

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO ADUBADO COM TORTA DE FILTRO E  
FÓSFORO MINERAL EM DIFERENTES PROPORÇÕES**

**DONIZETE ANTONIO MARCELINO**

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO ADUBADO COM TORTA DE FILTRO E  
FÓSFORO MINERAL EM DIFERENTES PROPORÇÕES**

**DONIZETE ANTONIO MARCELINO**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos de obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan

631.8  
M314a

Marcelino, Donizete Antonio.

Atributos químicos do solo adubado com torta de filtro e fósforo mineral em diferentes proporções / Donizete Antonio Marcelino. – Presidente Prudente, 2012.  
39f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2012.

Bibliografia.

Orientador: Carlos Sérgio Tiritan

1. Atributos químicos. 2. Solo. 3. Fósforo. 4. Matéria orgânica. I. Título.

**DONIZETE ANTONIO MARCELINO**

**ATRIBUTOS QUIMICOS DO SOLO ADUBADO COM TORTA DE FILTRO E  
FÓSFORO MINERAL EM DIFERENTES PROPORÇÕES**

Presidente Prudente, 06 de dezembro de 2012

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan  
Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE  
Presidente Prudente - SP

---

Prof. Dr. Edemar Moro  
Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE  
Presidente Prudente - SP

---

Dr. Diego Henriques dos Santos  
Companhia de Desenvolvimento Agrícola de São Paulo - CODASP  
Presidente Prudente - SP

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor orientador, Dr. Carlos Sérgio Tiritan, e ao Dr. José Salvador Simoneti Foloni, pelo empenho na elaboração deste trabalho, pela amizade, conselhos valiosos e apoio em todos os momentos, os quais não foram poucos e demandaram bastante tempo e dedicação.

Ao professores Dr. Fábio Fernando Araújo e ao Dr. Diego Henriques Santos pelas valiosas sugestões para a finalização deste trabalho.

Aos professores do Mestrado em Agronomia da Universidade do Oeste Paulista pela competência, ensinamentos, incentivos, pelo respeito e consideração com os alunos, demonstrado em todos os momentos.

Aos funcionários da Faculdade de Agronomia, laboratórios e bibliotecas da Universidade do Oeste Paulista pelo valioso apoio e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a execução desta dissertação.

*“Quando existe a convicção de que está havendo um avanço diário, mesmo que de um passo apenas, pode-se sentir pela vida uma razão de viver iluminada pela esperança de vencer.”*

***Massaharu Taniguchi***

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	09
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1 Fosfatos Naturais .....	12
2.2 Fósforo no Solo .....	13
2.3 Torta de Filtro .....	17
2.4 Ganhos Econômicos e Ambientais .....	21
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
5 CONCLUSÃO .....	34
REFERÊNCIAS.....	35

## RESUMO

O fósforo é um importante macronutriente, componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucleicos e fosfolípidos, e, também, da adenosina trifosfato. É considerado elemento essencial para as plantas, sendo encontrado em baixa quantidade nos solos brasileiros. O trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos de um solo areno-argiloso e um argiloso em razão de diferentes concentrações de  $P_2O_5$  em fertilizantes organominerais, produzidos a partir de misturas dos fosfatos Arad e Superfosfato triplo com torta de filtro, subproduto da indústria sucroalcooleira. O experimento foi delineado em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial  $5 \times 2 \times 2$ , com os seguintes tratamentos: 2,5, 5, 10, 20 e 30% de  $P_2O_5$  nos fertilizantes organominerais produzidos com adição de Arad e Superfosfato triplo, aplicados em solo arenoso e argiloso. Os fosfatos Arad e Super Triplo aplicados ao solo na forma de fertilizante organomineral apresentaram maior disponibilização de fósforo. A mistura organomineral apresentou expressiva redução nos teores de alumínio trocável do solo, porém, o efeito sobre a acidez potencial do solo foi minimizado à medida que se reduziu o componente orgânico do fertilizante. Os teores de cálcio e o pH do solo também foram melhorados em razão do uso dos fosfatos na forma organomineral, com forte dependência do componente orgânico.

**Palavras-chave:** Fertilização, Fósforo, Matéria Orgânica.

## ABSTRACT

Phosphorus is an important macronutrient structural component of macromolecules such as nucleic acids and phospholipids, and also of adenosine triphosphate. It is considered essential to plants, being found in low amounts in Brazilian soils. The study aimed to evaluate the chemical properties of a sandy soil and clay due to different concentrations of  $P_2O_5$  in organomineral fertilizers produced from mixtures of phosphate Triple superphosphate Arad and filter cake, a byproduct of the sugarcane industry. The experiment was designed in randomized complete block design with four replications, in factorial scheme  $5 \times 2 \times 2$  with the following treatments: 2.5, 5, 10, 20 and 30%  $P_2O_5$  organomineral fertilizers produced with the addition of Arad and triple superphosphate applied in sandy and clay soils. The Triple Super Phosphate Arad and applied to the soil as biofertilizer showed higher availability of phosphorus. The organomineral mixture showed a significant reduction in the content of exchangeable Al soil, however, the potential effect on the acidity of the soil was minimized as it reduced the organic content of the fertilizer. The calcium content and soil pH were also improved due to the use of phosphates in the form organomineral, with a strong dependence of the organic component.

**Key-words:** Fertilization, Phosphorus, Organic Matter.

## 1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um importante macronutriente, componente estrutural de macromoléculas, como ácidos nucleicos e fosfolípidos, e, também, da adenosina trifosfato (ATP). É considerado elemento essencial para as plantas, sendo encontrado em baixa disponibilidade nos solos brasileiros.

Além da baixa disponibilidade de fósforo, os solos altamente intemperizados a exemplo dos solos brasileiros, apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e elevada adsorção aniônica, condições que proporcionam elevada retenção de ânions, como o fosfato, o sulfato e o molibdato, e baixa disponibilidade de bases. Assim, à medida que o intemperismo avança, os solos passam de fonte para dreno de fósforo inorgânico (Pi).

Além das propriedades do solo, a eficiência agrônômica da adubação fosfatada é fortemente afetada pela constituição físico-química dos fertilizantes, pelas práticas de manejo e espécies vegetais cultivadas. De maneira geral, quanto mais argiloso e intemperizado o solo, menores os valores observados de fósforo em solução e maior a capacidade máxima de adsorção, conseqüentemente, menor a disponibilidade de fósforo às plantas. A capacidade máxima de fixação de fósforo (CMAP) pode ser correlacionada positivamente com o conteúdo de argila e alumínio presente no solo e negativamente com a saturação de bases. Valladares, Pereira e Anjos (2003), observaram que houve uma maior capacidade de adsorção de fósforo nos solos com maior textura argilosa, com destaque para os formados a partir de rochas básicas ou alcalinas.

Os adubos fosfatados naturais são classificados basicamente em função da sua solubilidade e disponibilidade para as plantas cultivadas, sendo distinguidos entre os de elevada, média, baixa e muito baixa reatividade. Por exemplo, o fertilizante fosfatado Arad, originado de formações geológicas sedimentares, é uma fonte natural considerada de elevada reatividade, com potencial agrônômico expressivo.

As rochas fosfáticas de formações sedimentares apresentam cristais pequenos, com alto grau de substituição isomórfica, teores elevados de carbonato, menor rigidez e alta porosidade, resultando em fertilizantes naturais fosfatados relativamente mais reativos e de maior disponibilidade para as culturas, quando comparados aos fertilizantes formados a partir de rochas ígneas (HOROWITZ; MEURER, 2004).

Os fertilizantes fosfatados de alta eficiência agrônômica, como os totalmente acidulados, são obtidos em processos industriais de alto custo, a partir de reações de rochas fosfáticas com ácidos sulfúrico e fosfórico, e constituem as fontes de P mais utilizadas na composição dos chamados adubos formulados, utilizados em larga escala na grande maioria das áreas agrícolas do Brasil (PROCHNOW et al., 2004).

De acordo com Horowitz e Meurer (2004), em geral, a eficiência dos adubos fosfatados industrializados é maior no curto prazo, porém, alguns fosfatos naturais têm demonstrado desempenho expressivo quando comparados às fontes solúveis, o que pode ser compensador dependendo do custo da unidade de P.

A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo de clarificação caldo para fabricação do açúcar. Para cada tonelada de cana moída, são produzidos de 30 kg a 40 kg de torta em processo de filtragem rotativa, e de 25 a 25 kg, quando utilizado o processo de filtro prensa. É um composto orgânico rico em cálcio, nitrogênio e potássio, com composição variável, dependendo da variedade da cana e da sua maturação (SANTOS et al., 2010).

Nunes Júnior (2008) relata que a torta de filtro é um excelente produto orgânico para a recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade, Este composto que sai da filtragem com 75-80% de umidade, apresenta em sua composição química média altos teores de matéria orgânica e fósforo, sendo também, rica em nitrogênio e cálcio, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes. O fósforo existente na torta de filtro é orgânico, sendo que sua liberação e do nitrogênio se dão gradativamente, por mineralização e por ataque de micro-organismos no solo. O cálcio, que aparece em grande quantidade, é resultado da chamada caleação do caldo durante o processo de tratamento para a fabricação de açúcar. Já o fósforo é adicionado juntamente com os produtos auxiliares utilizados para floculação das impurezas do caldo.

