

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

ANDRÉIA CIDRAL DA COSTA

**RENDIMENTO DE MILHO, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FORMAS DO
FÓSFORO NO SOLO APÓS NOVE APLICAÇÕES ANUAIS DE
DEJETO SUÍNO**

LAGES, SC

2011

ANDRÉIA CIDRAL DA COSTA

**RENDIMENTO DE MILHO, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FORMAS DO
FÓSFORO NO SOLO APÓS NOVE APLICAÇÕES ANUAIS DE
DEJETO SUÍNO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol

Co-orientador: Dr. Luciano Colpo Gatiboni

LAGES, SC

2011

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Costa, Andréia Cidral da

Rendimento de milho, atributos químicos e formas do fósforo no solo após nove aplicações anuais de dejetos suíno / Andréia Cidral da Costa; orientador: Paulo Cezar Cassol. – Lages, 2011.
85f.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UEDESC.

1. Fracionamento químico.
 2. Resíduo de animais.
 3. *Zea mays*.
 4. Fertilidade.
 5. Plantio direto.
 6. Reciclagem de nutrientes.
 7. Produtividade.
 8. Poluição agrícola.
- I. Título.

CDD – 631.42

ANDRÉIA CIDRAL DA COSTA

**RENDIMENTO DE MILHO, ATRIBUTOS QUÍMICOS E FORMAS
DO FÓSFORO NO SOLO APÓS NOVE APLICAÇÕES ANUAIS DE
DEJETO SUÍNO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Aprovado em: ____/____/____

Homologado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Orientador/presidente

Dr. Paulo Cezar Cassol
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Luciano Colpo Gatiboni

Coordenador Técnico do Curso de
Mestrado e doutorado em Manejo do Solo

Co-orientador/membro

Dr. Luciano Colpo Gatiboni
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Leo Rufato

Coordenador do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Agrárias –
UDESC/Lages – SC

Co-orientador/membro

PhD. Paulo Roberto Ernani
(UDESC/Lages – SC)

Dr. Cleimon Eduardo do Amaral Dias
Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias – UDESC/Lages – SC

Membro

Dr. Carla Maria Pandolfo
(EPAGRI/Campos Novos-SC)

Lages, Santa Catarina, 30 de agosto de 2011

A meus queridos pais, Antonio e Verenice e ao
meu noivo Adriano.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A UDESC pela oportunidade de ensino gratuito e de qualidade e a CAPES pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelo ensino e condições de trabalho.

Ao Prof. Paulo Cezar Cassol pela oportunidade de inserção na pesquisa, pela orientação, cobranças, ensinamentos e amizade.

Ao Prof. Paulo Roberto Ernani e Luciano Colpo Gatiboni pela co-orientação, ensinamentos e pelos auxílios neste trabalho.

A Carla Maria Pandolfo pela disposição em fazer parte da avaliação deste trabalho.

Ao produtor rural Celso Retore, pela cessão da área experimental e pelo apoio na condução do experimento.

Aos colegas, bolsistas e estagiários do Laboratório de Química Fertilidade do Solo, que foram de essencial importância. Sueli, Jovani, Evandro, Clovisson, Jaqueline, Leandra, Priscylla, Adriano, Marco, Jonas, Cristian, Bruna e Eliana, o meu muito obrigada. Especialmente a Adriano, Jovani, Evandro e Clovisson, pela ajuda sempre presente.

A meus pais, Antonio e Verenice, pelas oportunidades oferecidas, por toda a ajuda, pelo apoio, pela liberdade de escolha, pela confiança, por me ouvirem rir e chorar e porque os amo mais que tudo. A meu noivo Adriano, que sempre me deu muito apoio, força, amor e acreditou na minha capacidade nesta caminhada. A meus irmãos, Verediana e Alex Nathan, pela preocupação, pelo cuidado e pela ajuda dada sempre que possível.

A todos os colegas de mestrado e professores do curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo pelos ensinamentos e pela amizade. Catiline, Patricia P., Patricia S., Fabiani, Danieli, Adriano, Cintia, Leandra, Sabrina, Luiz, Daiana, Danieli... serei eternamente grata pela sincera amizade.

Aos funcionários, Henrique, Fátima, Éderson, Fabiana e Leandro pela cooperação.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

Sinceros agradecimentos.

RESUMO

COSTA, Andréia Cidral da. **Rendimento de milho, atributos químicos e formas de fósforo no solo após nove aplicações anuais de dejetos suíno**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

