à camada de 0,1-0,2 m. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, as médias de teor magnésio não diferem entre as camadas no tratamento controle, enquanto que, para os outros tratamentos, foram constatadas maiores médias na camada de 0-0,1 m em comparação à camada de 0,1-0,2 m. Os pesquisadores Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008) não verificaram efeitos da aplicação de lodo de esgoto nos teores de magnésio disponíveis no solo.

Os teores de magnésio, verificados nos dois Latossolos e nas duas camadas, são classificados como de alto teor no solo, corroborando os resultados de Simonete et al. (2003), Colodro e Espindola (2006). Possivelmente o alto teor de magnésio verificado nos Latossolos seja em função do período prolongado de aplicação do lodo de esgoto na área. Rocha, Gonçalves e Moura (2004) verificaram baixos teores de magnésio nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m, 32 meses após a aplicação de lodo de esgoto alcalinizado, principalmente em virtude da baixa concentração de magnésio no lodo de esgoto.

Alumínio e Acidez potencial no solo

O teor de alumínio trocável não foi influenciado com o aumento da dose de lodo de esgoto nas duas camadas testadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e na camada de 0-0,1 m no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, enquanto que, na camada de 0,1-0,2 m do mesmo solo, o teor de alumínio constatado no tratamento controle e a dose de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram médias maiores que as médias verificadas no tratamento com 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (Tabelas 5 e 6).

O pH do solo fornece indícios das condições químicas gerais do solo. O pH do solo deve estar entre 5,5 e 6,0 para disponibilizar maior quantidade de nutrientes e reduzir elementos tóxicos como o alumínio. Sendo assim, é possível observar que o comportamento do pH nos Latossolos foi semelhante ao comportamento do alumínio. Normalmente quando os teores de cálcio e magnésio são altos, o teor de alumínio é baixo. Resultados de Simonete et al. (2003) apontaram que a queda do pH do solo proporcionou incremento dos teores de alumínio trocável e a elevação dos valores da acidez potencial.

Em relação às camadas, a de 0-0,1 m não apresentou média do teor de alumínio diferentes da camada de 0,1-0,2 m no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. Diferentemente do que foi verificado no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, nos tratamentos controle e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a média do teor de alumínio foi maior na camada de 0,1-0,2 m em relação à camada de 0-0,1 m, corroborando os resultados de Caldeira Júnior et al. (2009) que constataram o aumento do teor de alumínio com a dose crescente de lodo de esgoto.

O tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou a maior média do teor de alumínio, na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, foi em função do aumento do teor de matéria orgânica, o que resultou na movimentação de parte do alumínio combinado com compostos orgânicos solúveis para a camada de 0,1-0,2 m (SILVA et al., 2012). Para Marin et al. (2010), solos com maior teor de carbono têm a tendência de apresentar mais resistência à neutralização do alumínio trocável e à elevação do pH do solo, mesmo quando o lodo de esgoto utilizado passa pelo processo de estabilização alcalina prolongada.

A acidez potencial do solo foi influenciada com aplicação da dose crescente de lodo de esgoto em ambas as camadas testadas dos Latossolos (Tabelas 5 e 6), exceto na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. O aumento da acidez potencial com aplicação do lodo de esgoto, possivelmente, está associada ao seu valor de origem e às reações de nitrificação do N-amoniaco; à provável oxidação de sulfetos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (SIMONETE et al., 2003; CALDEIRA JÚNIOR et al., 2009; PRATES, 2010).

Os tratamentos controle e dose de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram maiores médias de acidez potencial em relação aos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. O incremento do teor de acidez potencial em função do aumento da dose de lodo de esgoto, seguido de um decréscimo, possivelmente se deu devido ao aumento das cargas negativas na superfície, por isso grande parte do hidrogênio liberado pelo processo de nitrificação, por apresentar ligação covalente nos colóides do solo, é adsorvido na maior dosagem de lodo de esgoto (LOBO et al., 2013).

O tratamento controle possivelmente apresentou aumento da acidez potencial do solo devido à adição de fertilizantes nitrogenado, fosfatados e potássicos (CATANI; GALLO, 1954; SILVA et al., 2001; CIOTTA et al., 2002).

Verificou-se que os valores de acidez potencial LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico não foram significativos para as camadas, exceto no tratamento controle que apresentou média desta variável maior na camada de 0-0,1 m em relação à camada de 0,1-0,2 m. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, essas variáveis foram significativas e apresentaram medias que diferiram entre camadas para os tratamentos com as doses 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e médias semelhantes entre as camadas nas doses de 0 e 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

Em ambos os solos testados, não foram constatados alumínio, porém foram constadas reduções da acidez potencial nos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Enquanto Guedes et al. (2006), a partir da dose de 40 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, não constataram alumínio e observaram reduções de acidez potencial em relação ao tratamento controle em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico.

Soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases

De acordo com a Tabelas 5 e 6, as médias de soma de bases, capacidade de troca de cátions e a capacidade de troca de cátions efetiva nos tratamentos com doses, diferem entre si na camada de 0-0,1 m nos dois Latossolos. A dose crescente de lodo de esgoto influenciou a saturação por bases nas duas camadas somente no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (Tabela 6).

Em virtude dos aumentos dos teores de trocáveis de cálcio e magnésio, com aplicação de lodo de esgoto no solo, constatou-se aumento proporcional na soma de bases na camada de 0-0,1 m nos dois Latossolos (GUEDES et al., 2006). A adição de lodo de esgoto no solo aumentou a capacidade de troca de cátions na camada de 0-0,1 m nos dois Latossolos, possivelmente refletindo a avaliação entre os aumentos nos teores de cálcio, magnésio e a acidez potencial utilizados no cálculo. Logo, com os aumentos proporcionais entre soma de bases e a capacidade de troca de cátions, a saturação por bases não foi alterada nas duas camadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, corroborando os resultados de Simonete et al. (2003).

No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, na camada de 0-0,1 m, os tratamentos com dose de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram maiores médias de soma de bases, capacidade de troca de cátions e capacidade de troca de cátions efetiva em relação ao tratamento controle. Em relação à saturação por bases, a dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou maior média em relação ao tratamento controle.

O aumento da soma de bases, da capacidade de troca de cátions e da capacidade de troca de cátions efetiva, proporcional ao aumento da dose de lodo de esgoto, foi constatado por pesquisadores como Oliveira et al. (2002), Nascimento et al. (2004), Antoliín et al. (2005), Bezerra et al. (2006), e esse aumento pode ser explicado em decorrência do aumento da matéria orgânica do solo (LOBO et al., 2013). Assim, a maior influência da matéria orgânica nas propriedades químicas do solo está na alteração do seu complexo coloidal, que reflete diretamente na capacidade de troca de cátions, a qual promove aumento de cargas superficiais negativas e, conseqüentemente, a maior retenção de cátions (BEZERRA et al., 2006).

Embora a capacidade de troca de cátions e a capacidade de troca de cátions efetivo do solo tenha aumentado na camada de 0-0,1 m nos Latossolos, as diferenças verificadas para as médias da variável foram extremamente pequenas, de alguns décimos, corroborando os resultados de Oliveira et al. (2002) e Martins et al. (2015), que concluíram que as alterações da capacidade de troca de cátions do solo foram mais bem explicadas pelas variações no pH do que pelos acréscimos de matéria orgânica do solo.

Outro importante fator é em relação à estimativa da capacidade de troca de cátions que foi feita pela soma de bases, o que pode ocasionar superestimação por causa dos teores de cálcio e magnésio presentes no lodo de esgoto, que geralmente são elevados, somado com as quantidades desses elementos no calcário, que foi incorporado na camada de 0-0,1 m.

É importante ressaltar que, mesmo que os valores de pH do solo tenham sido iguais estatisticamente entre camadas nos dois Latossolos, o teor de matéria orgânica foi maior na camada de 0-0,1 m, e esta aumenta a capacidade de troca de cátions do solo e, conseqüentemente, a soma de bases em relação a camada de 0,1-0,2 m. Os elevados teores de matéria orgânica contida no lodo de esgoto contribuem para o

aumento da capacidade de troca de cátions, e isso permite um maior armazenamento de elementos catiônicas (COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006).

Por mais que o aumento da matéria orgânica do solo tenha sido proporcional ao aumento da dose de lodo de esgoto, ele não foi o suficiente para influenciar a soma de bases, capacidade de troca de cátions e a capacidade de troca de cátions efetiva da camada de 0,1-0,2 m (LOBO et al., 2013).

Portanto, Bertoni e Mattiazzi (1999) verificaram, em amostras de NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, tratados com doses de lodo de esgoto, que apesar da quantidade acumulada de sais nos solos tratados, os valores de capacidade de troca de cátions, determinados pelo método direto, foram maiores que a capacidade de troca de cátions calculada, indicando para os autores a necessidade de determinação direta da mesma em estudos que envolvem o uso de resíduos orgânicos.

No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, verificou-se que as médias das camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m não diferem entre si em relação à saturação por bases. Para o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, constatou-se que as médias de saturação por bases das duas camadas estudadas diferem entre si nos tratamentos que receberam doses de lodo de esgoto.

Os valores de saturação por bases verificados nos dois Latossolos e nas duas camadas são classificados como média. Exceto no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, o tratamento com 0 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou saturação por bases classificada como baixa, nas duas camadas avaliadas e, ainda nesse mesmo solo, o tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou na camada de 0,1-0,2 m baixo valor de saturação por bases (RAIJ et al., 1997).

Em relação à saturação por bases, os resultados foram semelhantes ao verificado para o pH, o que é esperado, já que existe interação positiva entre o pH e a saturação por bases (LOBO et al., 2013). No LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, nas duas camadas estudadas, o aumento das doses de lodo de esgoto não influenciou a saturação por bases, enquanto que, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a saturação por bases foi afetada pelo aumento das doses de lodo de esgoto nas duas camadas estudadas.

A adição contínua de dose crescente de lodo de esgoto por período prolongado aumenta os teores de cálcio, magnésio, pH e matéria orgânica, e isso reflete no aumento da capacidade de troca de cátions, da soma de bases e da saturação por bases do solo.

Enxofre no solo

O tratamento controle apresentou maior média de teor de enxofre no solo quando comparado às médias dos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto e, em relação à média do tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, não foi constatada diferença na camada de 0-0,1 m dos Latossolos (Tabelas 5 e 6). Na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, não foi verificado efeito dos tratamentos com dose na quantidade enxofre. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na camada de 0,1-0,2 m, os tratamentos controle e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentaram maiores médias em relação aos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹.

As maiores médias de quantidade de enxofre nos tratamentos controle e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, em relação aos tratamentos com 5 e 10 t ha⁻¹, podem ser explicados devido à adubação no tratamento controle com os fertilizantes superfosfato simples (10-12% de enxofre) e o sulfato de amônia (22-24% de enxofre) e no tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, com maior teor de matéria orgânica e, logo, maior teor de enxofre orgânico na forma mais lábil (NOGUEIRA; MELO, 2003).