Na classificação realizada sobre fertilizantes na agricultura brasileira, têm-se os denominados adubos organominerais, que são resultantes de misturas de resíduos orgânicos (animais, vegetais, industriais, etc.) com fertilizantes minerais, cujos objetivos são aumentar os teores de nutrientes dos compostos orgânicos e/ou incrementar a eficiência dos fertilizantes minerais. O autor supracitado argumenta que a aplicabilidade dos fertilizantes organominerais apresenta sérias restrições de

logística e operacionalidade, porém, a demanda pelo uso deste tipo de produto vem crescendo no Brasil nos últimos anos.

O trabalho teve por objetivo avaliar os atributos químicos de solos arenosos e argilosos em razão de diferentes concentrações de  $P_2O_5$  nos fertilizantes organominerais, produzidos a partir de misturas dos fosfatos Arad e Super triplo, associados a torta de filtro.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fosfatos Naturais

O fósforo disponível no mundo está contido nas rochas de depósitos de origens sedimentares, ígneas e biogenéticas (depósito). São constituídos por minerais do grupo das apatitas, variando em composição e textura. Os depósitos sedimentares, bem como os de origem ígnea são os mais importantes economicamente. Já os depósitos biogenéticos são concentrações orgânicas nitrogenadas e quantitativamente menos importantes.

Os minerais fosfatados originários de sedimentos marinhos estão localizados nos Estados Unidos, México, Marrocos e Oriente Médio. Já aqueles originários de depósitos ígneos estão presentes em países como África do Sul, Rússia, Finlândia e Brasil, entre outros. No Brasil, cerca de 80% das jazidas de fosfatos naturais são, em geral, de origem ígnea com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos com baixo teor de  $P_2O_5$ , enquanto que em termos mundiais esse percentual está em torno de 17% (SOUZA, 2001). Esses fosfatos recebem a denominação de fosfato natural e o conteúdo de P são comercialmente expressos sob a forma de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) ou fosfato tricálcico  $Ca_3(PO_4)_2$ .

Uma característica importante do fosfato natural reativo é a sua reatividade (RAJAN; WATKINSON; SINCLAIR, 1996). Essa reatividade é estimada através da solubilidade do FNR (fosfato natural reativo) em solventes orgânicos. Os fosfatos de origem metamórfica ou ígnea são pouco reativos, já os de origem sedimentar são classificados como altamente reativos. Existem certas vantagens para o FNR, particularmente quando possuem alta solubilidade em citrato neutro de amônio, além do que as jazidas encontram-se próximas de áreas importantes, sobre o ponto de vista da agricultura. Entretanto, de acordo com Stangel et al. (1979), o uso de fosfatos naturais simplesmente moído apresenta certas desvantagens, como o menor teor de fósforo solúvel comparado aos fosfatos solúveis em água, limitando sua competição no mercado. Para os fosfatos naturais reativos insolúveis em água, é necessário o suprimento de prótons (acidez), para que promover a solubilidade, conforme observado por Robinson, Syers e Bolan (1994).

Procurando avaliar o efeito da acidez do solo sobre a efetividade do fosfato de Araxá no suprimento de fósforo para as plantas, Viegas (1991) conduziu experimento com a cultura do sorgo, verificando que os diferentes níveis de acidez do solo alteraram o crescimento e a absorção de fósforo pelas plantas. Para os maiores valores de pH natural dos solos (acima de 5,5) observou-se decréscimo na disponibilidade de fósforo, porém em alguns solos a produtividade elevou-se após a correção do pH para 6,5.

A utilização de fosfatos naturais com eficiência agrônômica maior do que a apresentada pelos fosfatos brasileiros pode representar redução nos custos com adubação fosfatada (FRANDOLOSO et al., 2010).

A baixa solubilidade do FNR é uma característica que descarta o seu uso em algumas culturas anuais como fonte de fósforo, no entanto apresenta efeito residual no solo, fornecendo fósforo por período mais prolongado que as fontes solúveis, daí a indicação para a sua utilização em adubações corretivas ou fosfatagens. Alguns fosfatos naturais de maior reatividade, como o de Gafsa e o da Carolina do Norte tem-se mostrado tão ou mais eficientes no fornecimento de fósforo para as plantas de ciclo curto quanto às formas mais solúveis, como os superfosfatos (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

## **2.2 Fósforo no Solo**

A retenção de fósforo no solo, genericamente chamada de adsorção, é conhecida há muito tempo e intensamente estudada. É um fenômeno favorável a utilização do P pelas plantas quando se trata de se evitar perdas provocadas por lixiviação, por exemplo. Porém, é problemática quando a retenção é forte e o fósforo se transforma em formas não lábeis. A retenção do fósforo adicionado ao solo ocorre pela precipitação do fósforo em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, e mais significativamente pela adsorção do P pelas argilas tipo 1:1 e pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, presentes em grandes quantidades em solos tropicais, bastante intemperizados, sobretudo naqueles com maiores teores de argila. Na adsorção de fósforo por óxidos e hidróxidos, há uma troca de ligantes na reação, como  $\text{OH}^-$  e  $\text{OH}^{2+}$ , da superfície dos óxidos, por fosfatos da solução (NOVAIS;

SMYTH, 1999). Rolim Neto et al. (2004), observaram que a proporção e a área superficial dos argilominerais tem participação destacada na adsorção de fósforo.

O elevado grau de intemperização dos solos tropicais leva aos altos teores de Fe e Al, e baixo pH, e o P é altamente fixado pelos óxidos de Fe e Al em pH ácido, tornando-se praticamente indisponível às plantas cultivadas (NOVAIS; SMITH, 1999). De acordo com Raij (2004), nos programas de adubação de culturas agrícolas em solos tropicais, como é o caso de grande parte do Brasil, a aplicação de P é tida como de baixa eficiência. Segundo Loganathan e Fernando (1980), quando se aplica uma fonte solúvel de fósforo a determinado solo, mais de 90% do total aplicado já é adsorvido na primeira hora de contato com o solo.

As concentrações de P no solo são da ordem de  $2\mu\text{M}$ , enquanto, nos tecidos vegetais, estes valores são de, aproximadamente,  $10\mu\text{M}$  (MIMURA et al., 1999). A presença do fósforo é necessária para a síntese de compostos fosforilados e a falta deste nutriente causa distúrbios imediatos no metabolismo e no desenvolvimento das plantas (CEZAR et al., 1987).

O P quando comparado a outros macronutrientes e requerido em menor quantidade pela planta, mas as adubações são elevadas, pois características inerentes a determinados tipos de solo faz com que a maior parte do fósforo adicionado se torne indisponível a planta. Segundo Robinson e Syers (1991), o teor e o tipo de argila, a capacidade de troca de cátions (CTC), o poder tampão, a adsorção de Ca e de P, o teor de matéria orgânica e a umidade afetam a solubilização de P no solo.

As recomendações de fósforo devem considerar não apenas o P disponível, mas também características do solo que reflitam o fator capacidade de fósforo (FCF), uma vez que elas determinam a variação entre os solos quanto ao requerimento de P. Assim, isotermas de adsorção são ajustadas e, por meio delas, pode-se estimar as quantidades de P que devem ser aplicadas ao solo (CARVALHO; SARAIVA; VERNEQUE, 1989).

A fixação de fósforo pode ocorrer de duas formas no solo: precipitação em solução e adsorção específica. O fósforo que se encontra na solução do solo pode ser precipitado pelo Al, Fe e Ca, que se encontram livres no solo e essas reações são dependentes do pH; quando baixo, as reações se processam com o Al e Fe; quando alto, ocorrem, principalmente com Ca; quando corrigido o pH, essas reações são minimizadas e o P torna-se mais disponível. Segundo Novais e Smyth

(1999), o aumento do pH torna a carga superficial de partículas do solo mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, tendo como consequência uma menor adsorção.

Sob o ponto de vista da nutrição das plantas, as três principais frações do fósforo no solo são: P na solução do solo, P mantido sob a forma lábil e o P da fração não lábil. O P lábil corresponde ao adsorvido a superfície dos minerais de argila, hidróxidos, carbonatos, apatitas, bem como os fosfatos de Fe e Al. Esta fração está em equilíbrio com o P da solução do solo e com o P não lábil, apesar da recíproca, neste último caso, ainda, não estar comprovada (SIMÕES NETO, 2008).

Os solos tropicais apresentam-se, em geral, associados a pH baixo, quantidades elevadas de hidróxidos de Fe e Al e a cargas eletropositivas, responsáveis pela adsorção de P. Associado ao pH baixo, há o aumento das quantidades de Fe e Al solúveis, resultando na elevada precipitação do P do solo. O P adsorvido e precipitado em compostos insolúveis, que não estão em equilíbrio com o P da solução, representa o P não lábil (NOVAIS; SMYTH, 1999; ALVAREZ et al., 2000).

Ferreira et al. (2007), estudando o efeito do pH na adsorção do P na ausência e na presença de calcário e P, concluíram que os solos que receberam calcário e P, simultaneamente, apresentaram-se estatisticamente iguais aos solos que receberam somente P, devido ao fato de que o calcário adicionado ao mesmo tempo com o P, favorece o processo de precipitação do P por compostos de Ca.