A produção de suínos representa uma alternativa de ocupação e permanência de famílias de agricultores na zona rural, porém, gera volume significativo de dejetos que exigem deposição adequada, pois oferece riscos de poluição da água e também do solo. Entre esses riscos destaca-se a concentração excessiva de fósforo biodisponível nos mananciais d'água, que promove a eutrofização de lagos e rios. Assim, devem ser estabelecidos os parâmetros adequados para o aproveitamento do potencial fertilizante deste resíduo, com garantia de alta produtividade das culturas e segurança em relação à preservação da qualidade do solo e da água, tanto em relação aos aspectos ambientais, quanto aos agronômicos. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de aplicações anuais de doses crescentes de dejetos suíno, adubação com fertilizantes solúveis e com estes combinados ao dejetos, no rendimento da cultura do milho, nos atributos químicos do solo e nas formas de acumulação e distribuição do fósforo no perfil de um Latossolo Vermelho Distroférrico argiloso. O experimento foi implantado em 2001 em Campos Novos/SC, constituindo-se da aplicação anual e superficial dos tratamentos: dejetos suíno, nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel e dejetos combinado com adubo solúvel, em lavoura de semeadura direta. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Amostras de solo foram coletadas em 2010 para análise dos atributos químicos e frações do fósforo em camadas do solo. A aplicação anual de dejetos suíno em doses igual ou maiores do que 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ é suficiente para um alto rendimento de milho e substituir a adubação com fertilizantes comerciais solúveis. O dejetos combinado a adubo solúvel possibilita rendimento de milho semelhante ao obtido com o adubo solúvel isolado, permitindo o aproveitamento deste resíduo com redução na aquisição de fertilizantes comerciais. Doses de dejetos suíno a partir de 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ na superfície aumentam os teores de cálcio e magnésio trocáveis, fósforo e potássio extraíveis em camadas. Porém não altera o pH do solo com aplicação de dejetos em relação à testemunha, ocorrendo acidificação do solo somente nos tratamentos que receberam adubação solúvel. O dejetos suíno adicionado ao solo aumenta o teor de fósforo, principalmente, nas formas inorgânicas extraídas por resina trocadora de ânions, bicarbonato de sódio e hidróxido de sódio. O aumento no teor de fósforo em todo o perfil estudado, após sucessivas aplicações de altas doses de dejetos suíno, evidencia a transferência de fósforo em profundidade no solo e uma possível contaminação de águas subsuperficiais.

Palavras-chave: Fracionamento químico. Resíduo de animais. *Zea mays*. Fertilidade. Plantio Direto. Reciclagem de nutrientes. Produtividade. Poluição agrícola.

ABSTRACT

COSTA, Andréia Cidral da. **Corn yield, attributes chemical and forms of phosphorus in the soil after nine annual applications of swine manure.** 2011. 85 f. Dissertation (Mestrado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2011.

Swine production represents an alternative occupation and residence of farm families in countryside, however, generates significant volume of waste requiring proper disposal, because it offers risk of water pollution and also the soil. These risks highlight the excessive concentration of bioavailable phosphorus in water sources, which leads to eutrophication of lakes and rivers. They should therefore be set appropriate parameters for the use of the fertilizing potential of this waste, with guaranteed high crop productivity and safety for the preservation of soil quality and water, both in relation to environmental and agronomic. The objective of this study was to evaluate the effects of annual applications of increasing doses of swine manure, fertilizer and soluble fertilizer with these combined with the waste, the yield of maize in soil chemical properties and forms of accumulation and distribution of match the profile of a clay hapludox. The experiment was established in 2001 in Campos Novos/SC, constituting of the annual and surface application of swine manure treatments, the rates 0, 25, 50, 100 and 200 m³ ha⁻¹, soluble fertilizer and manure combined with soluble fertilizer in no tillage. The experimental design was randomized blocks with four replications. Soil samples were collected in 2010 for analysis of chemical and fractions of phosphorus in soil layers. The annual application of swine manure in doses equal or greater than 50 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ is sufficient for a high yield of corn and replace the soluble fertilization with commercial fertilizers. The waste combined with soluble fertilizer allows corn yield similar to that obtained with soluble fertilizer alone, allowing the use of this residue with a reduction in the purchase of commercial fertilizers. Rates of swine manure from up 100 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ on the surface increases the exchangeable calcium, magnesium, phosphorus and potassium extractable in layers. It does not change the pH of the soil with manure application compared to control, soil acidification occurring only in the treatments with soluble fertilizer. The swine manure added to soil phosphorus content increases, mainly in organic forms extracted by anion exchange resin, sodium bicarbonate and sodium hydroxide. The increase in phosphorus content across the profile studied after successive applications of high rates of pig slurry shows the transfer of phosphorus in the soil depth and a possible contamination of subsurface waters.

Keywords: Chemical fractionation. Waste of animals. *Zea mays*. Fertility. No tillage. Nutrient recycling. Productivity. Agricultural pollution.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001..... 25
- Tabela 2. Características de dejetos suíno aplicado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2010. Dejetos gerados por animais em fase de terminação. Campos Novos/SC, 2010. 26
- Tabela 3. Rendimento do milho (kg ha^{-1}) em Latossolo Vermelho submetido à aplicação anual de doses de dejetos suíno, adubo solúvel e adubo solúvel combinado a dejetos suíno nas safras de 2002 a 2011. Campos Novos/SC, 2011..... 28
- Tabela 4. Quantidades de macronutrientes provenientes de dejetos de suíno aplicados em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso durante 10 anos. 35
- Tabela 5. Teores de fósforo extraídos pelos extratores de resina trocadora de ânions e NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. 52
- Tabela 6. Teores de fósforo extraídos pelos extratores de resina trocadora de ânions e NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. 53
- Tabela 7. Teores de fósforo extraídos pelos extratores NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. 54
- Tabela 8. Teores de fósforo extraídos pelos extratores NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. 55
- Tabela 9. Teores de fósforo extraídos pelos extratores HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido

à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. 57

Tabela 10. Teores de fósforo extraídos pelos extratores HCl 1,0 mol L⁻¹ e H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.. 58

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Distribuição de dejetos na área experimental. 26
- Figura 2. Rendimento de milho em um Latossolo Vermelho em função de doses crescentes de dejetos suíno entre as safras agrícolas de 2002 a 2011. Campos Novos/SC, 2011. Significativo a 5 %. 29
- Figura 3. Rendimento médio do milho ao longo de 10 safras em função de doses de dejetos suíno em Latossolo Vermelho. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de comparação de médias (Tukey a 5 % de significância). 30
- Figura 4. Coordenadas geográficas da área experimental e demonstração do arranjo experimental adotado desde 2001. Tratamentos 2; 3; 1; 4; 5; 6 e 7; correspondendo a Adubação solúvel; adubação solúvel combinado com 25 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; e as doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno, respectivamente. 34
- Figura 5. Valores de pH em água e em CaCl₂ em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel, em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. dms = diferença mínima significativa entre os tratamentos para o teste de Tukey a 5 %..... 36
- Figura 6. Valores de pH SMP em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel, em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. dms = diferença mínima significativa entre os tratamentos para o teste de Tukey a 5 %..... 37
- Figura 7. Teores de Al⁺³ trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %..... 39
- Figura 8. Teores de Ca⁺² trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos

- dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %..... 40
- Figura 9. Teores de Mg^{+2} trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %..... 40
- Figura 10. Teores de P extraível em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %..... 42
- Figura 11. Teores de K^+ trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %..... 44
- Figura 12. Somatório dos teores de fósforo das diferentes formas nas seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ). Pi_{RTA} , fósforo inorgânico extraído pela resina; Pi_{bic} , fósforo inorgânico extraído por $NaHCO_3$ a $0,5\text{ mol L}^{-1}$; Po_{bic} , fósforo orgânico extraído por $NaHCO_3$ a $0,5\text{ mol L}^{-1}$; Pi_{hid} , fósforo inorgânico extraído por $NaOH$ a $0,1\text{ mol L}^{-1}$; Po_{hid} , fósforo orgânico extraído por $NaOH$ a $0,1\text{ mol L}^{-1}$; Pi_{hid05} , fósforo inorgânico extraído por $NaOH$ a $0,5\text{ mol L}^{-1}$; Po_{hid05} , fósforo orgânico extraído por $NaOH$ a $0,5\text{ mol L}^{-1}$; Pi_{HCl} , fósforo inorgânico extraído por HCl a $1,0\text{ mol L}^{-1}$; $P_{residual}$, fósforo extraído por $H_2SO_4+H_2O_2+MgCl_2$. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. 58
- Figura 13. Teores de fósforo geoquímico ($Pi_{RTA}+Pi_{bic}+Pi_{hid}+Pi_{hid05}+Pi_{HCl}+P_{residual}$) em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. 59
- Figura 14. Teores de (a) fósforo biológico ($Po_{bic}+Po_{hid}+Po_{hid05}$) e de (b) fósforo total (somatório de todas as frações) em diferentes camadas de um Latossolo

Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. 60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	CARACTERÍSTICAS E POTENCIAS DE SANTA CATARINA.....	16
2.2	USO DO DEJETO DE SUÍNO NA AGRICULTURA.....	17
2.3	A SUINOCULTURA COMO PRODUTORA DE RESÍDUOS.....	18
3	CAPÍTULO I: RENDIMENTO DE MILHO APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE ADUBO SOLÚVEL E DOSES DE DEJETO SUÍNO.....	23
3.1	RESUMO.....	23
3.2	INTRODUÇÃO.....	24
3.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
3.5	CONCLUSÕES.....	31
4	CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE ADUBO SOLÚVEL E DOSES DE DEJETO SUÍNO.....	32
4.1	RESUMO.....	32

4.2 INTRODUÇÃO.....	33
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.5 CONCLUSÕES.....	45
5 CAPÍTULO III: FORMAS DE ACUMULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO APÓS NOVE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO SUÍNO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.....	46
5.1 RESUMO.....	46
5.2 INTRODUÇÃO.....	47
5.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
5.5 CONCLUSÕES.....	61
6 CONCLUSÕES GERAIS.....	63
7 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	64
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
9 ANEXOS.....	74
10 APÊNDICES.....	78

1. INTRODUÇÃO

Para atender aos mercados brasileiro e externo, a produção de suínos consolidou-se como uma das principais atividades econômicas da agropecuária catarinense e vem tendo significativo crescimento nos últimos anos. Esta atividade também representa uma alternativa de ocupação e permanência de famílias de agricultores na zona rural, porém, gera volume expressivo de dejetos que exigem disposição adequada, pois oferece riscos de poluição da água e também do solo. Entre esses riscos destaca-se a concentração excessiva de fósforo nos mananciais d'água, que promove a eutrofização de lagos e rios, fenômeno caracterizado pelo intenso crescimento de algas, que compromete sua qualidade do ponto de vista estético, para a sobrevivência da ictiofauna e para o consumo humano e animal (BERWANGER, 2006).

Assim, devem ser estabelecidos os parâmetros adequados para o aproveitamento do potencial fertilizante deste resíduo, com garantia de alta produtividade das culturas e segurança em relação à preservação da qualidade do solo e da água, tanto em relação aos aspectos ambientais, quanto aos agrônômicos. Porém, os estudos para obtenção de tais parâmetros devem ser conduzidos por tempo relativamente longo, superando-se as variações decorrentes do clima e, principalmente, permitindo a avaliação correta dos efeitos cumulativos do dejetos suíno aplicado continuamente nas lavouras.

A fertilização com esterco é praticada desde os primórdios da agricultura e inúmeras pesquisas tem comprovado que, em dose adequada, o dejetos suíno pode substituir os fertilizantes comerciais, mantendo sob controle os riscos de poluição. Entretanto, o fósforo contido no dejetos suíno aplicado em lavouras sob plantio direto acumula-se principalmente na camada correspondente aos 5 cm superficiais do solo. De outro lado, a acumulação de fósforo oriundo do dejetos suíno aplicado no solo, ocorre principalmente em formas inorgânicas e com intensidade proporcional à dose de aplicação.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta da cultura do milho, os atributos químicos do solo e as formas de acumulação do fósforo até 40 cm de profundidade em Latossolo Vermelho submetido a doses anuais de até 200 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno, comparativamente à adubação com fertilizante comercial solúvel e à combinação de dejetos com fertilizante solúvel, após dez aplicações destes materiais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS E POTENCIAS DE SANTA CATARINA

Santa Catarina tem um território de 95.318,3 km², representando apenas 1,13% do território nacional. A população estadual de 6.249.682 habitantes (IBGE, 2010), descende principalmente de povos europeus, envolvendo diversas origens, predominando os portugueses, italianos e alemães. Estes povos trouxeram culturas e implantaram no estado as pequenas propriedades de agricultura familiar. Santa Catarina tem como principais características na economia, a diversificação de produtos com ênfase em qualidade, atualização tecnológica e modernidade gerencial (SOBESTIANSKY, 1998). Em todo o território catarinense podem ser encontradas unidades produtivas de atividades diversificadas.