No tratamento controle, a adição de sulfato de amônio e superfosfato simples no plantio contribuíram com 33-36 e 28-33 kg ha⁻¹ de enxofre, respectivamente, e a adubação por cobertura o sulfato de amônio contribuiu com 154-168 kg ha⁻¹ de enxofre. Por outro lado, que as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ contribuíram com 12, 24 e 48 kg ha⁻¹ de enxofre.

Nos quatro tratamentos, verificou-se que as médias de enxofre não diferiram entre camadas no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, no tratamento com 0 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, a camada de 0-0,1 m apresentou menor teor médio de enxofre em comparação com a camada de 0,1-0,2 m. Para os outros tratamentos, não foram constatadas diferenças estatísticas entre camadas.

A explicação para maior média de teor de enxofre na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, decorre do fato de que a calagem aumenta as cargas negativas do complexo de troca do solo e também o maior teor de matéria orgânica, rica em cargas negativas pH dependentes, resulta em maior repulsão dos íons de enxofre, bem como resulta em seu deslocamento no perfil. Na camada com maior retenção do ânion enxofre, isso pode se dar em função dos menores teores de matéria orgânica, aliados aos teores de óxido de ferro e que culminam em predomínio de cargas positivas (NOGUEIRA; MELO, 2003).

Segundo Raij et al. (1997), os teores de enxofre nos LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico são considerados alto nas duas camadas estudadas. Exceto nas duas camadas para a dose de 5 t ha⁻¹ e na camada de 0,1-0,2 m para a dose de 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, as quantidades de enxofre verificadas estão na faixa considerado médio teor.

Nos Latossolos, em ambas as camadas analisadas, os teores de enxofre estão na quantidade adequada para a produção da cultura do milho. Exceto nos tratamentos com dose 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, ambas as camadas do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico não disponibilizaram a quantidade de enxofre o suficiente para produção de milho (RAIJ et al., 1997).

Micronutrientes no solo

Em relação aos micronutrientes ou metais pesados, o lodo de esgoto aplicado no solo continha micronutrientes abaixo dos níveis máximos permitidos pela resolução n° 375 para a aplicação agrícola de resíduos (Tabela 3). Os teores totais de micronutrientes nos LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, adubados com dose crescente de lodo de esgoto, são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

O uso do lodo de esgoto em solos agrícolas aumenta as concentrações de micronutrientes no solo (SINGH; AGRAWAL, 2007), e a adição de lodo de esgoto aumentou os teores de boro nas duas camadas dos Latossolos, corroborando os resultados constatado por Lobo et al. (2013). O tratamento com dose de 20 t ha⁻¹ apresentou teor médio de boro maior que as médias observadas nos tratamentos controle, 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto nos Latossolos (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Teores de micronutrientes de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico adubado com dose de lodo de esgoto.

Camada (m)	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)				
	0	5	10	20	
Boro (mg dm ⁻³)					
0-0,1	0,47 Ba	0,43 Ba	0,50 ABa	0,60 Aa	
0,1-0,2	0,42 Aba	0,38 Bb	0,46 ABb	0,48 Ab	
Cobre (mg dm ⁻³)					
0-0,1	5,84 Ca	6,72 BCa	8,92 ABa	9,52 Aa	
0,1-0,2	5,72 Ba	5,96 Bb	7,98 Ab	7,80 Ab	
Ferro (mg dm ⁻³)					
0-0,1	17,80 Ca	24,20 BCa	47,60 ABa	60,80 Aa	
0,1-0,2	18,40 Ba	19,40 Ba	36,40 Ab	40,00 Ab	
Manganês (mg dm ⁻³)					
0-0,1	28,86 a	17,52 a	18,64 a	17,48 a	
0,1-0,2	15,90 b	13,74 a	18,28 a	16,60 a	
Zinco (mg dm ⁻³)					
0-0,1	5,06 Ca	8,40 BCa	19,60 ABa	24,64 Aa	
0,1-0,2	4,54 Ba	5,14 Ba	14,90 ABb	19,46 Ab	
	Dose (D)	Camada (C)	Int. Dx C	CV-D%	CV-C%
Boro	6,36**	27,40**	2,03 ^{NS}	15,42	8,29
Cobre	5,75**	41,77**	5,78**	26,37	5,93
Ferro	7,16**	51,43**	13,28**	55,79	12,07
Manganês	0,98 ^{NS}	5,81*	2,45 ^{NS}	50,52	32,09
Zinco	6,53*	21,92**	2,06 ^{NS}	80,59	18,14

**, *, ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo; Coeficiente de variação em percentagem (CV). Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 8. Teores de micronutrientes de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico adubado com dose de lodo de esgoto.

Camada (m)	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)				
	0	5	10	20	
Boro (mg dm ⁻³)					
0-0,1	0,31 BCa	0,30 Ca	0,36 Ba	0,45 Aa	
0,1-0,2	0,31 Ba	0,27 Ba	0,32 Ba	0,41 Ab	
Cobre (mg dm ⁻³)					
0-0,1	2,10 Ba	3,64 Ba	7,72 Aa	7,36 Aa	
0,1-0,2	1,34 Ca	2,90 BCa	6,24 Ab	6,02 ABb	
Ferro (mg dm ⁻³)					
0-0,1	48,80 Ba	55,80 Ba	126,80 Aa	142,60 Aa	
0,1-0,2	30,60 Ca	41,80 BCa	81,80 ABb	108,20 Ab	
Manganês (mg dm ⁻³)					
0-0,1	6,04 a	5,06 a	4,42 b	4,74 b	
0,1-0,2	4,92 Ba	4,74 Ba	6,40 ABa	7,72 Aa	
Zinco (mg dm ⁻³)					
0-0,1	6,32 C	14,98 BC	32,62 A	28,98 AB	
0,1-0,2	4,04 B	11,48 B	35,14 A	32,06 A	
	Dose (D)	Camada (C)	Int. Dx C	CV-D%	CV-C%
Boro	27,32**	8,62**	0,99 ^{NS}	10,95	8,82
Cobre	11,30**	18,46**	0,59 ^{NS}	52,17	17,04
Ferro	13,09**	33,30**	2,22 ^{NS}	45,96	19,22
Manganês	1,26 ^{NS}	7,54*	8,98**	28,06	18,41
Zinco	15,98**	0,00 ^{NS}	1,53 ^{NS}	52,52	20,59

**, *, ns: significativo a 1% e 5% de probabilidade e não significativo; Coeficiente de variação em percentagem (CV). Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A maior parte do boro disponível às plantas é encontrada na matéria orgânica do solo, e isso sugere que a camada de 0-0,1 m apresenta maior teor desse micronutriente devido ao maior teor de matéria orgânica em relação à camada de 0,1-0,2 m nos tratamentos com 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto nos dois Latossolos (LIMA et al., 2007). A maior disponibilidade de boro ocorre na faixa de pH entre 5 a 7, e outro importante fator é a de alta pluviosidade, que eleva a perda por lixiviação e reduz a disponibilidade, principalmente em solos com maior teor de areia (ABREU; LOPES; SANTOS, 2007).

Os quatro tratamentos em ambos os solos e camadas apresentaram teores de boro considerados médios, que vai de 0,21 a 0,6 mg dm⁻³ (RAIJ et al., 1997), corroborando os resultados de Bueno et al. (2011), Lobo et al. (2013) e Martins et al. (2015).

A aplicação cumulativa do lodo de esgoto aumentou o teor do nutriente cobre na camada de 0-0,1 m, possivelmente porque o pH do solo e a elevada capacidade de troca de cátions do solo poderiam ter levado a uma forte adsorção dos mesmos, diminuindo assim a solubilização, a lixiviação e a disponibilidade para as plantas, o que favoreceu o acúmulo do micronutriente (ANTOLÍN et al., 2005).

Com o aumento da dose de lodo de esgoto, a tendência é ocorrer o incremento de ferro no solo (CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2008), devido à afinidade desse elemento pela matéria orgânica (BEZERRA et al., 2006). No presente experimento, a adição de doses crescentes de lodo de esgoto aumentou os teores de ferro nas duas camadas analisadas dos dois Latossolos (Tabelas 7 e 8). Assim como Lobo et al. (2013), as maiores doses de lodo de esgoto adicionadas ao solo apresentaram maiores médias de teores de ferro em relação aos demais tratamentos.

Por mais que o ferro seja o elemento em maior concentração no lodo de esgoto, o aumento do nutriente disponível no solo apresentado foi relativamente pequeno, indicando encontrar-se no resíduo em formas de baixa disponibilidade, como, por exemplo, óxidos de ferro (NASCIMENTO et al., 2004).

Para o elemento cobre, a aplicação de dose crescente de lodo de esgoto aumentou os teores desse nutriente nas duas camadas dos Latossolos (Tabelas 7 e 8), o mesmo foi constatado por Rangel et al. (2004), Bezerra et al. (2006), Singh e Agrawal (2007) e Lobo et al. (2013). O tratamento com a maior dose de lodo de esgoto

apresentou a maior quantidade de cobre em relação aos outros tratamentos, o que já era esperado em consequência da afinidade desse elemento com a matéria orgânica (BEZERRA et al., 2006, CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2008).

A camada de 0-0,1 m apresentou maiores médias de cobre em relação à camada de 0,1-0,2 m nos tratamentos que receberam as doses de lodo de esgoto, assim como Lobo et al. (2013). Seguindo a tabela de interpretação da análise química de micronutrientes em solos do estado de São Paulo, disponibilizada por Raij et al. (1997), nos Latossolos, em todos os tratamentos, os níveis de cobre constatados foram considerados alto, e esse resultado está de acordo com os verificados por Silva et al. (2001); Galdos, Maria e Camargo (2004) e Martins et al. (2015), que perceberam valores de cobre consideradas altos, inclusive os do controle.

Nos dois Latossolos, a adição de 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto contribuiu para que a camada de 0-0,1 m apresentasse maiores teores de ferro em relação à camada de 0,1-0,2 m e, segundo a classificação de Raij et al. (1997), a quantidade de ferro constatada nas duas camadas dos Latossolos é enquadrada na faixa de alto teor (BUENO et al., 2011; LOBO et al., 2013; MARTINS et al., 2015).

Observando os teores de manganês, foi constatado que, somente na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a adição de dose crescente de lodo de esgoto no solo aumentou os teores desse micronutriente, e o tratamento com a dose de 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou média superior aos tratamentos controle e 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (Tabela 8). O aumento do teor de manganês proporcional à adição de dose de lodo de esgoto foi constatado por Singh e Agrawal (2007); Chiba, Mattiazzo e Oliveira (2008); Lobo et al. (2013).

Os valores de pH do solo, verificados em ambas as camadas dos Latossolos, seriam o adequado para maior disponibilidade do manganês, já que, segundo Borket, Pavan e Bataglia (2001), em valores de pH do solo menor que 5,5, a tendência é aumentar a disponibilidade do micronutriente no solo.