Desta forma, em solos tropicais, as condições são favoráveis a fixação deste elemento, tanto por adsorção quanto por precipitação (FASSBENDER; BORNEMISZA, 1987). Essa adsorção foi, em alguns estudos, relacionada com a quantidade de adubo fosfatado que deve ser aplicada ao solo para um ótimo desenvolvimento das culturas, como por exemplo, os de Holanda e Medeiros (1984).

As características do solo que podem influenciar a adsorção de fósforo em solos intemperizados são o tipo e teor de argila, a presença de colóides amorfos e matéria orgânica (NOVAIS; SMYTH, 1999; ANDRADE et al., 2003). O papel desempenhado pela matéria orgânica é ambivalente, porque ela tanto pode adsorver o fósforo, como também, bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de Fe e Al (SANYAL; DE DATTA, 1991).

Segundo Moreira et al. (2006), as características do solo mais estreitamente correlacionadas com a adsorção de fósforo foram o teor de matéria

orgânica e a CTC. Os pesquisadores observaram ainda que, a adsorção de P na fração areia pode ser atribuída a matéria orgânica ou a resíduos de óxidos de Fe livres.

Trabalhando com solos de texturas variadas, Holanda e Medeiros (1984), encontraram maiores valores para a CMAP a medida que o teor de argila aumentava, mostrando que essa adsorção dependia de algumas características dos solos, como a textura. Da mesma forma, Ranno et al. (2007), concluíram que a CMAP teve correlação significativa com os teores de argila, matéria orgânica e óxidos de Fe extraídos por ditionito e oxalato de amônio. Nesse mesmo contexto, Valladares, Pereira e Anjos (2003) mostrou que os coeficientes de correlação entre CMAP e algumas características dos solos tem associação com o teor de argila, Fe e Al.

Algumas características que refletem a CMAP podem indicar a magnitude com que o solo pode fixar o P. Dentre elas o valor do P-rem (fósforo remanescente) pode ser facilmente adotada nos laboratórios de análises de solo do país. Essa metodologia tem sido utilizada para estimar o FCP de solos de algumas regiões do Brasil (ALVES; LAVORENTI, 2004). Entre outras finalidades, o P-rem pode, também, ser utilizado para estimar níveis críticos de P, S e Zn no solo, determinados com extratores sensíveis ao FCP e, para a definição das doses de P e S a serem usadas, tanto em estudos de adsorção como no estabelecimento de curvas de resposta a esses nutrientes.

A medida que se adiciona periodicamente fósforo via fertilização, o solo aproxima-se gradualmente de seu caráter fonte a partir da diminuição da energia de ligação das partículas do solo com o fósforo. De forma recíproca, com a ausência de fertilizações essa energia aumenta. Portanto, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, a chance de existir teores residuais que mantenham a capacidade produtiva da cultura aumenta pelo uso intenso de fertilizantes fosfatados nessa cultura. No entanto, esse efeito residual é dependente da capacidade tampão de fosfato do solo. Segundo Novais e Smyth (1999), os baixos teores de fósforo disponível nos solos tropicais são provavelmente a maior causa dos baixos índices de produtividade.

### 2.3. Torta de Filtro

De acordo com Santos (2006), fontes orgânicas podem substituir todo ou parte do fósforo requerido pela cultura da cana-de-açúcar, podendo proporcionar alterações significativas nos atributos químicos do solo, aumentando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio e fósforo e os teores de carbono orgânico no mesmo, contribuindo ainda para a melhoria física do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água. Segundo Lopes (1998), por promover um bom desenvolvimento do sistema radicular, o fósforo permite aumentar a eficiência das plantas no uso da água, gerando menores perdas e melhor absorção de outros nutrientes, fazendo com que a planta resista mais nos períodos de deficiência hídrica.

Na indústria sucroalcooleira, por muitos anos, houve um desafio em relação ao descarte dos resíduos gerados no processo de produção de açúcar e álcool. Isso se deu porque o processo produtivo gerava externalidades negativas quando os resíduos eram descartados no ambiente afetando os recursos naturais. Atualmente tornou-se uma vantagem econômica utilizar esses resíduos, a medida que geram externalidades positivas. Assim, a torta de filtro que representava um “problema”, passou a fazer parte da adubação de plantio dos canaviais, pois nela há também parte dos resíduos minerais (terra) e palha provenientes da colheita e moagem da cana. A análise do material revelou uma concentração de fósforo que se tornou atrativa para o uso como adubo. Hoje é integralmente utilizada, enriquecida com outros produtos e está na operação de plantio das empresas (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006).

A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação é um excelente produto orgânico para a recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade, pois, possui umidade média entre 75% e 80%. Apresenta altos teores de matéria orgânica e fósforo. É rica em nitrogênio e cálcio, além de teores consideráveis de potássio, magnésio e micronutrientes. O fósforo existente na torta de filtro é orgânico, sendo sua liberação e do nitrogênio gradativa pelo processo de mineralização e por ataque de microorganismos no solo.

Ferreira, Zotarelli e Salviati (1986) apresentam a composição média da torta de filtro expressa em % da matéria seca, sendo 77 a 85 de matéria orgânica; 1,1 a 1,4 de N; 1,04 a 2,55 de  $P_2O_5$ ; 0,3 a 0,96 de  $K_2O$ ; 4,07 a 5,46 de  $CaO$ ; 0,15 a

0,56 de MgO e 2,70 a 2,96 de SO<sub>3</sub>. Nunes Junior (2008) completa esta composição média mostrando que a torta de filtro também é rica em micronutrientes, sendo 0,8% a 1,2% de Ferro, 500 a 800 mg.L<sup>-1</sup> de Manganês, 40 a 80 mg.L<sup>-1</sup> de Cobre e 150 a 220 mg.L<sup>-1</sup> de Zinco.

Segundo Alleoni e Beauclair (1995), a matéria orgânica de torta de filtro aumenta a capacidade de retenção de água, pois é higroscópica, chegando a reter água em até seis vezes o seu próprio peso; promove a redução da densidade aparente do solo e o aumento da porosidade total do solo; forma agregados capazes de reduzir a erosão e aumentar a capacidade de absorção do solo, e aumenta a capacidade de troca catiônica pela ação de micelas húmicas coloidais com atividade superior às argilas. Aumenta ainda os teores de nitrogênio, fósforo e enxofre a partir da decomposição e da mineralização da matéria orgânica, promove a redução da fixação do fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio, bloqueando os sítios de fixação com os radicais orgânicos. Forma ainda quelatos solúveis de ferro, manganês, zinco e cobre, disponibilizando-os às raízes e favorece a atividade microbiológica e adição de novos microorganismos, diversificando a flora e a microflora do solo. Todos esses ingredientes reagindo no solo forma como produto húmus, que proporciona excelente ambiente radicular, mesmo em solos mais pobres, o que aumenta a absorção de nutrientes pelas plantas.

De acordo com Santiago e Rossetto (2009), a concentração da torta de filtro é constituída de cerca de 1,2 a 1,8% de fósforo e cerca de 70% de umidade, o que é importante para garantir a brotação da cana em plantios feitos em épocas de inverno na região sul e sudeste. A torta também apresenta alto teor de cálcio e consideráveis quantidades de micronutrientes. Ainda segundo os mesmos autores, praticamente 50% do fósforo da torta pode ser considerado como prontamente disponível. O restante será mineralizado lentamente. A torta é empregada principalmente em cana-planta, substituindo parcial ou totalmente a adubação fosfatada, dependendo da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> recomendada, de acordo com Santos et al. (2011).

Para aumentar a eficiência da adubação fosfatada em lavouras de cana-de-açúcar, com a conseqüente redução das doses empregadas, principalmente em áreas que vêm sendo cultivadas com a gramínea por um longo período, Bittencourt et al. (2006) recomendam utilizar um carregador orgânico, como a torta de filtro, para proteger o fósforo da fixação.

A liberação do fósforo presente na torta de filtro para o solo é gradativa, proporcionando um residual médio de 2 a 3 cortes, dependendo do clima da localidade. Segundo Nunes Junior (2008), nos climas tropicais, a torta de filtro apresenta residual por 2 anos e nos climas mais amenos, como o dos Estados de São Paulo e Paraná, a torta de filtro pode agir por 3 anos.

Santos (2009), em trabalho realizado no Oeste do Estado de São Paulo, concluiu que a produtividade de colmos (TCH) e o perfilhamento foram influenciados pelas doses de torta de filtro aplicadas no solo e que a elevação da produtividade pode ser atribuída ao fornecimento de matéria orgânica, fósforo, cálcio e outros nutrientes presentes na torta de filtro, e a proteção que esta fornece ao fosfato contra as reações com minerais de argila e óxidos de ferro.

Santos et al. (2011) concluíram que a torta de filtro aplicada no sulco de plantio da cana-de-açúcar tem potencial para substituir parte da adubação química fosfatada visando à melhoria na qualidade e na produtividade de açúcar.

Santos et al. (2010) verificaram que a produtividade de colmos e o perfilhamento da cana-de-açúcar foram influenciados pelas doses de torta de filtro aplicadas ao solo, podendo inferir que este condicionador orgânico interferiu positivamente nas características químicas do solo.