De acordo com a ACCS (2010), no estado estão instaladas 45 mil indústrias, das quais 455 de porte médio e 108 grandes, empregando cerca de 360 mil trabalhadores. Santa Catarina está entre os seis principais estados produtores de alimentos e apresenta altos índices de produtividade por área, o que pode ser atribuído à capacidade de trabalho e de inovação dos agricultores e ao caráter familiar de mais de 90% das explorações agrícolas. A agricultura catarinense contribui com mais de 21% do PIB estadual.

A suinocultura é a atividade tradicional do povo rural Catarinense e foi introduzida no Vale do Itajaí, pelos imigrantes alemães, e no oeste, pelos agricultores procedentes do Rio Grande do Sul (ACCS, 2010). No oeste, a atividade ganhou impulso em virtude da abundância de milho, parque industrial pioneiro e da sua adaptação à pequena propriedade rural. A importância da suinocultura na região oeste consiste não só no grande contingente de produtores envolvidos, como também, no número significativo de empregos diretos e indiretos que comporta. Atualmente, além de Santa Catarina ser o maior produtor de suínos do país, é também o maior produtor de reprodutores suínos. Segundo a ACCS (2010), o ano de 2010, para o setor de carne suína, teve como principal característica a estabilidade dos volumes produzidos e uma forte recuperação da lucratividade. Como fundamentos,

sobressaem-se moderado crescimento da produção, expansão robusta da demanda interna, valorização do real, elevação dos preços nos mercados interno e externo, aumento da concorrência internacional e menor oferta de carne bovina no mercado doméstico.

2.2. USO DO DEJETO DE SUÍNO NA AGRICULTURA

Os dejetos gerados pelos suínos são constituídos por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório (KONZEN, 1983). O grande volume e a composição do dejetos produzido dificultam o transporte e torna seu uso muitas vezes economicamente inviável, fazendo com que os produtores rurais o apliquem somente nas redondezas das propriedades. A redução do volume e a utilização adequada dos dejetos podem torná-lo um bom fertilizante orgânico, melhorando as condições químicas (ERNANI & GIANELLO, 1984), físicas (SEGANFREDO, 1998) e biológicas (BARRETA et al., 2003) do solo, aumentando a produtividade agrícola (SEDIYAMA et al., 2000) e diminuindo o impacto ambiental (MOREIRA, 2004).

A utilização adequada do dejetos na agricultura pode consistir em um sistema auto-sustentável, ou seja, que possa ser produtivo, lucrativo e sem danos ao ambiente. Para isso é necessário que as quantidades de nutrientes requeridas pelas plantas sejam iguais as aplicadas (SEGANFREDO, 1998). Se as quantidades forem menores, haverá queda na produtividade, e por conseqüência, perda de lucratividade, podendo inviabilizar o sistema. Mas se as quantidades forem maiores, poderá ocorrer acúmulo de nutrientes no solo (BURTON, 1996), resultados que em médio e longo prazo causam inconvenientes, como por exemplo, a intoxicação da cultura por excesso de nutrientes ou contaminação dos lençóis freáticos por lixiviação.

Os benefícios dos dejetos nos solos estão associados principalmente ao teor de nutrientes encontrados no dejetos, geralmente relevantes para nitrogênio, fósforo, cobre, zinco e potássio (CASSOL, 1999). Vários benefícios podem decorrer da adição do dejetos no solo, como por exemplo, a elevação do pH e diminuição do teor de Al (CASSOL et al., 2005). Por outro lado, a aplicação do dejetos pode ocasionar ligeiros decréscimos nos teores de cálcio no solo (OLIVEIRA & PARIZOTTO, 1994).

2.3. A SUINOCULTURA COMO PRODUTORA DE RESÍDUOS

O sistema intensivo de criação de suíno confinado origina grandes quantidades de dejetos, os quais necessitam um destino adequado. Dentre as alternativas possíveis, aquela de maior receptividade pelos agricultores tem sido a utilização como fertilizante. Resultados de pesquisa de Scherer et al. (1996) indicam que o dejetos suíno, quando utilizado de forma equilibrada, constitui um fertilizante capaz de substituir com vantagem parcialmente ou totalmente a adubação mineral das culturas.

Porém, para encontrar uma suinocultura ambientalmente adequada e sustentável, independente da escala de produção, é importante que se faça a identificação e o controle dos aspectos ambientais da produção, que geram esses impactos (OLIVEIRA, 2007). Entretanto, a produção de suínos no sul do Brasil concentra-se em regiões como o Oeste catarinense e está associada a pequenas propriedades rurais, onde a utilização do dejetos suíno, em muitos casos, excede a dose adequada.

Ao contrário dos adubos químicos que podem ser formulados de acordo com cada tipo de cultura e de solo, o dejetos suíno utilizado como fertilizante do solo possui, ao mesmo tempo, vários minerais que se encontram em proporções desequilibradas em relação à necessidade das absorção das plantas (OLIVEIRA, 2007). Por este motivo, o uso prolongado e, ou excessivo, poderá resultar em desequilíbrios químicos, físicos e biológicos do solo.