Assim como Rangel et al. (2004), a adição de dose crescente de lodo de esgoto não afetou os teores totais de manganês nas duas camadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e na camada de 0-0,1 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. A disponibilidade do manganês é afetada pelos excessos de cálcio, magnésio e ferro (ABREU et al., 2007). Segundo Bezerra et al. (2006), a outra possível

explicação para que o manganês mantivesse praticamente invariável, independentemente da quantidade de matéria orgânica aplicada, é em razão, provavelmente, de sua concentração inicial no solo e da baixa concentração no lodo de esgoto (Tabela 3).

Ao comparar as médias observadas dos teores de manganês entre camadas, foi verificado no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico que as médias da camada de 0-0,1 m não diferem da camada de 0,1-0,2 m nos tratamentos com dose de lodo de esgoto. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, as médias de teores de manganês são maiores na camada de 0,1-0,2 m em relação à camada de 0-0,1 m nos tratamentos que receberam as maiores doses do resíduo.

Os teores de manganês se enquadraram na faixa considerada alto, exceto alguns valores de manganês entre 1,3-5,0 mg dm⁻³ determinados no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico que foram considerados de teor médio.

Quanto ao zinco no solo, esse elemento apresentou aumento proporcional às doses de lodo de esgoto nas duas camadas dos dois Latossolos estudados (Tabelas 7 e 8), corroborando os resultados de Oliveira e Mattiazzo (2001), Singh e Agrawal (2007). O tratamento com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto apresentou médias de quantidade de zinco superior aos tratamentos controle e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto em ambas as camadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, a quantidade de zinco no solo aumentou até a adição de 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto; na dose 20 t ha⁻¹, a quantidade desse micronutriente apresentou uma pequena redução.

Assim como no presente experimento, Bezerra et al. (2006) constataram que o zinco se mostrou dependente da dose de lodo de esgoto aplicada. Provavelmente esse comportamento esteja relacionado ao incremento concomitante da capacidade de troca de cátions (ANTOLÍN et al., 2005; BEZERRA et al., 2006), pH do solo (KALBITZ; WENNRICH, 1998; ANTOLÍN et al., 2005) e matéria orgânica do solo (BEZERRA et al., 2006).

A camada de 0-0,1 m não apresentou médias de teor de zinco maiores em relação à camada de 0,1-0,2 m nos dois Latossolos. Exceto no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, os tratamentos que receberam as maiores doses de lodo de esgoto apresentaram maior teor de zinco na camada de 0-0,1m.

O acréscimo de zinco no solo pode ser explicado pelas altas concentrações desse metal presente no lodo de esgoto utilizado (NAVAS; BERMÚDEZ; MACHÍN, 1998; OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2008). O valor de pH do solo, abaixo de 5,0-5,5, pode aumentar a disponibilidade do zinco no solo (ABREU et al., 2001) e, de acordo com os valores de pH do solo (Tabelas 5 e 6), os valores médios foram menores que 5,5 nos dois solos estudados.

De acordo com Raij et al. (1997), em ambos os Latossolos e camadas, a quantidade de zinco constatada está enquadrada na faixa considerada de alto teor. Os resultados são concordantes com os verificados por Silva et al. (2001); Galdos, Maria e Camargo (2004), que observaram valores de zinco consideradas altos, inclusive os do controle. Porém, a cultura do milho responde à adubação com zinco quando o teor deste micronutriente é inferior a 1 mg dm^{-3} (COELHO; FRANÇA, 1995).

A comparação dos valores limites máximos permitidos (Tabela 3), para micronutrientes em solos agrícolas com os dados apresentados nas Tabelas 7 e 8, revela que, independentemente da dose de lodo de esgoto, não houve contaminação do solo em relação aos níveis máximos dos elementos estudados normalmente permitidos, ou seja, não ocorreu acúmulo de micronutrientes em solo acima dos limites críticos estabelecidos em literatura (RANGEL et al., 2004; BEZERRA et al., 2006; CHIBA; MATTIAZZO; OLIVEIRA, 2008; JAMALI et al., 2009; BUENO et al., 2011).

Conclusões

Ocorreu o incremento de fósforo e matéria orgânica do solo em função do aumento da dose de lodo de esgoto tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos.

O aumento da dose de lodo de esgoto proporcionou incremento nos teores dos micronutrientes boro, cobre, ferro e zinco nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m nos dois Latossolos.

A dose de 5 t ha^{-1} de lodo de esgoto apresentou teores altos de potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro e zinco no solo tanto na camada de 0-0,1 m como de 0,1-0,2 m nos Latossolos.

Em função de sua composição e de seu comportamento no solo, o lodo de esgoto liberou nutrientes para o desenvolvimento da cultura do milho.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10004. **Resíduos Sólidos - Classificação**, 2004.

ABREU, C. A.; FERREIRA, M. E.; BORKET, C. M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Zinco e cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B.van; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.125-150.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 11, p. 645-736.

ANTOLÍN, M. C.; PASCUAL, I.; GARCÍA, C.; POLO, A.; SÁNCHEZ-DÍAS, M. Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 94, p. 224-237, 2005.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 601-605, 2007.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr. W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat**: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal: Multipress, 2015. 396 p.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 737-744, 1999.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____. (Ed). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 25-36. (a)

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. C. (Ed). **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. p. 181-204. (b)

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 581-590, 2007.

BORKET, C. M.; PAVAN, M. C.; BATAGLIA, O. C. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: Ferro e manganês. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. van; ABREU, C. A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.151-185.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an Oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, 2011.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CATANI, R. A.; GALLO, R. Efeitos determinados no solo pelo uso contínuo de fertilizantes. **Bragantia**, Campinas, v. 13, n. 6, p. 75-83, 1954.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, 2008.

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 1055-1064, 2002.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: Nutrição e adubação**. Piracicaba: PATAFOS, 1995. 25 p. (PATAFOS. Arquivo do Agrônomo, 2).

COLODRO, G.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um Latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

CONAMA - COSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Resolução n. 375**, de 29 de agosto de 2006. Publicado no DOU n. 167, de 30 agosto de 2006, Seção 1, p. 141-146. Retificada pela Resolução n. 380, de 2006.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 701-711, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 30, p. 267-280, 2006.

HUE, N. V. Sewage sludge. In: Rechcigl J. E. (Ed.). **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: CRC Press; 1995. p. 199-168.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, escala 1:500.000. Mapa, 1981.

JAMALI, M. K.; KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; AFRIDI, H. I.; JALBANI, N.; KANDHRO, G. A.; SHAS, A. Q.; BAIG, J. A. Heavy metal accumulation in different varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in soil amended with domestic sewage sludge. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, n. 2-3, p. 1386-1391, 2009.

KALBITZ, K.; WENNRICH, R. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter. **The Science of the Total Environment**, v. 209, n. 1, p. 27-39, 1998.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 405-416, 2008.

LIMA, J. C. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; LIMA, J. G. C.; LIRA JUNIOR, M. A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 73-79, 2007.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; MOREIRA, L. L. Q.; MARTINS, R. L. Efeito do manejo e de níveis de lodo de esgoto na fertilidade do solo após três aplicações. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 2, p. 288-296, 2013.

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

MARIN, L. M. K. S.; BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; CARAFINI, C.; LIMA, M. R.; SERRAT, B. M.; MOCHIDA, G. A. Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 113-118, 2010.

MARTINS, D. R.; CAMARGO, O. A.; MELO, L. C. A.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A. Estado nutricional de cafeeiros comerciais após aplicações de lodo de esgoto como condicionador do solo. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 58, n. 3, p. 248-256, 2015.

MELO, W.J. **Variação do N-amoniaco e N-nitrato em um latossolo roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lallab* L.)**. 1974. 104 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; FERNANDES, L. A.; CRUZ, S. F.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N. Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, v. 87, n. 1-2, p. 123-135, 1998.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 655-663, 2003.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 581-593, 2001.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 505-519, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PRATES, F. B. S. **Crescimento, desenvolvimento e nutrição de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2010.

PROCHNOW, L. I. **Avaliação e manejo da acidez do solo**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2014. 5 p. (Informações Agronômicas, 146).

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: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

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

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; GUILHERME, L. R. G.; DYNIA, J. F. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em Latossolo Vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 15-23, 2004.

REI, E. F.; MAIA, L. R.; ARAUJO, G. L.; GARCIA, G. O.; PASSO, R. R. Alterações no pH, matéria orgânica e CTC efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 31-38, 2009.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 623-639, 2004.

SARRUGE, J.A.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SILVA, L. F. M.; COSCIONE, A. R.; ANDRADE, C. A.; FERRACINI, V. L. Alumínio, cálcio e nitrato em solução do solo de área após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 30., 2012, Maceió. **Resumos...** Maceió: SBCS, 2012. p. 1-4.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, 2003.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. **Chemosphere**, v. 67, n. 11, p. 2229-2240, 2007.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1231-1240, 2008.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. 1. ed. São Paulo: Sapesp, p. 89-131, 2001.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Acid digestion of sediments, sludges and soils**. Metod 3050. Washington: EPA, 1996. 12 p.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1989. 37 p.

VOLPE, C. A.; CUNHA, A. R. **Dados meteorológicos de Jaboticabal no período de 1971-2000**, Jaboticabal, Comissão de Assuntos Relevantes da Câmara Municipal de Jaboticabal, 2008. 60 p.

WANG, X.; CHEN, T.; GE, Y.; JIA, Y. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. **Journal of Hazardous Materials**, n. 160, v. 2-3, p. 554-558, 2008.