Ferreira, Zotarelli e Salviati (1986) trabalharam com dados médios de quatro usinas na safra 1985/85, cana planta, encontraram resultados positivos com o uso da torta de filtro. Os autores compararam o tratamento que recebeu  $0 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria seca de torta de filtro,  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  com o tratamento  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de matéria seca de torta de filtro,  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $48 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . O primeiro tratamento apresentou produtividade média de 99,8 toneladas de cana por hectare (TCH), enquanto o segundo, apesar da redução da adubação fosfatada e potássica e a isenção do N, a produtividade obtido foi de 108,5 TCH, diferença de 8,7 TCH devido a utilização da torta de filtro. Em cana soca, Ferreira, Zotarelli e Salviati (1986) testaram a aplicação de 0, 5 e  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro com  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e de  $\text{K}_2\text{O}$ . A produtividade média nos tratamentos que receberam  $0 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro foi de 61,3 TCH,  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de 71,6 TCH e com  $10 \text{ t ha}^{-1}$  foi de 70,0, pouco inferior ao tratamento  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de torta de filtro.

A torta de filtro, quando incorporada ao solo em doses elevadas (até  $268 \text{ t/há}^{-1}$ ), apresenta propriedades corretivas da acidez do solo, devido aos efeitos

quelantes da matéria orgânica sobre o alumínio, sendo sua vantagem sobre o calcário a de provocar menor alteração no balanço catiônico do solo. Por ser um material orgânico, a torta de filtro por excelência, mostra elevada capacidade de retenção de água a baixas tensões, e esta propriedade contribui, tanto para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em regime não irrigado, como para assegurar melhor brotação em plantios realizados em épocas desfavoráveis (ROSSETTO; DIAS, 2005).

Korndorfer (2004), relata que a torta de filtro pode substituir todo fósforo requerido pela cana-de-açúcar com dosagem da ordem de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  (massa fresca), podendo proporcionar alterações significativas nos atributos químicos do solo, aumentando a disponibilidade de cálcio, nitrogênio e fósforo e os teores de carbono orgânico do mesmo, bem como na melhoria das propriedades físicas do solo, aumentando a sua capacidade máxima de retenção de água. Santos (2006) completa dizendo que o volume desse material produzido por safra em uma única unidade industrial, pode ser suficiente para se plantar de 1000 a 1500 hectares. Admitindo-se um nível de adubação de  $52 \text{ kg ha}^{-1}$  de P, isso equivaleria a uma redução em torno de  $52 \text{ à } 77 \text{ t}^{-1}$  de P ano, além da economia com o nitrogênio da cana-planta, pois a dosagem de 20 toneladas de composto por hectare fornece uma quantidade superior a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  desse nutriente.

Nema, Vaidya e Bangar (1995) observaram que a associação do adubo orgânico com fontes de nitrogênio mineral aumentaram o rendimento de cana, sendo o emprego da torta de filtro superior ao do esterco de curral.

Vijav e Verma (2001), ao estudarem o efeito isolado ou combinado de adubos minerais e orgânicos, concluíram que a aplicação de fertilizantes inorgânicos combinados com orgânico aumentou significativamente o rendimento de cana, a altura dos colmos e o pol% cana.

Segundo Malavolta (1967) e Korndorfer et al. (1989), a disponibilidade de nitrogênio e fósforo para a planta promove melhor perfilhamento da cana-de-açúcar, principalmente o fósforo, por promover o desenvolvimento de raízes para a absorção de água e nutrientes. Korndörfer et al. (1989), avaliando a resposta da cana-planta submetida à adubação fosfatada, observou que o número final de colmo por metro linear apresentou alta correlação com a produção. Korndörfer e Alcarde (1992), estudando o efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento da cana-de-açúcar, constataram que o fósforo proporcionou aumentos no perfilhamento,

culminando com maior produtividade de colmos, além de contribuir para a formação de um sistema radicular vigoroso, beneficia expressivamente a brotação inicial e o perfilhamento.

Além dos benefícios no campo, a adubação fosfatada também é de grande importância na qualidade da cana-de-açúcar, essencial nas unidades industriais produtoras de açúcar. Segundo Korndörfer (2004), a presença de fósforo no caldo da cana exerce papel fundamental no processo de clarificação. Caldos contendo baixos teores de  $P_2O_5$ , inferior a 200 mg.L<sup>-1</sup>, são de difícil floculação e, neste caso, a decantação das impurezas (bagacilho, argila, clorofila, entre outros) é ruim. Caldo turvo e de coloração intensa implica na produção de açúcar de pior qualidade e, portanto, de menor valor comercial.

Praticamente todo o fósforo contido no caldo está na forma inorgânica ou livre e uma pequena parcela, em torno de 10%, na forma orgânica. No processo de clarificação o fósforo livre reage com o cal  $[Ca(OH)_2]$  para a formação de fosfato tricálcico  $[Ca_3(PO_4)_2]$  o qual, ao flocular e sedimentar, realiza o arraste das impurezas que se depositam no fundo do decantador (lodo).

Segundo Korndörfer et al. (1989), o teor mínimo de  $P_2O_5$  necessário para uma boa floculação é de 200 mg.L<sup>-1</sup>. Sempre que estes teores forem inferiores deve-se fazer a complementação através da adição de algum fosfato solúvel ao caldo, pois teor de P nativo do solo pode afetar a concentração de  $P_2O_5$  no caldo. Quanto maior o teor de P extraível do solo maior a quantidade de  $P_2O_5$  no caldo.

## **2.4 Ganhos Econômicos e Ambientais**

No Brasil, a agroindústria da cana-de-açúcar tem adotado políticas de preservação ambiental que são exemplos mundiais na agricultura. De acordo com Santiago e Rossetto (2009), diversos materiais são obtidos a partir da produção de açúcar e álcool em uma usina sucroalcooleira. Entretanto, o conhecimento da composição e dos possíveis usos desses materiais em lavouras possibilitou sua utilização na forma de fertilizantes organominerais, a exemplo da torta de filtro, proporcionando um maior controle ambiental e uma relevante economia na adubação dos canaviais. Apesar dos valores nutricionais da torta de filtro serem conhecidos desde a década de 1950, sua utilização teve início apenas na década de

1970 e se intensificou em 1999, quando a mudança cambial e a elevação dos preços dos fertilizantes químicos encareceram a adubação e a política ambiental ganhou mais espaço.

Os preços elevados dos fertilizantes estão levando muitos produtores a se perguntar sobre a possibilidade de não adubar. De acordo com o IPNI, as respostas a essas questões são complexas e devem ser baseadas no conhecimento da economia como um todo e dos riscos a ela associados. Não se espera que os preços dos fertilizantes diminuam no futuro próximo, porque a relação oferta/demanda está desfavorável. Os preços atuais dos fertilizantes estão relacionados a vários fatores, como o aumento da demanda causada por uma crescente necessidade global de alimentos e uma dieta mais diversificada, escalada dos preços de energia, aumento da produção vegetal necessário para a produção de biocombustíveis, aumento dos custos de transporte e valor do dólar americano. O fertilizante é também uma commodity do mercado mundial sujeito às forças globais de mercado, à volatilidade e aos riscos. Para Ambiente Brasil (2009), práticas como o descarte de resíduos da indústria na forma de fertilizantes, como o caso da torta de filtro, geram benefícios à agricultura, sendo que a grande vantagem da utilização desse resíduo é retornar ao solo o que a planta extrai, não havendo ou diminuindo a necessidade da aplicação de fertilizantes. Esse reaproveitamento traduz-se em ganhos econômicos e ambientais.

Para Polprasert (1992), o objetivo de se reciclar resíduos orgânicos não seria apenas a recuperação de elementos valiosos presentes nos resíduos, tais como o nitrogênio, o fósforo e o potássio, dentre outros. Deve-se levar em consideração a produção de alimentos, energia e outros benefícios tais como controle de poluição e melhores condições de saúde pública.

Strauss e Menezes (1993) lembram que o aumento na produção de resíduos agroindustriais vem provocando impactos ambientais, pois sua taxa de geração é muito maior que sua taxa de degradação. Dessa forma, se faz necessário a política de redução, reciclar, ou reaproveitar os resíduos gerados pelo homem, com o objetivo de recuperar matéria e energia, no intuito de preservar os recursos naturais e evitar a degradação do meio ambiente, resultados esses obtidos ao se utilizar a torta de filtro como adubo orgânico nas lavouras de cana-de-açúcar.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos e Tecidos Vegetais da Universidade do Oeste Paulista, UNOESTE, no município de Presidente Prudente-SP, de março a junho de 2008. Foram utilizadas porções de dois solos da camada 20-40 cm, classificadas como Latossolo Vermelho distroférico argiloso e Neossolo quartzarênico (EMBRAPA, 2006).

As porções de solo foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm. Foram retiradas amostras para caracterização de atributos químicos e granulométricos (RAIJ et al., 2001), além da capacidade máxima de retenção de água do solo peneirado (EMBRAPA, 1997).

A torta de filtro foi obtida junto a Destilaria Alvorada do Oeste, no município de Santo Anastácio - SP, região de Presidente Prudente, com 35% de massa seca, segundo as análises de umidade realizadas pelo Laboratório de Tecidos Vegetais da Unoeste. Em seguida a torta de filtro foi seca ao ar livre, até atingir 80% de massa seca, segundo as análises de umidade realizadas pela mesma instituição. Os resultados da análise de fertilizante orgânico realizado pelo Laboratório de Solos da Unoeste para a torta de filtro utilizada no experimento encontra-se na Tabela 1.