Os efeitos do uso de dejetos no solo, na planta e no ambiente, são variáveis e dependem da composição química e física dos dejetos, da dose aplicada, do modo de aplicação, da época, da frequência e do tempo de aplicação (PANDOLFO et al, 2008). Segundo Cheverry et al. (1986) e Scherer et al. (1995), as diferenças encontradas na composição físico-química do esterco provêm das variações de itens como idade dos animais, manejo, alimentação e tipo de estocagem.

Em Santa Catarina exige-se o licenciamento ambiental para implantação ou ampliação da suinocultura em uma propriedade e isto só ocorre se o produtor comprovar que possui área de terra, própria ou contratada de terceiros, suficiente para o descarte dos dejetos produzidos, sendo admitido um máximo de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos suíno (FATMA, 2004).

A contaminação do solo pelo uso excessivo de esterco é mais acentuada em regiões onde se concentra a produção de suínos, porque alguns nutrientes podem atingir as águas superficiais ou subterrâneas, causando sua contaminação (HENTZ, 2006). Assim, a

quantidade de dejetos atualmente gerado nas criações de suínos, chama a atenção para que o descarte seja totalmente controlado, mesmo na utilização como fertilizante no solo.

De acordo com Berwanger (2006) essas situações são preocupantes devido à utilização repetitiva da mesma área para descarte de altas doses, promovendo acúmulo no solo de elementos, principalmente o fósforo, saturando os sítios de adsorção deste, o que favorece a sua transferência por escoamento superficial ou por percolação, causando eutrofização de águas superficiais e sub-superficiais. O excesso de fósforo em muitos solos de países desenvolvidos tem proporcionado preocupação crescente quanto a problemas ambientais causados pela eutrofização de águas superficiais, através do transporte de fósforo do sistema solo para os sistemas aquáticos (BERWANGER, 2006).

A utilização dos dejetos em lavouras como fertilizante ou como forma de descarte é uma prática rotineira e, as vezes, a única fonte de nutrientes as culturas comerciais, sendo uma forma de amenizar os custos de produção, com isso aumentando o lucro das pequenas propriedades rurais.

A agricultura brasileira apresentou, na última década, expressivos incrementos de rendimento e de produção, notadamente nas culturas de grãos, entretanto, para que esses avanços sejam mantidos a longo prazo, faz-se necessário monitorar a qualidade do solo agrícola (AMADO et al., 2007).

A diminuição dos custos de produção, por meio do uso de dejetos disponíveis na propriedade ou na comunidade, pode ser uma das formas de maximizar o lucro do produtor e tornar a atividade viável economicamente (PANDOLFO & CERETTA, 2008). Ceretta et al (2003) relataram que o uso deve ser criterioso, pois o esterco representa um potencial poluente para o ambiente, e pode comprometer a qualidade do solo e água.

De acordo com Ceretta et al (2003), o fósforo migra às camadas mais profundas do solo, com o uso de altas doses de esterco. Assim, o uso do solo e das águas superficiais para descarte do excedente, quando ocorre, aumenta o potencial de poluição pelos dejetos (PANDOLFO et al, 2008).

O fósforo é um dos elementos essenciais para as plantas e animais. Em solos altamente intemperizados a disponibilidade de fósforo geralmente é muito baixa, necessitando aplicação adicional de fertilizantes (NOVAIS & SMYTH, 1999). Entretanto, a crescente preocupação com a preservação ambiental e melhor entendimento dos fenômenos biológicos está fazendo com que a pesquisa em Ciência do solo tome novos rumos. Estudos relacionados com o ciclo

de elementos e sua transferência para o meio aquático tem mostrado situações de iminente surgimento de graves problemas de contaminação (RHEINHEIMER et al., 2008).

A recomendação de adubação fosfatada preconizada pela CQFS-RS/SC (2004) para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina utiliza o teor extraído pelo método Mehlich 1 para estimar a disponibilidade para as plantas. Porém, Gatiboni (2003) afirmou que esta estimativa pode não refletir a dinâmica de formas menos lábeis do nutriente, que não são extraídas pelo método, que também podem contribuir para o suprimento às plantas em médio e longo prazo.

A disponibilidade do fósforo às plantas depende de um processo dinâmico e envolve as suas diferentes formas no solo (GATIBONI, 2003). Estudos sobre formas de acúmulo e capacidade de dessorção de formas de fósforo têm sido realizados no Brasil, utilizando como base a técnica de fracionamento químico de fósforo proposto por Hedley et al. (1982). As formas identificadas por esse método diferem quanto ao tipo de adsorbato e a energia de ligação entre eles, o que define sua capacidade de dessorção e reposição do montante absorvido pelas plantas (GATIBONI, 2003).

De acordo com Berwanger (2006), o fósforo do solo pode ser dividido em duas formas, orgânico (Po) e inorgânico (Pi), dependendo da natureza do composto a que está ligado. As proporções das duas formas podem variar com o grau de intemperismo do solo, dentre outros. O grupo do fósforo inorgânico pode ser separado em três partes, o fósforo dos minerais primários ou estruturais e o fósforo adsorvido, além do fósforo da solução do solo, que é encontrado em baixas concentrações (BERWANGER, 2006). O outro grupo compreende o fósforo orgânico, que pode representar de 20 a 80 % do fósforo total do solo (DALAL, 1977). O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais e animais aplicados no solo, do tecido microbiano e dos seus resíduos de decomposição (GATIBONI, 2003). Em termos práticos, a divisão das formas de fósforo no solo é fundamentada nos extratores usados para estimá-las (SANTOS et al. 2008).