CAPÍTULO 3 - Fracionamento do fósforo orgânico em Latossolos adubados com o lodo de esgoto

RESUMO - O lodo de esgoto além de ser fonte de fósforo pode atuar diminuindo a adsorção do elemento no solo, devido ao seu elevado teor de matéria orgânica que poderá fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelo sítio de adsorção. Portanto, o objetivo foi avaliar as alterações das formas de fósforo orgânico em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, adubados com dose crescente de lodo de esgoto. O experimento foi instalado em condições de campo em Jaboticabal-SP, no ano agrícola 1997/1998. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: 0 (controle, fertilização mineral), 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto (base seca). O lodo de esgoto foi aplicado a lanço nas parcelas, com a umidade de 5% e foi distribuído uniformemente na área total das parcelas, incorporado por meio de gradagem leve na camada de 0 a 0,1 m de profundidade. Após um ano da aplicação do lodo de esgoto, no ano agrícola 2013/2014, as amostras deformadas de solo foram coletadas na área útil da parcela, na camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. A partir das amostras de terra fina seca ao ar, foi realizado o fracionamento do fósforo: separando as formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis de fósforo inorgânico e orgânico. Em todas as frações, o fósforo orgânico foi obtido da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico, determinados no mesmo extrato, após digestão (fósforo total) e sem digerir (fósforo inorgânico). Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de regressão polinomial. A dose crescente de lodo de esgoto promoveu aumento do teor de fósforo orgânico medido por diferentes extratores, principalmente na camada de 0-0,1 m. A adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo no solo nas frações orgânico lábil e moderadamente lábil, na camada de 0-0,1 m dos Latossolos. A adubação com dose de lodo de esgoto não contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico a adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Palavras-chave: ácidos fúlvicos, adubo orgânico, biossólidos

Fractionation of organic phosphorus in Oxisols fertilized with sewage sludge

ABSTRACT - The sewage sludge besides being a source of phosphorus can act by reducing the adsorption of the element in the soil due to its high content of organic matter that can provide organic ions that compete with the phosphate by the adsorption site. Therefore, the objective was to evaluate the alterations of organic phosphorus forms in an Eutrophic Red Latosol and a Dystrophic Red Latosol, fertilized with increasing dose of sewage sludge. The experiment was installed in field conditions in Jaboticabal-SP, in the agricultural year 1997/1998. The experimental design was a randomized block with four treatments and five replicates. The treatments were: 0 (control, mineral fertilization), 5, 10 and 20 t ha⁻¹ of sewage sludge (dry basis). The sewage sludge was applied to haul in the plots, with 5% moisture and was evenly distributed in the total plots area, incorporated by means of light harrowing in the 0 to 0.1 m depth layer. After one year of sewage sludge application, in the agricultural year 2013/2014, the deformed soil samples were collected in the plot area, in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layer. From the air-dried fine earth samples, phosphorus fractionation was performed: separating the labile, moderately labile, non-labile forms of inorganic and organic phosphorus. In all fractions, the organic phosphorus was obtained from the difference between total phosphorus and inorganic phosphorus, determined in the same extract, after digestion (total phosphorus) and undigested (inorganic phosphorus). The results were submitted to analysis of variance (F test) and polynomial regression. The increasing dose of sewage sludge promoted an increase in the organic phosphorus content measured by different extractors, mainly in the 0-0.1 m layer. Fertilization with sewage sludge dose contributed to increase soil phosphorus in the labile and moderately labile organic fractions in the 0-0.1 m layer of the Oxisols. Fertilization with sewage sludge dose did not contribute to increase the total organic phosphorus in the 0-0.1 and 0.1-0.2 m layers of Eutrophic Red Latosol. In the Dystrophic Red Latosol, the fertilization with sewage sludge dose contributed to increase the total organic phosphorus in the layers of 0-0.1 and 0.1-0.2 m.

Keywords: fulvic acids, organic fertilizer, biosolids

Introdução

O tratamento de esgoto vem a gerar águas residuais com baixa carga poluidora e também um resíduo chamado de lodo de esgoto ou bio sólido, que é composto por matéria orgânica, nutrientes e alguns elementos potencialmente tóxicos. A disposição adequada desse resíduo é um dos principais desafios a ser enfrentado pelos gestores ambientais (GALDOS; MARIA; CAMARGO, 2004). A aplicação de lodo de esgoto em terras agrícolas tem-se tornado cada vez mais atraente, pelos altos custos e impactos ambientais relacionados com os demais métodos de disposição, pela presença de nutrientes, matéria orgânica e a necessidade de redução de custos na agricultura.

O lodo de esgoto contém consideráveis quantidades de elementos essenciais para as plantas, que podem substituir parcialmente os fertilizantes minerais. O uso do lodo de esgoto como fertilizante aumenta os teores de fósforo disponíveis no solo (NASCIMENTO et al., 2004). Além de ser fonte de fósforo, o lodo de esgoto pode atuar diminuindo a adsorção do elemento em solo, devido ao seu elevado teor de matéria orgânica que poderá fornecer íons orgânicos que competem com o fosfato pelo sítio de adsorção (HUE, 1995).

Os solos das regiões tropicais e subtropicais são ricos em sesquióxidos de ferro e de alumínio e, como consequência, uma fração considerável do íon fosfato pode se ligar ao ferro e alumínio formando a strengita ($\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$) e a variscita ($\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$). Outra parte do fósforo liga-se ao cálcio, formando diversos compostos de fosfato de cálcio, desde os mais simples, como fosfato dicálcico dihidratado, até os mais complexos como o fosfato octocálcico, a hidroxiapatita, a fluorapatita. Finalmente, uma fração variável de fósforo permanece na forma orgânica, como fosfolipídeos, fitina, ácidos nucleicos e nucleoproteínas (CATANI; BATAGLIA, 1968).

Portanto, naturalmente o solo pode assumir o papel de fonte ou de dreno de fósforo, quando apresentar reservas favoráveis à planta ou quando competir com a planta, fixando parte do fósforo adicionado como fertilizante. Com o aumento do intemperismo, principalmente em condições tropicais, os solos mudam de fonte para dreno, tornando-se mais eletropositivos e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos (ROLIM NETO et al., 2004).

Dessa forma, a tendência é que o fósforo permaneça na forma inorgânica, uma vez que apresenta alta afinidade com os colóides minerais, principalmente com os óxidos de ferro e alumínio. Porém, com a melhoria nas condições biológicas através dos sistemas de cultivo ou uso de fertilizantes orgânicos, normalmente proporciona maior aporte de matéria orgânica e, conseqüentemente, parte do fósforo é incorporada aos compostos orgânicos (SANTOS, 2000).

A matéria orgânica pode diminuir a adsorção de fósforo pela liberação de ácidos orgânicos, que competem pelos sítios de adsorção, ou pela formação de compostos com o fosfato na solução do solo e ou pela formação de complexos com alumínio e ferro (ANDRADE et al., 2003). Segundo Pavinato e Rosolem (2008), os ácidos húmicos e fúlvicos, compostos mais estáveis e de longa persistência, também podem competir pelos sítios de adsorção e disponibilizar alguns nutrientes aniônicos. Ainda Pavinato e Rosolem (2008), o ácido carbônico que se forma a partir do CO₂, proveniente da respiração microbiana e radicular, ainda que não seja um ácido orgânico, atua de forma similar, especialmente em relação aos fosfatos de cálcio no solo.

A utilização do lodo de esgoto como adubo contribui para elevar o teor de fósforo no solo, porque as doses de lodo de esgoto são calculadas com base na necessidade de nitrogênio das culturas, não levando em consideração a necessidade de fósforo ou o destino do fósforo aplicado com o resíduo, ou seja, pode aumentar o acúmulo de fósforo no solo (RAMOS; COSCIONE; CAMARGO, 2010).

Segundo Ramos, Coscione e Camargo (2010), para entender melhor o acúmulo e a dessorção de formas de fósforo segundo sua labilidade, é necessário conhecer as diferentes frações do elemento, mediante à utilização sequencial de diferentes soluções extratoras. Ou seja, distinguir essas frações é fundamental para aprofundar o conhecimento dos efeitos do lodo de esgoto sobre a dinâmica do fósforo no solo, visto que o valor absoluto da concentração de fósforo obtido pode expressar diferentes formas desse elemento no solo.

O lodo de esgoto é rico em material orgânico e em quantidade de fósforo, portanto a aplicação desse resíduo no solo promove o incremento nas formas de fósforo orgânico. Diante disso, o objetivo foi avaliar as alterações das formas de

fósforo orgânico em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, adubados com dose crescente de lodo de esgoto.

Material e métodos

Descrição das áreas experimentais

Os experimentos foram realizados em dois Latossolos e em condições de campo na área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, tendo início no ano agrícola 1997/1998. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, clima tropical, com estação seca de inverno (VOLPE; CUNHA, 2008).

O solo da área experimental localizada nas coordenadas geográficas 21° 14' 46,81" S e 48° 17' 07,85" W, a uma altitude de 550 m, é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico, textura argilosa, A moderado caulínítico-oxídico, e o solo da área localizada nas coordenadas geográficas: latitude 21° 13' 57,96" S e longitude 48° 17' 06,18" W, a uma altitude de 620 m, é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, textura média, A moderado caulínítico (EMBRAPA, 2013).

A Tabela 1 apresenta os valores médios da composição granulométrica e os teores médios de óxido de ferro e de alumínio dos Latossolos, nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Tabela 1. Valores médios da composição granulométrica e de óxidos de ferro (Fe_2O_3) e alumínio (Al_2O_3) nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m dos Latossolos.

Camada (m)	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico					LATOSSOLO VERMELHO Distrófico				
	Argila	Silte	Areia	Fe_2O_3	Al_2O_3	Argila	Silte	Areia	Fe_2O_3	Al_2O_3
	-----g kg ⁻¹ -----			-----%-----		-----g kg ⁻¹ -----			-----%-----	
0-0,1	530,17	276,03	193,80	14	39	284,30	69,60	646,10	5	16
0,1-0,2	538,17	270,18	191,65	14	39	299,35	68,10	632,55	6	19

Os Latossolos são de grande ocorrência na região e em todo o Estado de São Paulo e, em geral, o material geológico é constituído por arenitos do Grupo Bauru, Formação Adamantina e por basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (IPT, 1981).

Histórico da área experimental

Os experimentos foram instalados em novembro do ano agrícola de 1997/1998, e as doses de lodo de esgoto aplicadas (base seca) foram: 0 (controle), 2,5, 5 e 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. A dose de 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto foi estabelecida para fornecer a quantidade de nitrogênio exigido pela planta do milho, admitindo-se que 1/3 do nitrogênio contido no resíduo seria disponibilizado para a cultura.

A partir do segundo ano, as parcelas com o tratamento dose de 0 t ha⁻¹ passaram a ser adubadas com fertilizantes mineral simples, de acordo com a análise do solo e as recomendações de Raij et al. (1997). Do quarto ano (ano agrícola 2000/2001) em diante, as parcelas com o tratamento 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto passaram a ser adubadas com 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

A partir do ano agrícola 2000/2001, nas parcelas com tratamento com dose de lodo de esgoto, também passou a ser feita a aplicação de fertilizantes químicos simples, de acordo com análise do solo e as recomendações de Raij et al. (1997), de modo que as parcelas recebessem as mesmas quantidades de potássio e, assim, pudessem atender às exigências nutricionais das culturas avaliadas nos dezessete anos de experimentação (Tabela 2).

Tabela 2. Culturas plantadas nos Latossolos e origem do lodo de esgoto usado durante os 17 anos do experimento.

Ano agrícola	Cultura	Local
1997/1998 a 2001/2002	Milho	Barueri
2002/2003	Girassol	Barueri
2003/2004	Crotalária	Barueri
2004/2005	Milho	Barueri
2005/2006 a 2006/2007	Milho	Franca
2007/2008	Milho	Barueri
2008/2009	Girassol	Barueri
2009/2010 a 2013/2014	Milho	Monte Alto

O lodo de esgoto, aplicado como tratamento nas parcelas durante os dezessete anos de experimentação, foi obtido em diferentes Estações de Tratamento de Esgoto, operadas pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), conforme consta na Tabela 2.

Delineamento experimental e tratamentos

Os experimentos foram inicialmente instalados em novembro de 1997, adotando-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais de 60 m² (6 m x 10 m) cada. Os tratamentos utilizados no ano agrícola 2013/2014 foram: 0 (controle, com fertilização mineral), 5, 10 e 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca.