Nos cálculos para a formulação dos fertilizantes organominerais foram considerados a massa de torta de filtro seca ao ar após passar em peneira de 1 mm (base seca), dose de  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  calibrada para um volume de solo de  $2.000.000 \text{ dm}^3$  (camada arável), teores do  $\text{P}_2\text{O}_5$  total das fontes Arad e Super Triplo.

Os fosfatos foram misturados previamente à torta de filtro para obter os fertilizantes organominerais com concentrações de 2,5, 5, 10, 20 e 30% de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Em seguida, os diferentes adubos organominerais foram incorporados aos solos areno-argiloso e argiloso na dose equivalente a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  para o volume da camada arável.

Adotou-se o delineamento experimental em blocos completos ao acaso, com quatro repetições, no esquema fatorial  $5 \times 2 \times 2$ , com os seguintes tratamentos: 2,5, 5, 10, 20 e 30% de  $\text{P}_2\text{O}_5$  nos fertilizantes organominerais produzidos com adição de Arad e Superfosfato triplo, aplicados em solo arenoso e argiloso.

Foram preparadas porções adubadas de solo com  $0,6 \text{ dm}^3$ , que foram acondicionadas em frascos de PVC rígido de  $1 \text{ dm}^3$ , vedados, com orifícios padronizados nas tampas para trocas gasosas. Os teores de água, tanto do solo argiloso quanto do areno-argiloso, foram corrigidos para atingirem a capacidade de campo, mediante pesagem e irrigação a cada dois dias para complementação da água perdida por evapotranspiração.

As amostras foram incubadas durante 30 dias à temperatura ambiente, protegidas da iluminação direta. Após a incubação, as porções de solo foram novamente secas em estufa de aeração forçada a  $40^\circ \text{ C}$  durante 48 horas, e foram preparadas para análise para determinação dos atributos químicos MO, Al, H+Al, pH ( $\text{CaCl}_2$ ), P, K, Ca e Mg, de acordo com Raij et al. (2001).

Após o período de incubação, o solo dos diferentes tratamentos foram submetidos à análise química, de acordo com Raij et al. (2001). Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão, e foram ajustadas equações quadráticas ou lineares significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, que apresentaram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 1.** Resultados das análises do solo e adubos utilizados no experimento.

Análise Química do Solo														
Solo	pH	MO	P <sub>resina</sub>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	Al	V	Argila	Silte	Areia	Cap. Campo
	CaCl <sub>2</sub>	(g dm <sup>-3</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )	----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			-----			(%)	----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----		(cm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	
Arenoso	4,6	18	7	33	2,1	7	5	14	2	30	145	80	775	135
Argiloso	4,2	5	2	41	0,1	1	1	2	4	5	370	120	510	245

Análise Química dos Adubos														
Adubo	Umidade Perdida	MO	N	P	K	Ca	Mg	S	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				
										Total	H <sub>2</sub> O	CNA+H <sub>2</sub> O	Ác. Cítrico	
----- (%) -----									CaCl <sub>2</sub>	----- (%) -----				
Torta de filtro*	71,70	57,25	1,80	0,43	0,23	0,91	0,25	0,43	5,4	-	-	-	-	-
Arad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33,1	1,2	3,6	9,1	-
Super Triplo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44,2	38,1	41	42	-

\* Expressas na matéria seca

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise química do solo e análise de regressão encontram-se na Tabela 2. Em relação a matéria orgânica (MO) e o pH, foram observados efeitos significativos ( $p < 0,01$ ) para as variáveis concentração de  $P_2O_5$  e solo, enquanto que para os demais fatores não foram encontrados efeitos estatisticamente significativos (Tabela 2). A análise de regressão indicou, para a variável MO, efeito significativo quadrático tanto para o arad quanto para o superfosfato triplo no solo areno-argiloso ( $p < 0,01$ ). Já para a variável pH, a análise de regressão apresentou efeito significativo quadrático para o arad tanto em solo areno-argiloso quanto argiloso, enquanto que o superfosfato triplo não apresentou efeito quadrático (Tabela 2).

A maior parte dos solos das regiões tropicais apresenta baixa fertilidade natural, devido principalmente aos baixos teores de matéria orgânica e pela limitação do P disponível. A adição de resíduos orgânicos ao solo eleva suas cargas negativas, proporcionando maior disponibilidade dos nutrientes às plantas. Como os custos dos fertilizantes minerais são muito elevados, além dos seus efeitos impactantes ao solo e ao ambiente, a fertilidade desses solos depende do manejo da matéria orgânica no solo (SALCEDO, 2004).

Ao avaliar a saturação por alumínio (M%) verificou-se que as variáveis concentração de  $P_2O_5$ , solo, concentração de  $P_2O_5$  x solo e concentração de  $P_2O_5$  x fonte de P x solo apresentaram efeitos significativos ( $p < 0,01$ ), além da variável fonte de P ( $p < 0,05$ ). Já a análise de regressão indicou efeito significativo quadrático ( $p < 0,05$ ) para os tratamentos com arad e superfosfato triplo em solo arenoso (Tab 2).

Quanto a saturação por bases (V%) verificou-se efeito significativo das doses de fosfato em todos os parâmetros avaliados, com exceção da interação concentração de  $P_2O_5$  x fonte de P x solo. Efeito significativo para todas as variáveis avaliadas também foram observadas ao avaliar os teores de P do solo ( $p < 0,01$ ), com exceção das interações concentração de  $P_2O_5$  x fonte e concentração de  $P_2O_5$  x fonte de P x solo.

A análise de regressão, em relação aos valores de saturação por bases, apresentou comportamento quadrático para o tratamento submetido a adubação organomineral com arad no solo argiloso ( $p < 0,01$ ). Já para a variável P, comportamento quadrático foi observado para os tratamentos arad em solo areno-

argiloso e argiloso ( $p < 0,01$ ), além do tratamento submetido a adubação organomineral com superfosfato triplo em solo arenoso ( $p < 0,01$ ) (Tabela 2).

Para os teores de potássio no solo, observou-se efeito significativo apenas para as variáveis concentração de  $P_2O_5$  ( $p < 0,05$ ) e solo ( $p < 0,01$ ). Já para os teores de cálcio no solo observou-se efeito significativo para as variáveis concentração de  $P_2O_5$ , fonte de P e solo ( $p < 0,01$ ), não havendo significância para as interações analisadas. Não foram observados, na análise de regressão, efeito quadrático para nenhum dos tratamentos avaliados (Tabela 2).

Com relação aos teores de magnésio do solo, observou-se efeito significativo das doses de fosfato apenas para a variável solo ( $p < 0,01$ ), não havendo significância para as demais variáveis analisadas. Na análise de regressão, todos os tratamentos avaliados foram não significativos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Valores de F calculados por meio de análises de variância e regressão para os atributos do solo MO, pH ( $CaCl_2$ ), saturação por alumínio (M%), saturação por bases (V%), teores de P, K, Ca e Mg em razão da concentração de  $P_2O_5$  em fertilizantes organominerais gerados a partir de misturas de torta de filtro com as fontes fosfatadas Arad e Super Triplo, incorporados em solos arenoso e argiloso.

Causas da Variação		MO	pH	M%	V%	P	K	Ca	Mg
Concentração de $P_2O_5$		15,9**	6,3**	31,0**	25,7**	26,8**	3,1*	20,5**	1,9 ns
Fonte de P		2,0 ns	0,2 ns	5,4*	17,7**	108,9**	2,1 ns	15,1**	0,4 ns
Solo (arenoso/argiloso)		224,4**	47,6**	265,7**	613,2**	222,4**	5,2**	109**	210**
Concentração x Fonte de P		1,1 ns	0,4 ns	1,3 ns	3,9**	0,7 ns	0,01 ns	3,0 ns	0,1 ns
Concentração x Solo		2,1 ns	0,01 ns	6,3**	4,4**	3,6**	0,2 ns	0,7 ns	0,2 ns
Fonte de P x Solo		0,2 ns	0,8 ns	1,1 ns	3,8*	21,1**	0,7 ns	1,5 ns	0,01 ns
Conc. x Fonte de P x Solo		0,4 ns	0,01 ns	3,7**	2,0 ns	2,1 ns	0,2 ns	1,3 ns	0,1 ns
CV (%)		23,6	5,8	31,5	16,7	14,2	27,5	27,7	33,2
Análise de Regressão		MO	pH	M%	V%	P	K	Ca	Mg
Arad Arenoso	Linear	6,0**	4,3*	14,0**	23,8**	11,1**	1,2 ns	36,7**	2,2 ns
	Quadrático	6,8**	4,1*	5,6*	3,0 ns	16,6**	0,2 ns	0,1 ns	0,01 ns
Arad Argiloso	Linear	6,4**	4,4*	73,0**	49,3**	21,5**	3,3 ns	31,2**	0,8 ns
	Quadrático	0,8 ns	2,0 ns	0,1 ns	6,4**	6,9**	0,7 ns	1,6 ns	0,2 ns
Super triplo	Linear	23,5**	4,3*	12,6**	12,6**	32,5**	3,0 ns	7,9**	1,5 ns
Arenoso	Quadrático	6,6**	0,8 ns	0,4 ns	2,9 ns	14,8**	0,01 ns	0,1 ns	0,2 ns
Super triplo	Linear	6,3**	2,8*	27,3**	15,1**	7,6**	2,7 ns	10,5**	2,1 ns
Argiloso	Quadrático	0,2 ns	0,4 ns	6,0*	2,4 ns	0,7 ns	1,2 ns	0,3 ns	0,8 ns

\* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

A análise de regressão dos dados de MO, pH, V% e M%, dos diversos tratamentos, em razão da concentração de  $P_2O_5$  no fertilizante organomineral, encontram-se nas Figuras 1 e 2.