Gatiboni et al. (2008) ressaltam que quando a fonte fertilizante é de origem orgânica e de fácil decomposição, o acúmulo de fósforo no solo que inicialmente pode ocorrer sob forma orgânica, em seguida é convertido em formas inorgânicas devido à mineralização microbiana. Isto ocorre porque mais de 60 % do fósforo total contido em dejetos animais já se encontra nesta forma e também porque os compostos fosfatados orgânicos presentes nos resíduos são mineralizados pelos microorganismos do solo (CASSOL et al., 2001).

Trabalhos têm mostrado que adições frequentes de dejetos de animais aumentam o

teor de fósforo no solo, potencializando a contaminação de mananciais hídricos (PRATT, 1979, CERETTA et al., 2003; GESSEL et al., 2004; CERETTA et al., 2005). Deste modo, torna-se necessário obter mais informações sobre a dinâmica das formas de fósforo do solo e suas relações com a disponibilidade deste nutriente às plantas.

Em estudo realizado por Almeida et al. (2003), os Latossolos apresentam altos teores de fósforo total, com predomínio das formas associadas aos óxidos de ferro, de fósforo ligado a compostos orgânicos, de fósforo adsorvido a superfície de óxidos e de fósforo associado a compostos de ferro de baixa cristalinidade.

A aplicação do dejetos suíno na superfície do solo sem incorporação geralmente tem efeito restrito às camadas superficiais, proporcionando significativos aumentos nos teores de fósforo até 10 cm de profundidade (SCHERER, 2007). Segundo Gatiboni et al. (2008), quando os teores de fósforo disponível atingem a classe “muito alto”, os riscos de contaminação ambiental são elevados. Ceretta et al. (2003), relataram resultados que evidenciam o potencial poluente do fósforo no ambiente, salientando que se deve evitar a aplicação de altas doses de esterco e adotar medidas técnicas que permitam maior taxa de infiltração da água no solo. Também salientam a necessidade de sistemas de culturas que proporcionem a produção e manutenção de altas quantidades de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, a fim de diminuir o escoamento superficial.

O acúmulo de fósforo no solo está relacionado com a quantidade de fósforo adicionada ao solo através dos dejetos, do tipo de solo, transferências e as exportações das culturas (CERETTA et al., 2003). CERETTA et al. (2005) enfatizam que, com isso, quanto maiores o tempo de aplicações e o teor de fósforo nos dejetos maior será o potencial de perdas desse nutriente por escoamento, pela sua alta concentração na superfície. Entretanto, esses autores destacam que do ponto de vista de nutrição de plantas, essas perdas são relativamente pequenas, porém, a concentração de fósforo na enxurrada, nos maiores picos, preocupam pela possibilidade de eutrofização nos mananciais de água.

É fundamental que em áreas onde é distribuído dejetos suíno exista a preocupação com a implantação de plantas de cobertura de solo, visando sistemas de rotação de culturas capazes de produzir e manter resíduos vegetais na superfície do solo, o que pode diminuir muito as perdas de nutrientes por escoamento superficial e, por consequência, o potencial poluente de dejetos suíno (CERETTA et al., 2005; GIACOMINI et al., 2008).

Estudos realizados por Berwanger (2006) ressaltaram que a aplicação de dejetos líquido potencializou as transferências de fósforo via escoamento superficial e percolação atingindo

concentrações superiores às estabelecidas pela legislação, representando assim um potencial de contaminação ambiental.

No entanto, no Brasil ainda se necessita de pesquisas para avaliar a dinâmica de fósforo no solo relacionada com seu potencial contaminante do ambiente e sobre a transferência de fósforo do sistema solo para o meio aquático em condições onde dejetos suíno é aplicado sistematicamente e há longo prazo.

O uso inadequado de dejetos suíno pode afetar negativamente as propriedades do solo e se constituir numa fonte de contaminação ambiental (SEGANFREDO, 2000; KONZEN et al., 2002). Deste modo, o uso desse resíduo como fertilizante em solo apresenta-se como alternativa viável para sua destinação final, porém deve ser manejado adequadamente, para evitar a expressão de seu alto potencial poluente.

3 CAPÍTULO I: RENDIMENTO DE MILHO APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE ADUBO SOLÚVEL E DOSES DE DEJETO SUÍNO

3.1 RESUMO

O uso de dejetos suínos como fertilizante possibilita o aproveitamento dos nutrientes contidos neste resíduo e pode representar uma alternativa segura para sua destinação final. Porém, a dose a ser aplicada deve se ajustar às necessidades das culturas e não incorrer em excesso de poluentes ambientais. Para avaliar a resposta da cultura do milho (*Zea mays*) a doses de dejetos suínos, comparativamente à adubação com fertilizante comercial solúvel e à combinação de dejetos com fertilizante solúvel sob plantio direto, foi conduzido um experimento a campo, entre as safras de 2001/2002 a 2010/2011. Anualmente, foram aplicados os tratamentos: dejetos suínos (DJ), nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS), em dose equivalente à aproximadamente 130, 100 e 70 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e dejetos combinados com adubo solúvel (DJ+AS) em doses conjuntas de 25 m³ ha⁻¹ do resíduo mais aproximadamente 75 kg ha⁻¹, 16 kg ha⁻¹ e 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. O experimento foi localizado em Campos Novos, SC, sobre um Latossolo Vermelho distroférrico, cultivado com a sucessão das culturas de milho e aveia preta (*Avena strigosa*). O rendimento de grãos de milho aumentou com as doses de dejetos suínos, variando de 4.174 a 10.061 kg ha⁻¹, com máximo rendimento estimado na dose 143 m³ ha⁻¹. O dejetos suínos combinados com adubo solúvel proporcionou rendimento de milho semelhante ao obtido com este fertilizante isolado, indicando que este tratamento possibilita o aproveitamento do resíduo com redução de dispêndios com adubos comerciais e sem os riscos de poluição associados às doses elevadas.