Dessa forma, os tratamentos em doses acumuladas no décimo sétimo ano agrícola foram: 0 (controle), 85, 170 e 287,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca. Sendo que no tratamento controle, foi realizada a fertilização mineral baseada na análise de fertilidade e nas recomendações de Raij et al. (1997).

Os tratamentos correspondentes às doses acumuladas de lodo de esgoto foram obtidos da seguinte forma: Dose de 85 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 17 anos x 5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca; Dose de 170 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 17 anos x 10 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca; Dose 287,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto = 3 anos x 2,5 t ha⁻¹ de lodo de esgoto + 14 anos x 20 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, base seca.

Caracterização do lodo de esgoto

A caracterização química do lodo de esgoto (Tabela 3), usado no décimo sétimo ano agrícola, foi realizada com uma amostra composta, formada por seis amostras simples, coletadas em diferentes pontos da massa do resíduo. A amostra inicialmente foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 60 - 70° C até atingir massa constante. O resíduo assim seco foi submetido à moagem em macromoinho tipo Willey, dotado de peneira com 40 mesh e homogeneizado, sendo então devidamente acondicionado em saco de polietileno, identificado e armazenado em câmara seca até o momento das análises (ABNT, 2004).

A concentração de nitrogênio foi determinada pelo método de Kjeldahl (MELO, 1974); o fósforo, por espectrofotometria (MALAVOLTA et al., 1997); o potássio, por fotometria de chama (SARRUGE; HAAG, 1974); o enxofre, por turbidimetria (VITTI, 1989) e os demais elementos, por espectrofotometria de absorção atômica no extrato da digestão com HNO₃ + H₂O₂ + HCl segundo método 3050b (USEPA, 1996).

Tabela 3. Caracterização química do lodo de esgoto usado no décimo sétimo ano e limites máximos permitidos.

Atributos químicos do lodo de esgoto	Teor	Concentração máxima permitida no lodo de esgoto (mg kg ⁻¹)	Acumulo máximo pela aplicação de lodo de esgoto (kg ha ⁻¹) ¹
Macronutrientes (g kg ⁻¹)			
Nitrogênio	45,00	-	-
Fósforo	20,00	-	-
Potássio	2,50	-	-
Cálcio	20,10	-	-
Magnésio	1,33	-	-
Enxofre	2,38	-	-
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)			
Boro	51,65	-	-
Cloro	1,14	-	-
Ferro	4100,00	-	-
Manganês	0,70	-	-
Zinco	0,50	7500	2800
Cobre	0,19	4300	1500
Molibdênio	1,77	75	50
Níquel	0,02	420	420
Elementos traços (mg kg ⁻¹)			
Cadmio	1,66	85	39
Cromo	0,05	-	1000
Chumbo	0,10	840	300
Bário	2,36	-	1300
Cobalto	15,04	-	-
Arsênio	4,50	75	41
Mercúrio	3,20	57	17
Selênio	<0,05	100	100

¹Resolução n° 375 (CONAMA, 2006).

Instalação e condução do experimento

No ano agrícola 2013/2014, o lodo de esgoto foi aplicado a lanço nas parcelas, com a umidade que chegou da Estação de Tratamento de Esgoto à 5%. O lodo de esgoto foi distribuído uniformemente na área total das parcelas, incorporado por meio de gradagem leve na camada de 0 a 0,1 m de profundidade. Após a aplicação do lodo de esgoto, as parcelas foram sulcadas em espaçamento de 0,90 m e o fertilizante mineral simples (sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio) foi aplicado no sulco de semeadura (Tabela 4).

O milho híbrido 2B710PW DOW foi semeado logo após a fertilização mineral. A semeadura do milho foi realizada com espaçamento entrelinhas de 0,90 m, com 7 a 8 sementes por metro linear. A adubação de cobertura foi realizada com fertilizante mineral simples (sulfato de amônio e cloreto de potássio), quarenta dias após o plantio da cultura do milho (Tabela 4).

Tabela 4. Adubação de plantio e de cobertura para a cultura do milho utilizando fertilizantes químicos simples no décimo sétimo ano agrícola.

Nutrientes	Dose de lodo de esgoto (t ha ⁻¹)			
	0	5	10	20
Adubação de plantio (kg ha ⁻¹)				
N	30	--	--	--
P ₂ O ₅	50	--	--	--
K ₂ O	50	36	22	--
Adubação de cobertura 40 dias após o plantio (kg ha ⁻¹)				
N	140	--	--	--
P ₂ O ₅	--	--	--	--
K ₂ O	40	40	40	40

N = sulfato de amônio (21% de N), P₂O₅ = superfosfato simples (18% de P₂O₅) e K₂O = cloreto de potássio (60% de K₂O).

Amostragem, preparo e análise química do solo

Após um ano da aplicação do lodo de esgoto, que foi realizada no agrícola 2013/2014, ou seja, na última quinzena de outubro do ano agrícola 2014/2015, foram coletadas as amostras de solo deformadas na área útil de 32 m² de cada parcela, na camada de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, com auxílio de trado do tipo holandês. A área útil foi determinada considerando bordadura, 1 m das extremidades da parcela.

Em cada parcela, foram coletadas vinte amostras simples e foram misturadas para formar uma amostra composta. As amostras compostas foram colocadas em embalagens de plástico, devidamente identificadas e enviadas para o laboratório. Ao chegar no laboratório, as amostras foram imediatamente colocadas para secar ao ar e à sombra, em cima de papel Kraft identificado, foram destorroadas, homogeneizadas, passadas em peneira de malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar e colocadas em caixas, armazenadas para posterior análises. A partir das amostras de terra fina seca ao ar, foi o fracionamento do fósforo orgânico.

O fracionamento do fósforo foi feito segundo esquema apresentado por Kovar e Pierzynski (2009), modificado por Braos (2013), no qual são separadas as formas lábeis, moderadamente lábeis, e não lábeis de fósforo inorgânico e orgânico. Em todas as frações, o fósforo orgânico foi obtido da diferença entre fósforo total e fósforo inorgânico, determinados no mesmo extrato, após digestão (fósforo total) e sem digerir (fósforo inorgânico). O fósforo lábil foi obtido somando o fósforo total (após a digestão), extraído com bicarbonato de sódio e fósforo resina. O fósforo orgânico dos ácidos húmicos foi calculado pela diferença entre fósforo orgânico dos ácidos húmicos + fúlvicos e fósforo orgânico dos ácidos fúlvicos. O fósforo orgânico moderadamente

lável foi obtido somando o Po-HCl e o fósforo orgânico dos ácidos fúlvicos. O fósforo orgânico não lábil foi calculado somando-se as formas fósforo orgânico dos ácidos húmicos e fósforo orgânico residual. O fósforo não lábil foi calculado somando-se as formas fósforo orgânico não lábil e Pi-HCl. O fósforo orgânico total foi obtido somando-se o fósforo orgânico lábil, o moderadamente lábil e o não lábil. O fósforo total foi obtido somando-se todas as frações inorgânicas e orgânicas.

As alterações feitas por Braos (2013) em relação ao método original foram: o uso de amostra seca em lugar de solo úmido, tempo de extração com a solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ de 6 horas, em substituição a 16 horas. Essas alterações foram feitas com base em testes preliminares.

As formas lábeis foram extraídas transferindo-se 0,5 g de solo e 25 mL de solução de NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 8,5) para tubo de centrífuga de 50 mL. A suspensão foi agitada por 6 horas, centrifugada a 2.500 rotação por minuto (rpm) por 15 minutos, o sedimento foi preservado para extração do fósforo orgânico moderadamente lábil e 2,5 mL do sobrenadante (Extrato A) foi transferido para balão volumétrico de 50 mL, adicionando-se 10 mL de água deionizada. Para a determinação do fósforo inorgânico lábil segundo Murphy e Riley (1962), o valor de pH foi corrigido através da adição de solução de HCl $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ 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 H_2SO_4 $1,25 \text{ mol L}^{-1}$, contendo 6 g L^{-1} de molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), $0,1454 \text{ g L}^{-1}$ de tartarato de antimônio e potássio ($\text{C}_8\text{H}_4\text{K}_2\text{O}_{12}\text{Sb}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) e $5,28 \text{ g L}^{-1}$ de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$). O volume do balão foi completado com água desionizada e, depois de 20 minutos, foi feita leitura em espectrofotômetro a 880.

Na determinação do fósforo lábil total, alíquotas de 2,5 mL do Extrato A foram transferidas para tubos de digestão, aos quais foram adicionados 0,25 g de persulfato de potássio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) e 3 mL de solução de H_2SO_4 $2,5 \text{ mol L}^{-1}$. Os tubos foram aquecidos a 100°C (± 15 minutos), depois foram aquecidos a 150°C durante 30 minutos, em bloco digestor, para eliminar o excesso de H_2O_2 formado na dissolução do $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ em meio ácido. O conteúdo dos tubos foi transferido para balões volumétricos de 50 mL em processo da tríplex lavagem com auxílio de funil, pisseta com água deionizada e agitador de tubos. O pH foi corrigido utilizando 5 gotas do *p*-

nitrofenol como indicador e adicionando gotas de solução de NaOH $2,0 \text{ mol L}^{-1}$ (utilizando pipeta de Pasteur), 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 fósforo foi feita pelo método colorimétrico já descrito.

A extração do fósforo orgânico moderadamente lábil foi feita no sedimento da fração anterior, que foi ressuspenso em 25 mL de solução de HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (utilizando agitador de tubos), agitado por 3 horas e centrifugado a 2.500 rpm por 15 minutos. O sedimento foi utilizado na extração posterior, com solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, e o sobrenadante (extrato B) foi empregado nas determinações do fósforo inorgânico moderadamente lábil e total, como descrito para fósforo inorgânico lábil e total, porém se utilizaram 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 fósforo na solução foi determinada pelo método colorimétrico já descrito.

O fósforo orgânico associado aos ácidos húmicos e aos ácidos fúlvicos foi extraído subsequentemente, após lavarmos o resíduo da fração anterior com 10 mL de 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 horas e a centrifugação a 2.500 rpm por 15 minutos. Para separar os ácidos húmicos (fósforo orgânico não lábil) dos ácidos fúlvicos (fósforo orgânico moderadamente lábil), foi feita a acidificação do extrato sobrenadante (15 mL em tubos de centrifuga de 50 mL) com HCl concentrado até pH 1,0 – 1,5 para precipitar os ácidos húmicos e centrifugado a 2.500 rpm por 15 minutos. Uma alíquota de 2,5 mL do extrato foi retirada antes da acidificação, e outra foi coletada após a acidificação, nas quais foram determinados o fósforo dos ácidos húmicos + ácidos fúlvicos e o fósforo dos ácidos fúlvicos, respectivamente. As duas alíquotas foram submetidas à digestão com o persulfato de potássio, e a determinação do fósforo na solução foi realizada da mesma forma que nas frações anteriores. O fósforo orgânico dos ácidos húmicos foi obtido pela diferença entre fósforo dos ácidos

húmicos + ácidos fúlvicos e fósforo dos ácidos fúlvicos. Nessa etapa do fracionamento, o fósforo inorgânico é considerado desprezível.