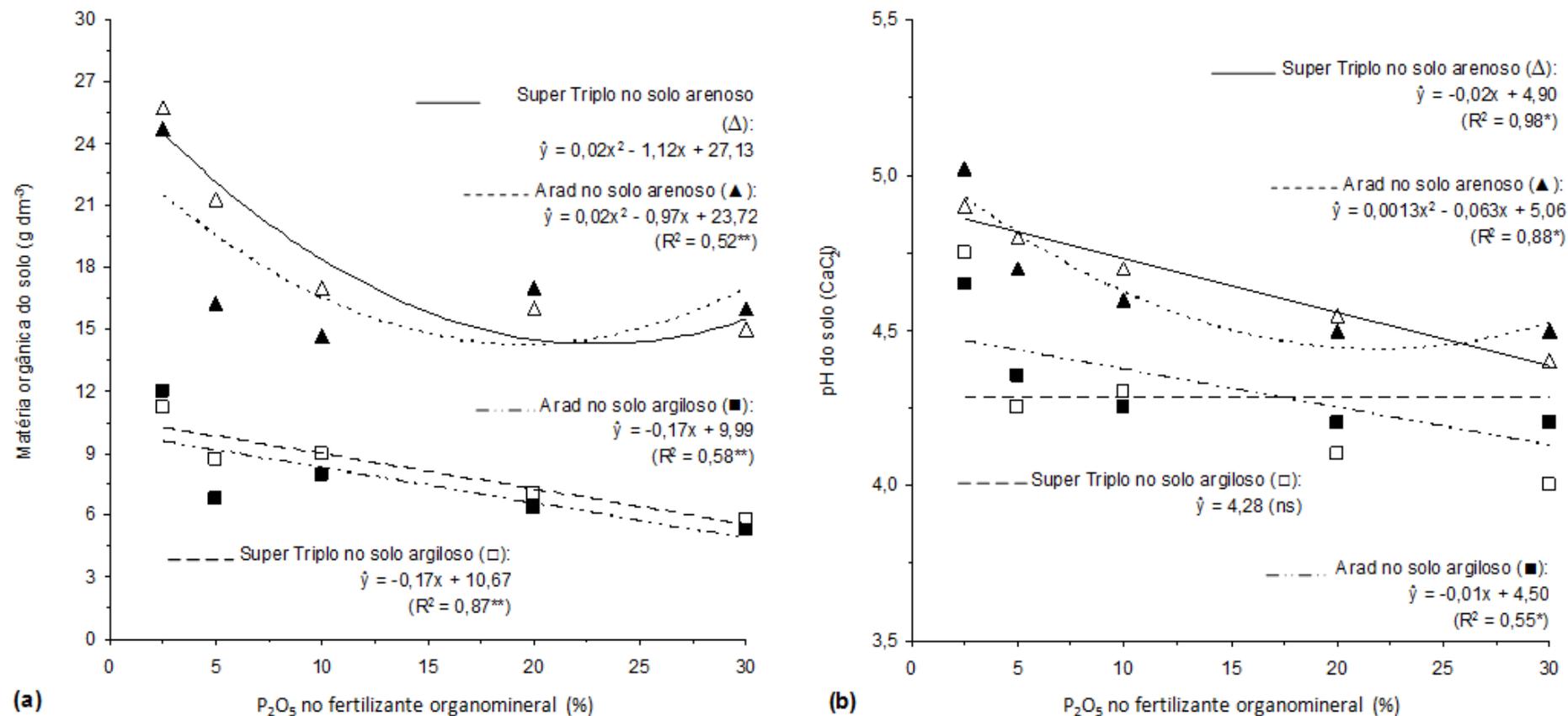
Com relação aos teores de matéria orgânica do solo (Figura 1a), observou-se redução para solo areno-argiloso. Para solo argiloso os valores decresceram linearmente com maior incremento de fertilizante organomineral. De acordo com Braida et al. (2006), nos solos argilosos, a interação entre a fração mineral e a orgânica é maior, o que resulta em menor disponibilidade da matéria orgânica. Ao analisar os diversos tratamentos, verificou-se redução nos teores de matéria orgânica conforme se elevou os teores de fosfato no fertilizante organomineral, pois quando se elevou a porcentagem de fosfato mineral na mistura organomineral, foi reduzida a quantidade de torta de filtro, ou seja, reduzida a quantidade de matéria orgânica aplicada no solo.

Segundo Santos et al. (2011), a torta de filtro apresenta elevado teor de fósforo, além da presença de outros macro e micronutrientes, sendo um excelente condicionador do solo, além de fornecer matéria orgânica ao solo.

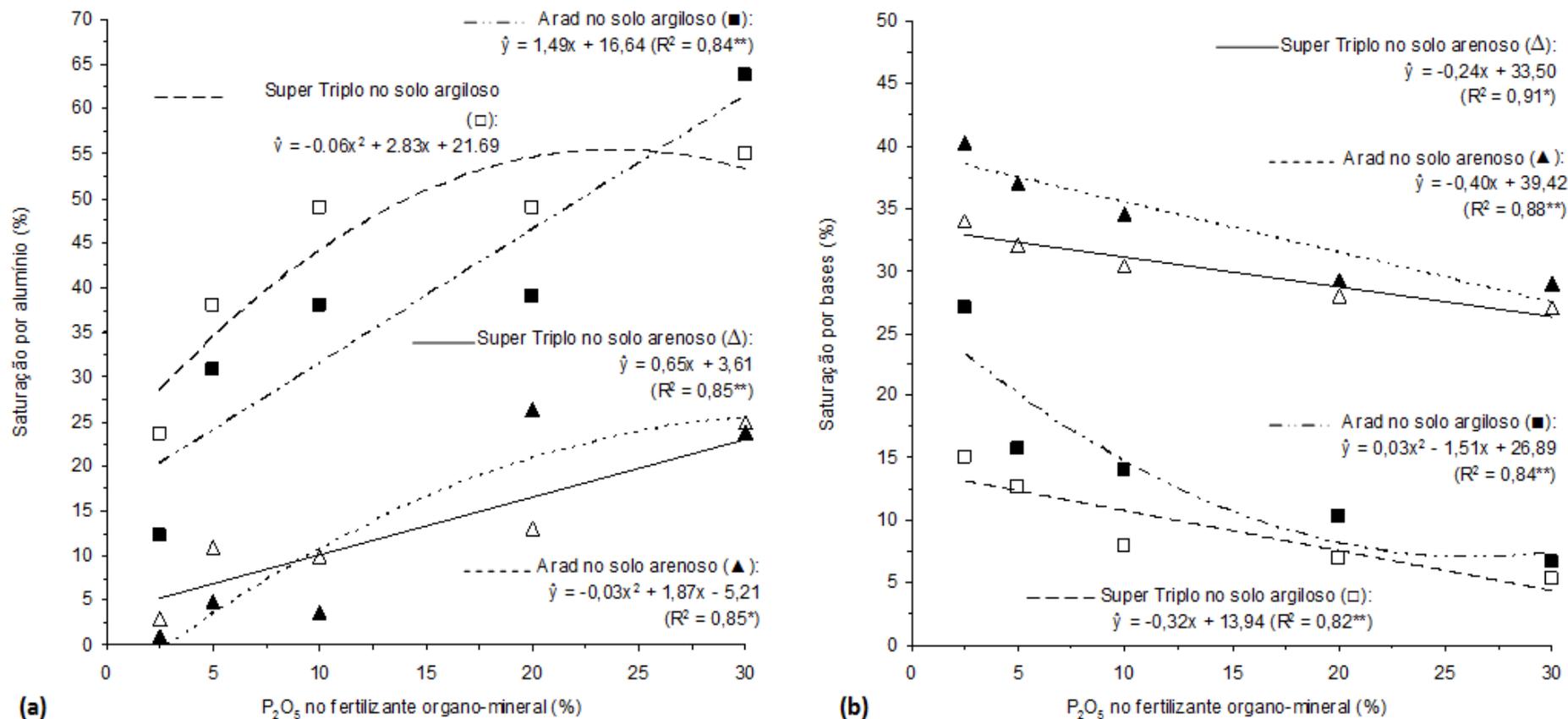
Os valores de pH também reduziram linearmente com a adição crescente de fosfato (Figura 1b). Como já citado, quando se elevou a porcentagem de fosfato químico na mistura organomineral, foi reduzida a quantidade de torta de filtro. Slattery, Ridley e Windsor (1991) relataram que o efeito das doses de torta de filtro, em diversos experimentos por eles realizados, foi elevar o pH do solo. Nesse contexto, a presença de ácidos orgânicos é considerada um fator importante na elevação do pH do solo.

Saturação por alumínio é a porcentagem de alumínio ocupada na CTC efetiva e reflete o seu grau de toxicidade, servindo de parâmetro auxiliar para avaliar a necessidade de calcário ou de gessagem nas análises de subsuperfície.