Palavras-chave: resíduo, produtividade, *Zea mays*

3.2 INTRODUÇÃO

A criação de suínos confinados gera grandes volumes de dejetos de alto potencial poluente. Entretanto, o uso deste resíduo como fertilizante pode ocorrer sem danos ao ambiente, aproveitando-se os nutrientes (ALVES et al., 2007) com benefícios adicionais no solo, incluindo melhoria em propriedades que favorecem o desenvolvimento das plantas (CASSOL, 1999; SCHERER et al., 2007).

A utilização do dejetos suíno como fertilizante em lavouras ou como forma de descarte é uma prática rotineira e, às vezes, a única fonte de nutrientes às culturas comerciais, representando uma forma de amenizar os custos de produção e, com isso, aumentar o lucro das pequenas propriedades rurais.

A diminuição dos custos de produção, pelo uso de dejetos suínos disponíveis na propriedade ou na comunidade, pode ser uma das formas de maximizar o lucro do produtor e tornar a atividade viável economicamente (PANDOLFO & CERETTA, 2008). Entretanto, Ceretta et al. (2003) relataram que o uso deve ser criterioso, pois o resíduo pode poluir o ambiente, comprometendo a qualidade do solo e da água. Porém, há produtores de suínos na região oeste de Santa Catarina que não produzem grãos, e assim, não possuem áreas adequadas para aplicação do dejetos na forma de adubação orgânica (SEIFFERT & PERDOMO, 1998). A aplicação de doses altas de dejetos de suíno deve ser evitada, pois pode ocasionar problemas na germinação de sementes e promover acumulação de elementos como fósforo, cobre e zinco em níveis excessivos no solo (SEGANFREDO, 2000).

Por ser um resíduo que contém teores elevados de matéria orgânica e de outros nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, o dejetos suíno pode melhorar as propriedades físicas e as características químicas e biológicas do solo, o que possibilita seu aproveitamento na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento e à produção das plantas (SCHERER et al., 2007). O uso de dejetos suíno aumenta a produtividade de grãos de milho, principalmente devido ao alto teor de matéria seca do dejetos aplicado (CERETA, 2005). No entanto, a maior eficiência no rendimento de milho ocorre em doses elevadas, que extrapola o volume permitido pela legislação ambiental de Santa Catarina (LÉIS et al., 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta da cultura do milho a doses de dejetos suíno, comparativamente à adubação com fertilizante comercial solúvel e à combinação de dejetos com fertilizante solúvel, após dez aplicações, destes materiais repetidas anualmente.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, em Campos Novos, SC, município com sede localizada nas coordenadas 27°23'33" de latitude e 51°21'48" longitude e com altitude de 862 m. O clima é mesotérmico úmido com verão ameno tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.480 mm e 16°C, respectivamente (SANTA CATARINA, 2011).

O solo é um Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006), tendo como material de origem o basalto. Os principais atributos químicos do solo na implantação do experimento estão descritos na Tabela 1, sabendo-se que anteriormente a área vinha sendo utilizada com lavoura.

Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.

Camada	pH	SMP	Al	Ca	Mg	P	K	MO
			-----cmol _c kg ⁻¹ -----			---mg kg ⁻¹ ---		g kg ⁻¹
0-20 cm	6,1	6,0	<0,01	8,2	4,6	6,4	67	43

Legenda - pH: pH em água; SMP – pH pelo índice SMP; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; MO: matéria orgânica. ⁽¹⁾determinado segundo Tedesco et al.(1995). ⁽²⁾extrator Mehlich 1. ⁽³⁾extrator KCl 1 M.

O experimento foi implantado em novembro de 2001, sendo constituído dos seguintes tratamentos: dejetos suíno (DJ), nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS), em dose equivalente a 130, 100 e 70 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e dejetos combinado com adubo solúvel (DJ+AS) em doses conjuntas de 25 m³ ha⁻¹ de dejetos mais cerca de 75, 16 e 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Os dois últimos tratamentos foram definidos com base em recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo - NRS/SBCS (2004). No tratamento AS, o N foi aplicado em parcelas de 20% na base e o restante em uma cobertura, realizada no estádio V5. No tratamento DJ+AS, o N da fonte solúvel foi totalmente aplicado em uma cobertura na mesma época acima. A tabela 2 apresenta as quantidades de nutrientes provenientes do dejetos aplicados ao solo.

Tabela 2. Características de dejetos suíno aplicados anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2010. Dejetos gerados por animais em fase de terminação. Campos Novos/SC, 2010.