Por fim, na extração das formas mais resistentes de fósforo orgânico não lábil, o resíduo da fração anterior foi transferido para cápsula de porcelana pelo processo de tríplice lavagem, utilizando pisseta com água deionizada e agitador de tubos. Após ser seco em estufa a 60°C para retirar o excesso de água, foi levado a mufla e incinerado a 550°C por 1 hora. A fim de transferir as cinzas para o tubo de centrifuga de 50 mL, foram adicionados 5 mL de solução de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1} e, para fazer a raspagem com espátula, repetiu-se por mais uma vez o processo visando à retirada total das cinzas da capsula de porcelana. Depois, com os 15 mL restantes da solução de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1} , foi feita a lavagem da espátula e da cápsula de porcelana, seguida de dissolução das cinzas por agitação durante 24 horas com 25 mL de solução de H_2SO_4 1,0 mol L^{-1} . Após a agitação e a centrifugação a 2.500 rpm por 15 minutos, foi retirada alíquota de 2,5 mL, que foi transferida para balão volumétrico de 50 mL e foi determinado o fósforo da solução.

Análise estatística dos resultados

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de regressão polinomial empregando o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

Resultados e discussão

O acúmulo de fósforo orgânico está condicionado ao aumento no teor de matéria orgânica (MAKAROV et al., 1997; CUNHA et al., 2007; CERETTA et al., 2010). Segundo Costa et al. (2014), a aplicação de lodo de esgoto no solo pode resultar em aumento dos teores de fósforo, tanto associado às partículas do solo quanto às partículas do próprio lodo de esgoto.

Fósforo orgânico lábil no solo

Os resultados plotados na Figura 1 mostram que os teores de fósforo orgânico lábil aumentaram linearmente com o aumento da dose de lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m, nos dois Latossolos, corroborando os resultados de Galdos, Maria e

Camargo (2004); Costa et al. (2014). O aumento do fósforo orgânico lábil pode ocorrer devido à transformação de formas mais estáveis de fósforo orgânico em formas mais lábeis com o cultivo, e a tamisação do solo pode potencializar a extração de fósforo orgânico lábil, por diminuir a agregação do solo e, logo, a proteção física da matéria orgânica, possibilitando que o fósforo orgânico fosse extraído com solução de NaHCO_3 0,5 mol L^{-1} , com maior facilidade (GATIBONI et al., 2007).

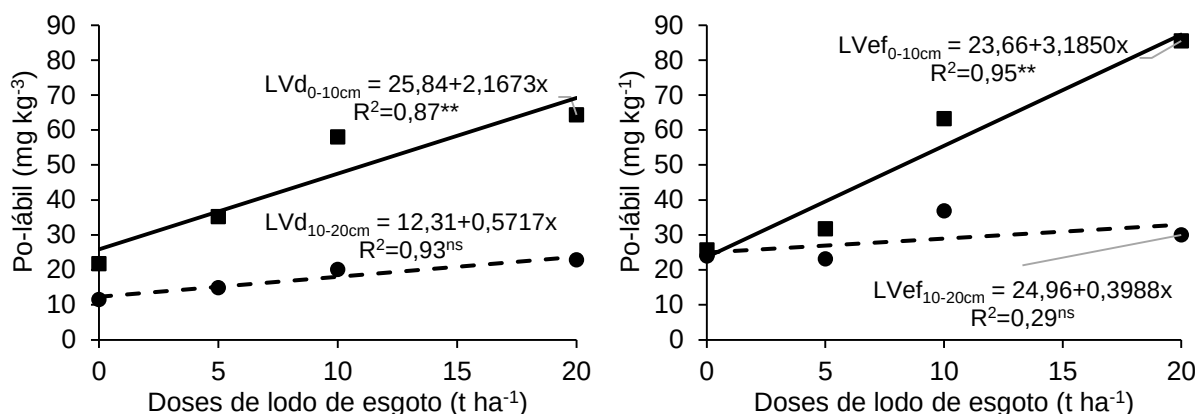


Figura 1. Fósforo orgânico lábil (Po-lábil) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ns: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

A preservação da matéria orgânica do solo é importante para aumentar a forma de fósforo orgânico lábil (BUSATO; CANELLAS; VELLOSO, 2005). Motta et al. (2002) constataram que o fósforo orgânico lábil constituiu entre 75 a 90% do fósforo lábil em solos não cultivados e, em solos cultivados, os valores verificados de fósforo orgânico lábil foram entre 52 a 58% (MOTTA et al., 2002).

Na camada de 0,1-0,2 m dos Latossolos, o aumento do fósforo orgânico lábil com a adição de dose crescente de lodo de esgoto foi não significativo, isso pode indicar que a absorção de fósforo inorgânico lábil pelas plantas desencadeou um processo de mineralização de parte do fósforo orgânico lábil, repondo o fósforo inorgânico lábil (GATIBONI et al., 2007). Essa fração de fósforo orgânico está relacionada a compostos orgânicos de fácil decomposição, o que não permite que ocorra acúmulo expressivo por ser rapidamente mineralizada pelos microrganismos do solo (GATIBONI et al., 2008; CERETTA et al., 2010).

O aumento das frações mais lábil e moderadamente lábeis, evidencia que a adição de lodo de esgoto pode disponibilizar o fósforo e esta disponibilidade pode ser

rapidamente reduzida pela interação do nutriente com os componentes dos solos tropicais (GALDOS, MARIA; CAMARGO, 2004).

Fósforo orgânico moderadamente lábil

A fração de fósforo orgânico extraído com ácido clorídrico aumentou linearmente com o a dose de lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m, nos Latossolos (Figura 2). Apesar dessa fração ser considerada de pouca importância, por causa dos seus teores que geralmente são relativamente pequenos em relação as outras formas e pouco são disponibilizados para as plantas em solos intemperizados, no presente experimento, o aumento dessa forma pode estar relacionado ao aumento de fósforo no sistema, com o aumento da dose de lodo de esgoto associada à calagem, indicando que ocorreu a neoformação de fosfato de cálcio (GATIBONI et al., 2007).

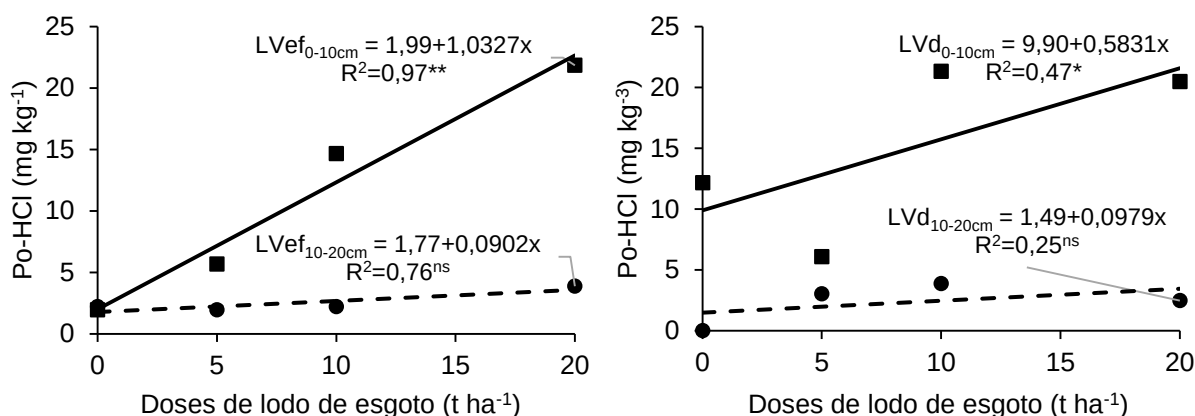


Figura 2. Fósforo orgânico extraído com solução de HCl (Po-HCl) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ^{ns}: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

A solução extratora ácido clorídrico foi o que menos extraiu o fósforo orgânico, corroborando Braos et al. (2015). Essa etapa da extração é o pré-tratamento da amostra que tem a finalidade de extrair o fósforo inorgânico que pode interferir nas extrações subsequentes (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009 citado por BRAOS et al., 2015). Porém, qualquer fósforo orgânico extraído com a solução de ácido clorídrico é considerado parte da fração de fósforo moderadamente lábil (ZHANG et al., 2000), porque extrai o fósforo orgânico da fração húmica da matéria orgânica e em ligações orgânicas de cálcio e alumínio (KOVAR; PIERZYNSKI, 2009 citado por BRAOS et al., 2015).

Assim como Galdos, Maria e Camargo (2004), na camada de 0,1-0,2 m dos Latossolos, a fração de fósforo orgânico ligada ao cálcio e extraída com solução de ácido clorídrico apresentou valores baixos e não aumentou com adição de dose crescente de lodo de esgoto, possivelmente porque a camada não tinha altos teores de cálcio e o lodo de esgoto aplicado não foi tratado com cal. Além disso, a incorporação do calcário e do lodo de esgoto foi realizada na camada 0-0,1 m.

A extração feita com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ foi a do fósforo ligado aos ácidos fúlvicos, que faz parte da fração moderadamente lábil e, de acordo com a Figura 3, os teores de fósforo dos ácidos fúlvicos aumentaram com a adição de dose crescente de lodo de esgoto nas camadas estudadas dos Latossolos. Tal resultado contradiz os apresentados por Gatiboni et al. (2007), que constataram a diminuição dos teores de fósforo orgânico extraído com a solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ após os cultivos, indicando que a diminuição dos teores disponíveis provocou a mineralização de fósforo orgânico e que, provavelmente parte tenha sido absorvido pelas plantas e outra adsorvido ao solo em outras formas.

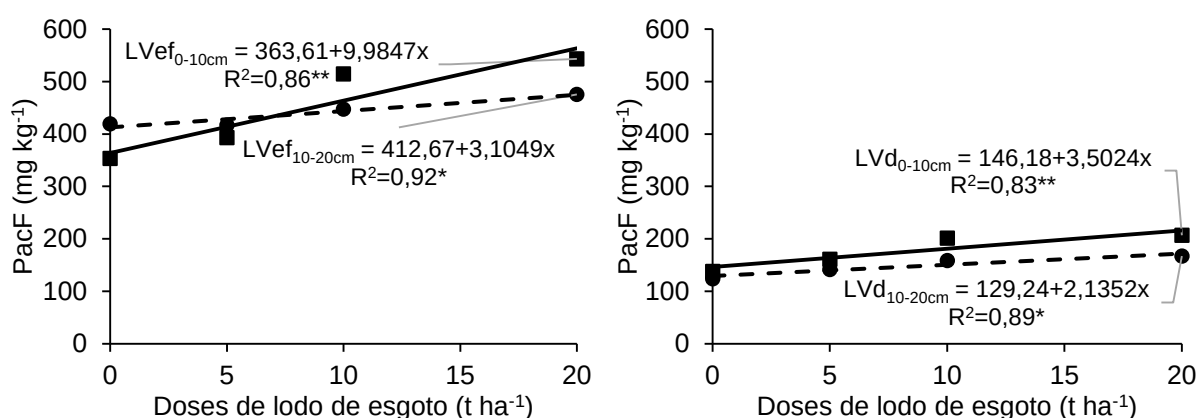


Figura 3. Fósforo em ácido fúlvico (PacF) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ns: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

A acessibilidade ao fósforo associado aos ácidos fúlvicos pelos microrganismos e plantas pode ser mais fácil do que ao fósforo associado aos ácidos húmicos; visto que o fósforo nos ácidos húmicos apresenta maior resistência à mineralização (MATOS et al., 2006).