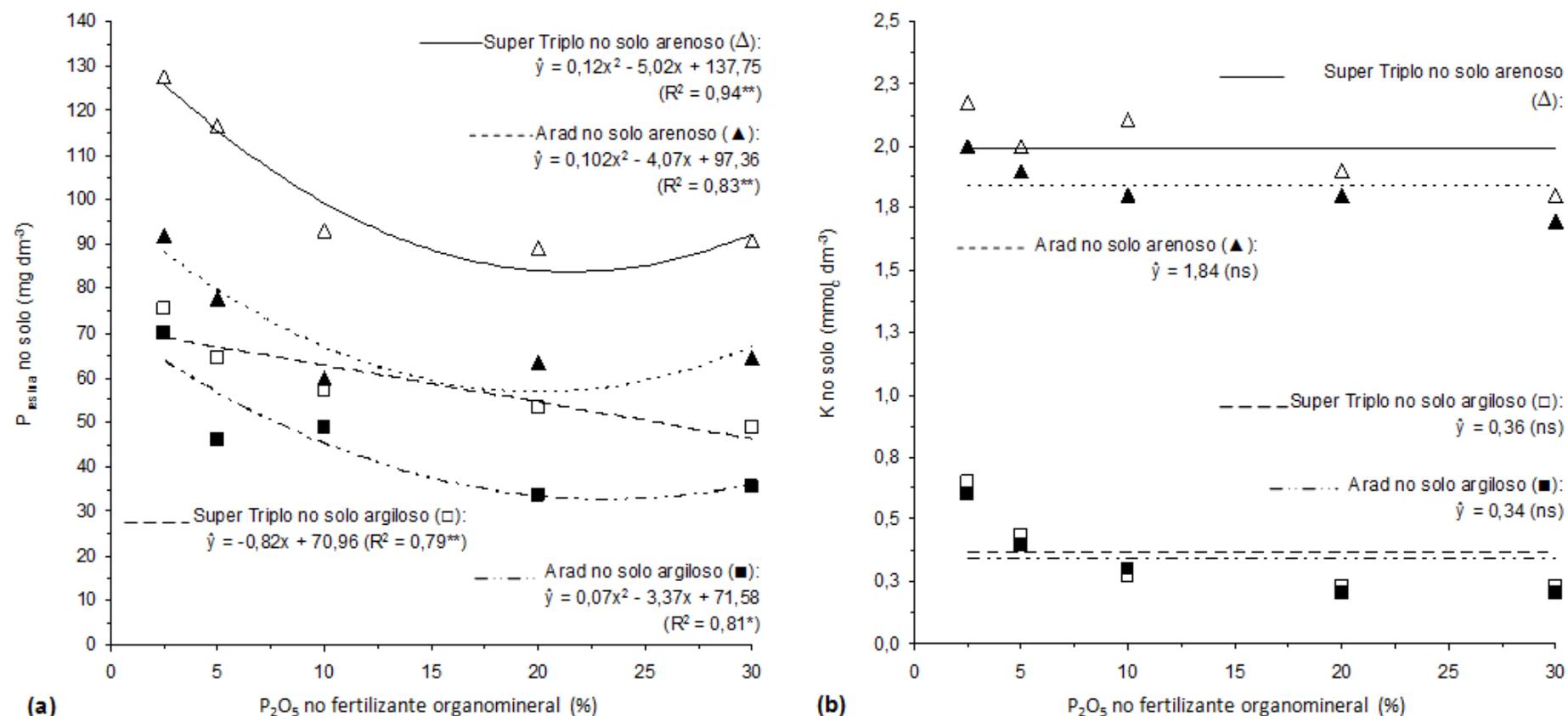
Tanto no solo areno-argiloso, quanto no solo argiloso houve elevação da saturação por alumínio de acordo com o aumento da concentração de fosfato no fertilizante organomineral (Fig.2b). Tendência oposta foi observada ao analisar a saturação por bases (Fig. 2a).



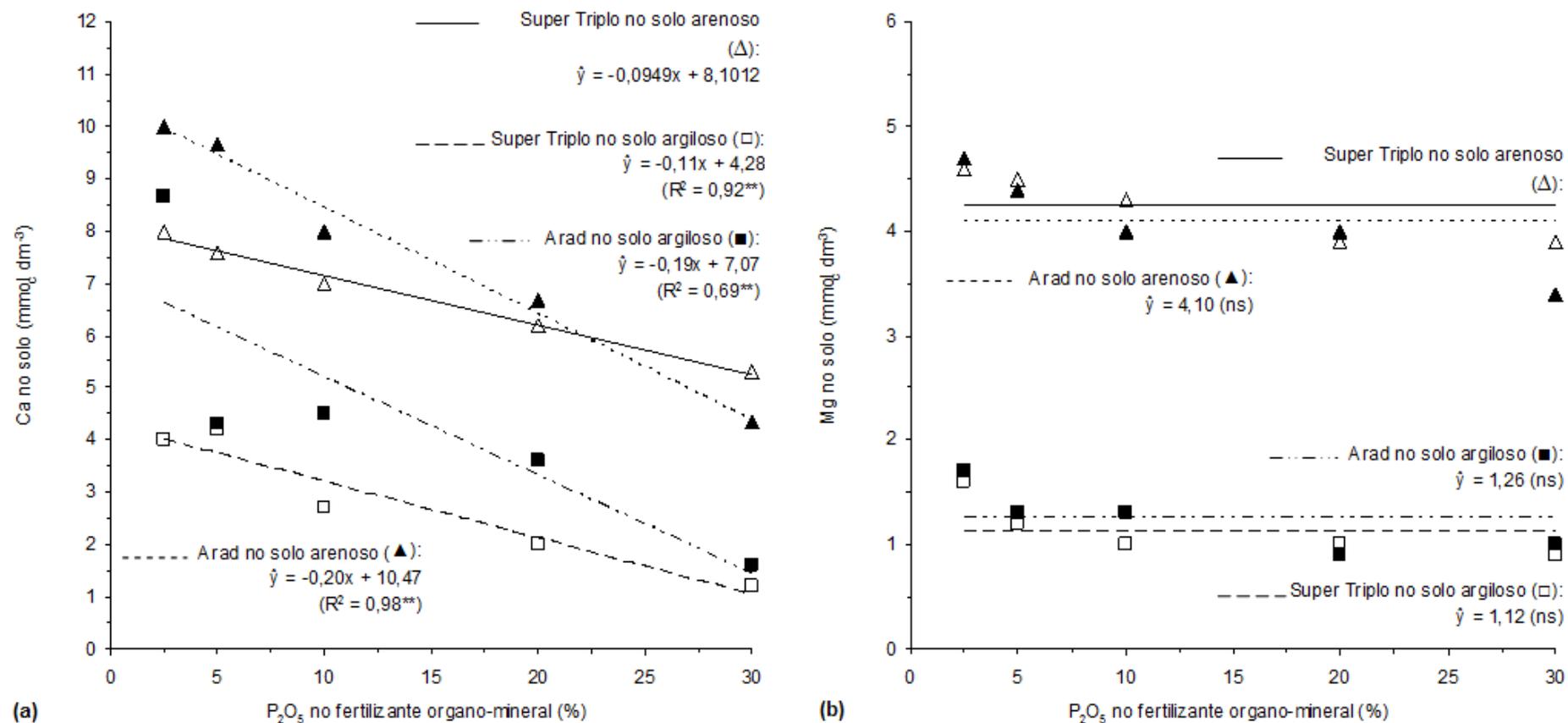
**Figura 1.** Valores de MO (a) e pH (b) de amostras de solo areno-argiloso com Superfosfato triplo (Δ), argiloso com Superfosfato triplo (□), areno-argiloso com Arad (▲) e argiloso com Arad (■), em razão da concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no fertilizante organomineral. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.



**Figura 2.** Valores de saturação por bases (a) e saturação por alumínio (b) de amostras de solo areno-argiloso com Superfosfato triplo (Δ), argiloso com Superfosfato triplo (□), areno-argiloso com Arad (▲) e argiloso com Arad (■), em razão da concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no fertilizante organomineral. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.



**Figura 3.** Teores de P (a) e K (b) de amostras de solo areno-argiloso com Superfosfato triplo (Δ), argiloso com Superfosfato triplo (□), areno-argiloso com Arad (▲) e argiloso com Arad (■), em razão da concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no fertilizante organomineral. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.



**Figura 4.** Teores de Ca (a) e Mg (b) de amostras de solo areno-argiloso com Superfosfato triplo (Δ), argiloso com Superfosfato triplo (□), areno-argiloso com Arad (▲) e argiloso com Arad (■), em razão da concentração de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no fertilizante organomineral. \* e \*\* significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo.

A análise de regressão para os teores de P (Fig. 3a) provocou redução dos teores de fósforo à medida que se reduziu o componente orgânico do fertilizante. Uma importante função da matéria orgânica diz respeito ao fornecimento de nutrientes aos vegetais, principalmente em relação ao fósforo, elemento mais limitante no desenvolvimento da agricultura em solos altamente intemperizados de ambientes tropicais (THIESSEN; MOIR, 1993).

O acúmulo de formas orgânicas de P nos solos, principalmente nos mais ácidos e argilosos, com maior Fator Capacidade de P no solo (FCP), condições que limitam a disponibilidade deste nutriente, pode ser de grande importância para a agricultura nos trópicos, sobretudo para uma agricultura orgânica de baixa utilização de insumos. Esse acúmulo, de modo geral, faz com que o conteúdo de P orgânico (Po) nos solos mais intemperizados varie em torno de 50%, sendo maior nos solos mais argilosos, com maior teor de C orgânico, menor pH e sob temperaturas mais amenas (TURNER; MAHIEU; CONDRON, 2003).