A adição de dose de lodo de esgoto por longo período, a exsudação radicular das plantas cultivadas (Tabela 2) e o metabolismo dos microrganismos fazem a

reposição natural de ácidos orgânicos no solo que podem manter o processo de bloqueio dos sítios de adsorção de fósforo de maneira mais contínua. Os ácidos orgânicos de alta massa molecular, como os ácidos fúlvicos, persistem por mais tempo no solo e são mais efetivos que os ácidos orgânicos de baixa massa molecular na inibição da adsorção de fósforo no solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Os teores do fósforo modernamente lábil (Po-HCl+PacF) aumentaram com a dose crescente de lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, o aumento desta fração foi constatado nas duas camadas analisadas (Figura 4).

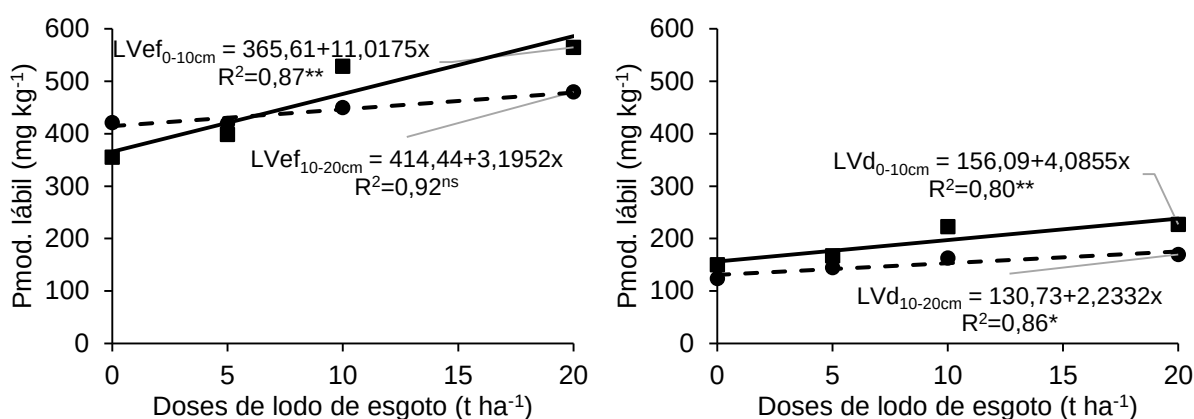


Figura 4. Fósforo moderadamente lábil (Pmod. lábil) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ns: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

A fração de fósforo moderadamente lábil apresenta maior interação com o solo e é pouco participativa quando à disponibilidade das formas mais lábeis é maior. No entanto, a adição de calcário possivelmente provoca a mineralização do fósforo orgânico ou sua transformação em formas orgânicas mais lábeis, devido ao aumento da atividade microbiana do solo (GATIBONI et al., 2007).

O fósforo da fração moderadamente lábil tende a apresentar maior concentração na camada superficial do solo, provavelmente pelo maior teor de matéria orgânica que esta camada contém (MOTTA et al., 2002; GATIBONI et al., 2008).

Possivelmente, parte do teor de fósforo moderadamente lábil tenha se transformado em formas mais lábeis (ARAÚJO; SCHAEFER; SAMPAIO, 2004) ou podem também estar fornecendo fósforo para os compartimentos mais estáveis

(BUSATO; CANELLAS; VELLOSO, 2005), por isso o aumento não significativo do fósforo orgânico na camada de 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico.

Fósforo orgânico não lábil no solo

O fósforo orgânico nos ácidos húmicos sofreu mudanças de forma linear em função da aplicação da dose crescente de lodo de esgoto somente na camada de 0-0,1 m dos Latossolos testados (Figura 5). A quantidade de fósforo nos ácidos húmicos foi cerca de quatro vezes menor que o fósforo orgânico nos ácidos fúlvicos, corroborando Matos et al. (2006); Braos et al. (2015).

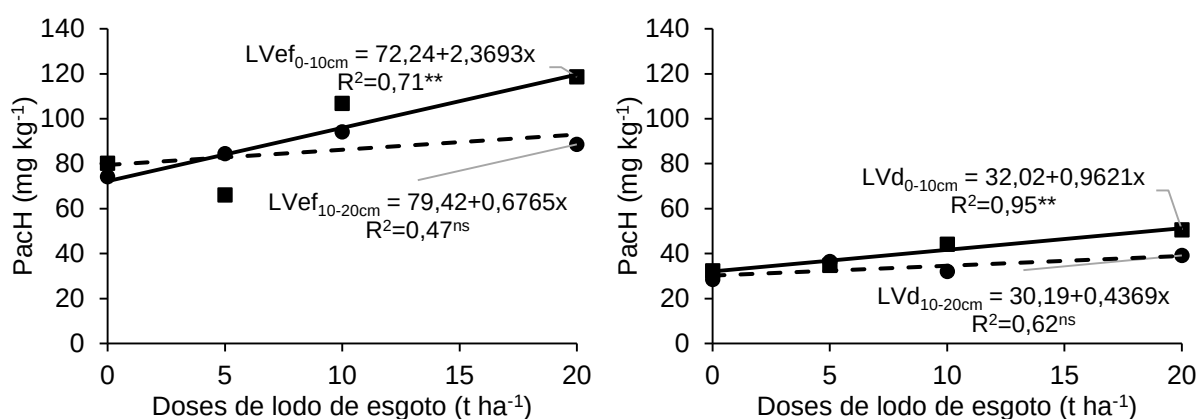


Figura 5. Fósforo em ácido húmico (PacH) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ns: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

O manejo do solo altera o ciclo biogeoquímico do fósforo. No estudo realizado por Busato, Canellas e Velloso (2005), ocorreu o maior teor de fósforo orgânico nos ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos. Em cana crua, o ácido húmico representou 88 e 87% do fósforo orgânico extraído com NaOH, nas camadas de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m. No manejo da cana queimada e sem aplicação de vinhaça, na camada de 0-0,20 m, a participação do ácido húmico foi de 75 e 77% do fósforo orgânico extraído com NaOH, indicando que, em manejos sem preservação da matéria orgânica, os ácidos húmicos são fonte de fósforo para a solução, com maior participação desse componente no acúmulo de fósforo em sistema conservacionista.

O teor de fósforo da fração residual diminuiu com aplicação de lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, corroborando os resultados de Araújo, Schaefer e Sampaio (2004). Nas outras camadas dos

Latossolos, não foi verificada influência significativa da adição de doses de lodo de esgoto na quantidade de fósforo para essa fração (Figura 6). Cabe destacar que resultados parecidos com os encontrados por Galdos, Maria e Camargo (2004); Ceretta et al. (2010).

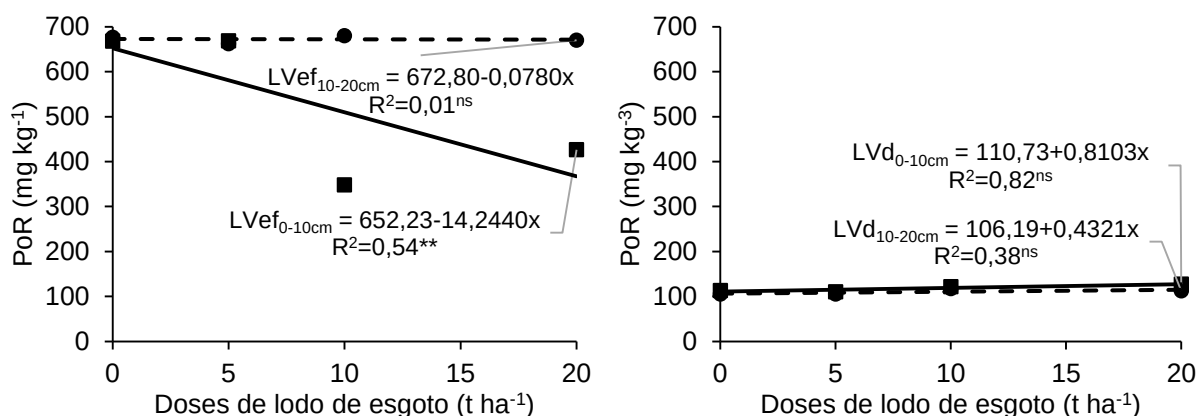


Figura 6. Fósforo orgânico residual (PoR) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ns: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

A não influência das doses de lodo de esgoto no teor da fração fósforo residual pode indicar que o fósforo adicionado no sistema é acumulado preferencialmente nas frações de maior labilidade e que também as modificações não expressivas da fração fósforo residual mostram que o mesmo foi preservado, enquanto as formas de labilidade intermediária tinham capacidade de repor as mais lábeis (GATIBONI et al., 2007).

O teor de fósforo na forma de fósforo residual, principalmente no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, foram muito altos em relação às outras formas do fracionamento, indicando que esse solo é altamente sortivo e que grande parte do fósforo se encontra em formas de alta energia de ligação com os colóides do solo, corroborando os resultados de Galdos, Maria e Camargo (2004); Gatiboni et al. (2007). Segundo Tokura et al. (2011), a fração fósforo residual representa o fósforo orgânico ocluso retido pela hematita, goethita e gibbsita, o que explica o maior teor dessa forma de fósforo orgânico no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico.

A fração de fósforo orgânico não lábil (Pach+PoR) diminuiu significativamente no LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (Figura 7) e, possivelmente, isso está indicando que todas as formas de fósforo são participativas na reposição desse

elemento na solução do solo (GATIBONI et al., 2007). No LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, houve aumento com a dose crescente de lodo de esgoto na camada de 0-0,1 m (Figura 7). Segundo Braos (2013), nessa fração do fósforo orgânico, a tendência é acumular quando solos recebem fósforo em excesso, principalmente na forma de adubos orgânicos.

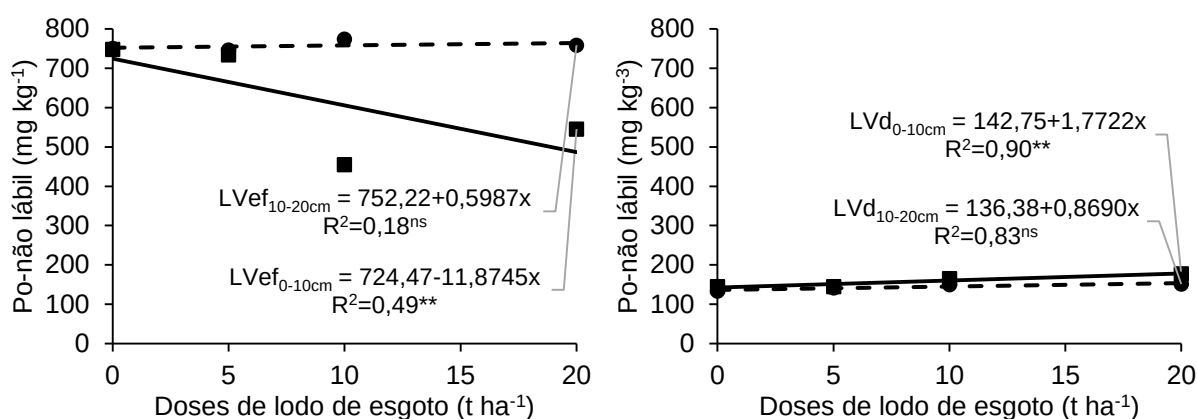


Figura 7. Fósforo orgânico não lábil (Po-não lábil) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ^{ns}: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

As formas de fósforo não lábeis são compostas por fração relativamente insolúveis, ligadas ao cálcio e estáveis de fósforo orgânico, e insolúveis de fósforo inorgânico e não são disponíveis em curto prazo, além de serem as responsáveis pela maior parte do fósforo total nos solos (SOUZA et al., 2007).

Fósforo orgânico total no solo

Os resultados do teor de fósforo orgânico total apresentou aumento não significativo nas duas camadas estudadas do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico. Resultados parecidos foram constatados por Gatiboni et al. (2008) e, pode-se admitir que as quantidades adicionadas de fósforo ao solo via dose de lodo de esgoto, não estão sendo suficientes para promover incremento significativo de fósforo na forma orgânica (MATOS et al., 2006). Enquanto que, no LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, os teores dessa fração aumentaram significativamente nas duas camadas (Figura 8), corroborando os resultados de Ceretta et al. (2010).

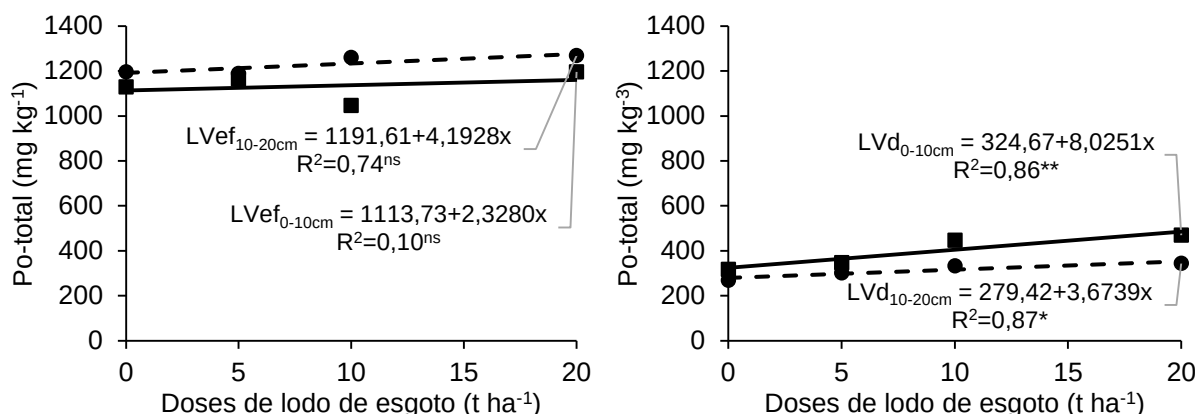


Figura 8. Fósforo orgânico total (Po-total) nos Latossolos em função de doses de lodo de esgoto. **, *, ^{ns}: significativo a 1%, 5% de probabilidade, não significativo para efeitos de doses de lodo de esgoto dentro de camadas de solo.

Os teores de fósforo nas frações mais estáveis do fósforo orgânico, moderadamente lábil e não lábil (Figuras 4 e 7), contribuem para o aumento do teor do fósforo orgânico total (BRAOS, 2013). Embora tenha aumentado os teores de fósforo orgânico na fração moderadamente lábil, o teor de fósforo orgânico da fração não lábil diminuiu na camada de 0-0,1 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico. Possivelmente, isso tenha contribuído para o aumento não significativo do teor de fósforo orgânico total. O aumento dos teores de fósforo da fração moderadamente lábil e não lábil na camada de 0,1-0,2 m foi não significativo e como consequência interferiu no aumento não significativo do fósforo orgânico total.

Em relação ao LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, os teores de fósforo das frações moderadamente lábil e não lábil, na camada de 0-0,1 m, aumentaram significativamente e, na camada de 0,1-0,2 m, o teor de fósforo da fração moderadamente lábil aumentou significativamente. Já o aumento do fósforo da fração não lábil foi não significativo e, mesmo a fração de fósforo orgânico não lábil sendo a que mais contribui para o fósforo orgânico total em relação à fração moderadamente lábil (BRAOS, 2013), o fósforo orgânico total aumentou linearmente.

De modo geral, a absorção do fósforo pelas culturas provoca o desencadeamento de efeito cascata de reposição do fósforo lábil, iniciando primeiramente pelas formas de labilidade intermediária e, em seguida, pelas formas de baixa labilidade, ou seja, todas as formas de fósforo podem ser disponibilizadas para as plantas, porém, quanto maior a interação do fósforo com os colóides do solo,

menor é a velocidade de reposição das formas lábeis (GATIBONI et al., 2007). A forte relação entre o fósforo orgânico total e o conteúdo de argila e óxido de ferro total, aludia que a estabilização ocorre diretamente junto ao componente granulométrica com o envolvimento de compostos de ferro (GUERRA et al, 1996).

A aplicação de lodo de esgoto no solo, por anos consecutivos, altera o ciclo biogeoquímico do fósforo, fazendo com que ocorressem aumentos significativos de teor de fósforo orgânico das frações lábil, moderadamente lábil e não lábil, principalmente na camada superficial, onde teoricamente é feita a incorporação do lodo de esgoto e, conseqüentemente, tem-se o aumento do teor de matéria orgânica. O teor de fósforo nas frações moderadamente lábil e não lábil são as formas que tiveram maior acúmulo nos Latossolos nas duas camadas estudadas.

Conclusões

A adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo no solo nas frações orgânicas lábil e moderadamente lábil na camada de 0-0,1 m dos Latossolos.

As frações orgânicas moderadamente lábil e não lábil apresentaram os maiores teores de fósforo e são as frações que têm maior contribuição na fração orgânica total.

O elevado teor de fósforo orgânico não lábil indica que LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico é altamente sortivo.

A adubação com dose de lodo de esgoto não contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico.

A adubação com dose de lodo de esgoto contribuiu para aumentar o fósforo orgânico total nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10004. **Resíduos Sólidos - Classificação**, 2004.
- 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, n. 6, p. 1003-1011, 2003.

ARAÚJO, M. S. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 259-268, 2004.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr., W. **Experimentação agrônômica & AgroEstat**: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Multipress, v.1, 396, p. 2015.

BRAOS, L. B. **Fracionamento do fósforo orgânico em solo adubado com esterco bovino**. 2013. 34 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

BRAOS, L. B.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; KUHNEN, F. Organic phosphorus fractions in soil fertilized with cattle manure. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 1, p. 140-150, 2015.

BUSATO, J. G.; CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo num Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. I – Fracionamento sequencial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 935-944, 2005.

CATANI, R. A.; BATAGLIA, O. C. Formas de fósforo no solo Latosólico Roxo. In: **Anais**, 25 Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 1968; Piracicaba. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 1968. p. 99-119.

CERETTA, C. A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. L.; CONTI, L.; TRENTIN, G.; MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 593-602, 2010.

CONAMA - COSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Resolução n. 375**, de 29 de agosto de 2006. Publicado no DOU n. 167, de 30 agosto de 2006, Seção 1, p. 141-146. Retificada pela Resolução n. 380, de 2006.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S.; VELLOSO, A. C. X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 667-672, 2007.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho Eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004.

GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1753-1761, 2008.

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

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

HUE, N. V. Sewage sludge. In: Rechcigl J. E. (Ed.). **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: CRC Press; 1995. p. 199-168.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, escala 1:500.000. Mapa, 1981.

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

MAKAROV, M. I.; MALYSHEVA, T. I.; HAUMAIER, L.; ALT, H. G.; ZECH, W. The forms of phosphorus in humic and fulvic acids of alpine soils in the Northern Caucasus. **Geoderma**. v. 80, v. 1-2, p. 61-73, 1997.

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

MATOS, E. S.; MENDONÇA, E. S.; VILLANI, E. M. A.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Formas de fósforo no solo em sistemas de milho exclusivo e consorciado com feijão sob adubação orgânica e mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 625-632, 2006.

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.

MELO, W. J. **Variação do N-amoniaco e N-nitrato em um latossolo roxo cultivado com milho (*Zea mays* L.) e com lablab (*Dolichos lallab* L.)**. 1974. 104 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; VAN RAIJ, B.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M. Adsorção e formas de fósforo em Latossolos: Influência da mineralogia e história de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 349-359, 2002.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

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: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RAMOS, B. Z.; COSCIONE, A. R.; CAMARGO, O. A. Extratores químicos empregados na determinação de P como indicadores ambientais em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1385-1396, 2010.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; CORRÊA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; IBRAIMO, M. M. Adsorção de fósforo, superfície específica e atributos mineralógicos em solos desenvolvidos de rochas vulcânicas do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 953-964, 2004.

SANTOS, D. R. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SARRUGE, J. A.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1535-1544, 2007.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; ALOVOSI, A. A. Dinâmica das formas de fósforo em solos de textura e mineralogia contrastante cultivados com arroz. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 171-179, 2011.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Acid digestion of sediments, sludges and soils**. Metod 3050. Washington: EPA, 1996. 12 p.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal: FUNEP, 1989. 37 p.

VOLPE, C. A.; CUNHA, A. R. Dados meteorológicos de Jaboticabal no período de 1971-2000. In: FORUM DE ESTUDOS DOS PROBLEMAS REFERENTES ÀS MUDANÇAS MESOCLIMÁTICAS NO MUNICÍPIO DE JABOTICABAL, 1., 2008, Jaboticabal: **Relatório final...** Jaboticabal: Comissão de Assuntos Relevantes da Câmara Municipal de Jaboticabal, 2008. CD-ROM.

ZHANG, H.; KOVAR, J. L. Phosphorus fractionation. In: PIERZYNSKI, G. M. (Ed.). **Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.** Manhattan: Kansas State University, 2000. p. 50-59. (Southern Cooperative Series Bulletin, 396).