Quanto aos teores de K no solo, não houve diferença estatística entre as diferentes combinações de fosfato com torta de filtro, ou seja, as diferentes misturas de fertilizantes organominerais não alteraram os valores de potássio no solo (Fig 3b).

Ao analisar os valores de Ca no solo, verificou-se que os teores deste elemento reduziram linearmente com a adição crescente de fosfato (Fig 4a). Os tratamentos que continham maior porcentagem de fosfato possuíam, conseqüentemente, menores quantidade de torta de filtro. Diminuição na quantidade de cálcio no solo, advindos da redução da aplicação de torta de filtro eram esperados pois, este resíduo possui grande quantidade de cálcio que, segundo Santos et al. (2010), é resultado da chamada caleação do caldo, durante o processo de tratamento do mesmo, para a fabricação de açúcar.

Com relação aos teores de Mg no solo, não houve diferença estatística entre as diferentes combinações de fosfato com torta de filtro, ou seja, as diferentes misturas de fertilizantes organominerais não alteraram os valores de magnésio no solo (Figura 4b).

## 5 CONCLUSÃO

1. Maiores proporções de fósforo mineral adicionado à torta de filtro provocou aumento da acidez do solo, reduzindo a saturação por bases.

2. Com a menor concentração de fósforo mineral observou-se maiores teores de matéria orgânica, fósforo e cálcio.

3. Os teores de Mg e K não foram alterados pelas diferentes proporções de torta de filtro e fósforo mineral.

## REFERÊNCIAS

ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, v. 52, n.3, p.409-415, 1995.

ALVAREZ, V. V. H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da SBCS**, v. 25, p. 27-32, 2000.

ALVES, M. E.; LAVORENTI, A. Clay mineralogy effects on sodium fluoride pH of non-allophanic tropical soils. **Australian Journal Soil Research**, v. 42, p. 865-87, 2004.

AMBIENTE BRASIL. **Brasil pode ampliar produção de etanol sem prejudicar o meio ambiente, defende o secretário da Embrapa**. Disponível em: <http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2007/02/08/29411-brasil-pode-ampliar-producao-de-etanol-sem-prejudicar-o-meio-ambiente-defende-secretario-da-embrapa.html>. Acesso em 15 mar. 2009.

ANDRADE, F. V. et al. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 1003-1011, 2003.

BITTENCOURT, V. C. et al. Torta de filtro enriquecida. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 6, n. 63, p. 2-6, 2006.

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n.1, p. 605-614, 2006.

CARVALHO, M. M.; SARAIVA, O. F.; VERNEQUE, R. S. Níveis críticos externos e internos de fósforo de duas leguminosas tropicais em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 13, p. 311-314, 1989.

CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, G. A. e ZONTA, E.. **Alterações eletroquímicas em solos inundados**. Ciência Rural [online]. 1999, vol.29, n.1, pp. 171-180.

CEZAR, M. A. A. et al. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 5, p. 32-38, 1987.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997. 212 p.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina**. 2. ed. São José, 1987. 420 p.

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.

FERREIRA, D. A. et al. Influência do pH na adsorção do fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Recife. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-4.

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: IV Seminário de Tecnologia Agrônômica, Piracicaba, 1988. **Anais...** Copersucar, Piracicaba, São Paulo, p. 321-331, 1986.

FRANDOLOSO, J. F. et al. Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 57, n. 5, 2010.

HOLANDA, J. S.; MEDEIROS, A. A. Caracterização de solos norte rio-grandenses quanto a adsorção de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 10, p. 1279-1284, 1984.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 665-688.

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais em sistemas de cultivo**. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. Boletim técnico, n.3.

KORNDÖRFER, G. H. et al. Resposta da cana planta a diferentes fontes de fósforo. **Boletim Técnico Copersucar**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 31-37, 1989.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada, T., Abdalla, S. R. S (ed.). In: Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, 2004, São Pedro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 291-305.

KORNDÖRFER, G. H.; ALCARDE, J. C. Acúmulo e teor de fósforo em folhas de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 217-222, 1992.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconut growing acid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 31, n. 7, p. 709-717, 1980.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1998. 177 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1967. 606 p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. ; GLÓRIA, N.A. da; **Determinação das várias formas de fósforo em tortas de filtro rotativo**. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 1990, vol.47, no.1, p.147-161.

MIMURA, T. et al. Regulation of phosphate transport and homeostasis in plant cells. **International Review of Cytology**, Amsterdam, v. 190, n. 2, p. 149-200, 1999.

MOREIRA, L. F. L. M. et al. Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, p.7-12, 2006.

NEMA, G. K.; VAIDYA, M. S.; BANGAR, K. S. Response of sugarcane to fertilizer nitrogen and organic manures in black calcareous soils of Madhya Pradesh. **Journal of Soils and Crops, Madhya Pradesh**, v. 5, n. 2, p. 129-132, 1995.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NUNES JÚNIOR, D. **Torta de filtro: de resíduo a produto nobre**. **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

POLPRASERT, C. **Organic Waste Recycling**. New York: John Willey e Sons, 1992. 357 p.

PROCHNOW, L. I.; BENEDITO, D. S.; et al. Eficiência agronômica de compostos organominerais obtidos pelo processo humifert. *Bragantia* [online]. 2010, vol.69, n.1, pp. 191-199.

PROCHNOW, L. I. et al. **Greenhouse evaluation of phosphorus sources produced from a low-reactive brazilian phosphate rock**. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, n. 3, p. 761-768, 2004.

RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. **Fósforo no solo e interação com outros elementos**. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S., eds. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2004. p. 106-114.

RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, v. 57, p. 78-159, 1996.

RANNO, S. K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 31, p. 21-28, 2007.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K. Effects of solution calcium concentration and calcium sink size on the dissolution of Gafsa phosphate rock in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, p. 389-397, 1991.

ROBINSON, J.S.; SYERS, J.K.; BOLAN, N.S. A simple conceptual model for predicting the dissolution of phosphate rock in soils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 64, p. 397-403, 1994.

ROLIM NETO, F.C. et al. 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, n. 28, p. 953-964, 2004.

ROSSETTO, R; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões**. Encarte do Informações Agronômicas, n.110, junho de 2005.

SALCEDO, I.H. **Fertilidade do solo e agricultura de subsistência: Desafios para o semi-árido nordestino**. FERTIBIO. Lajes: UDESC, 2004. CD-ROM.

SANTIAGO, A.D.; ROSSETTO, R. **Adubação: resíduos alternativos**. 2009. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html) Acesso em: 12 mar 2009.

SANTOS, D.H. **Adubação da cana-de-açúcar com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. Dissertação (Mestrado). Presidente Prudente: UNOESTE. 2009. 35 p.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção da cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo**. 2006. 104 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Alagoas.

SANTOS, D.H. et al. **Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.40, n.4, p.454-461, 2010.

SANTOS, D. H. et al. **Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANYAL, S. K.; DATTA, S. K. **Chemistry of phosphorus transformations in soil**. Advanced Soil Science, New York, v. 16, p. 102-120, 1991.

SIMÕES NETO, D. E. **Avaliação da disponibilidade de fósforo e recomendação de adubação fosfatada para cana-planta em solos do estado de Pernambuco**. 105 f. 2008. Tese (Doutorado) – Recife.

SLATEERY, W. J.; RIDLEY, A. M. WINDSOR, S. M. Ash alkalinity of animal and plant products. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v. 31, n.1, p. 321-324, 1991.

SOUZA, A. E. **Balanço mineral brasileiro**. 2001. Disponível em: <http://www.dnrm.gov.br>. Acesso em 20 jan. 2010.

SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W.C. (ed.). **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. 319 p.

STANGEL, P. J. E. et al. IFCD's effectors to improve efficiency of fertilizer user. New Delhi, India, 1979. In: Fertilizer Association of India (FAI). **Anais...** Annual Seminar, 58.

STRAUSS, E. L.; MENEZES L. V. T. Minimização de resíduos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., **Anais...** p. 212 - 225, 1993.

THIESSEN, H.; MOIR, J. O. **Total and organic carbon**: wet oxidation-redox titration method. In: CARTER, M. R. Soil sampling and methods of analysis. Lewis Publishers, Boca Raton, p. 187-199, 1993.

TURNER, B. L.; MAHIEU, N.; CONDRON, L. M. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution <sup>31</sup>P NMR spectroscopy. **Org. Geochem.**, v. 34, n. 1, p. 1199-1210, 2003.

VALLADARES, G. S.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 111-118, 2003.

VIEGAS, R. A. **Dinâmica de fontes de fósforo aplicadas a solos com diferentes níveis de acidez**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1991.

VIJAV, K.; VERMA, K. S. Effect of N, P, K, Zn fertilizers and organic manure on plant and ratoon crops of sugarcane and soil fertility under continuous cropping. In: ANNUAL CONVENTION OF THE SUGAR TECHNOLOGY ASSOCIATION OF INDIA, 63., 2001, Jaipur. **Abstracts...** New Delhi: Sugar Technologists Association of India, 2001. p. 135.