Aplicação	pH	MS	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn
10/2001	6,7	66	3,4	1,4	1,2	3,3	1,1	-	11,9	1,2	8,0	5,2
11/2002	7,1	26	2,6	1,0	1,2	1,8	0,7	-	-	-	-	-
10/2003	6,9	32	2,6	1,1	1,3	2,1	0,9	-	-	-	-	-
10/2004	7,3	43	3,7	1,4	1,5	2,8	1,2	-	-	-	-	-
10/2005	7,8	56	3,2	1,5	1,1	1,8	0,9	-	-	8,8	3,2	-
10/2006	7,0	114	4,6	2,8	1,7	1,7	0,9	0,8	9,0	3,4	4,6	12,8
10/2007	7,3	55	2,7	1,8	1,1	1,5	0,8	0,5	2,7	4,1	7,8	9,6
10/2008	7,1	68	2,4	0,4	1,3	0,6	0,2	-	-	-	-	-
10/2009	7,2	69	6,6	1,1	3,5	1,6	0,5	-	-	-	-	-
Média	7,2	57	3,4	1,4	1,5	1,9	0,8	0,7	7,8	4,4	5,9	9,2

O dejetos suíno foi gerado por animais em terminação e permaneceu na esterqueira por cerca de 60 dias antes da aplicação. Os fertilizantes solúveis empregados como fontes de N, P e K foram uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Os tratamentos foram aplicados a lanço na superfície do solo, 20 dias após a dessecação da aveia com herbicida glifosato, sendo o dejetos distribuído com o emprego de distribuidor de esterco líquido (Figura 1). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com 75,6 m² e 58,3 m² de áreas total e útil, respectivamente.



Figura 1. Distribuição de dejetos na área experimental.

A cultura de milho foi semeada cinco dias após a aplicação dos tratamentos em densidade de aproximadamente 7 sementes por m². Utilizou-se uma cultivar de híbrido simples de ciclo precoce. O rendimento de grãos de milho foi estimado mediante colheita manual e trilha mecânica das espigas produzidas na área útil das parcelas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias por Tukey ($\alpha = 0,05$). O fator quantitativo (dose de dejetos) foi analisado com ajuste de equações de regressão linear ou quadrática. A testemunha foi considerada como dose zero. Foram utilizados os modelos PROC REG e PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007) para as regressões e comparação de médias, respectivamente.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos de milho variou entre as safras e entre os tratamentos (Tabela 3). O rendimento observado em anos com boa distribuição de chuvas reflete o potencial produtivo desta cultura, que chegou ao máximo de 11.870 kg ha⁻¹ na safra de 2009/2010. Entretanto, na safra 2005/2006, a cultura teve desempenho aquém do observado nas demais safras, o que certamente resultou da severa insuficiência de água, decorrente da longa estiagem observada durante o ciclo de cultivo. Os rendimentos médios do milho variaram de 3.236 a 8.270 kg ha⁻¹ entre os tratamentos, os quais com exceção do tratamento testemunha, se situam acima do rendimento médio obtido pelos agricultores do estado, que é de 5.003 kg ha⁻¹ (IBGE, 2009), o que demonstra que o dejetos suíno pode ser um fertilizante eficiente para lavoura de milho em Latossolo Vermelho, já que promoveu um incremento na produção atingindo produtividade maior do que a média no Estado.

Os resultados mostraram que doses acima de 100 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno proporcionaram maior rendimento de grãos de milho que o fertilizante solúvel, em consonância com o observado por Ernani (1984) que comparou o rendimento de grãos de milho em tratamentos com resíduos orgânicos (dejetos suíno e cama de aves) e adubação mineral. Segundo o autor, essa maior eficiência se deveu principalmente ao nitrogênio adicional fornecido pelos resíduos, pois, naquele trabalho, não houve resposta à adição de fósforo, potássio ou calcário e a quantidade de uréia aplicada mostrou-se insuficiente para a cultura.

Tabela 3. Rendimento do milho em Latossolo Vermelho submetido à aplicação anual de doses de dejetos suíno, adubo solúvel e adubo solúvel combinado a dejetos suíno nas safras de 2002 a 2011. Campos Novos/SC, 2011.

Rendimento de grãos de milho (kg ha ⁻¹)							
Safrá	AS	AS+DJ	Dejeto suíno (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)				
			0	25	50	100	200
2002	8.304	7.447	5.777	6.965	7.568	8.035	7.506
2004	5.295	5.986	3.332	4.400	5.435	6.510	6.310
2005	7.188	8.100	3.044	7.081	8.038	7.653	6.920
2006	396	348	322	399	427	707	818
2007	8.284	8.961	4.173	9.147	9.978	10.129	11.079
2008	5.731	6.332	2.954	5.084	8.522	9.077	10.143
2009	7.759	7.859	2.699	6.263	7.327	8.395	8.711
2010	8.093	8.766	3.716	8.099	9.518	10.127	11.870
2011	7.854	8.896	3.110	5.906	8.511	11.023	11.073
Média	6.545	6.966	3.236	5.927	7.258	7.961	8.270

O rendimento médio de grãos de milho aumentou com o aumento das doses de dejetos, ajustando-se à equação de regressão quadrática (Figura 2). Pandolfo et al. (2010) também observaram resposta significativa do rendimento de grãos de milho à aplicação de doses de dejetos suíno em um Cambissolo, estimando que 76% da variação foi devida aos tratamentos aplicados.

Os valores de rendimento estimados pelo modelo quadrático de resposta variaram desde o mínimo de 4.174 kg ha⁻¹ até o máximo de 10.061 kg ha⁻¹, atingido com a dose 143 m³ ha⁻¹. Já o rendimento 9.054 kg ha⁻¹, equivalente a 90% do máximo, seria alcançado com a dose 83,7 m³ ha⁻¹. Este resultado sugere que não é vantajoso o emprego de dose para o maior rendimento de grãos, pois para um incremento de apenas 10% neste, seria necessário um incremento de 58% na taxa de aplicação do dejetos. De outro lado, este incremento de dejetos no solo certamente aumentaria os riscos de excesso de elementos como N, P, Zn e Cu e subsequente poluição dos mananciais de água. Em estudos semelhantes a este, também se constatou a necessidade de doses acima de 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suíno para se atingir o rendimento máximo em cultivo de milho (CERETTA et al., 2005; LÉIS et al., 2009).

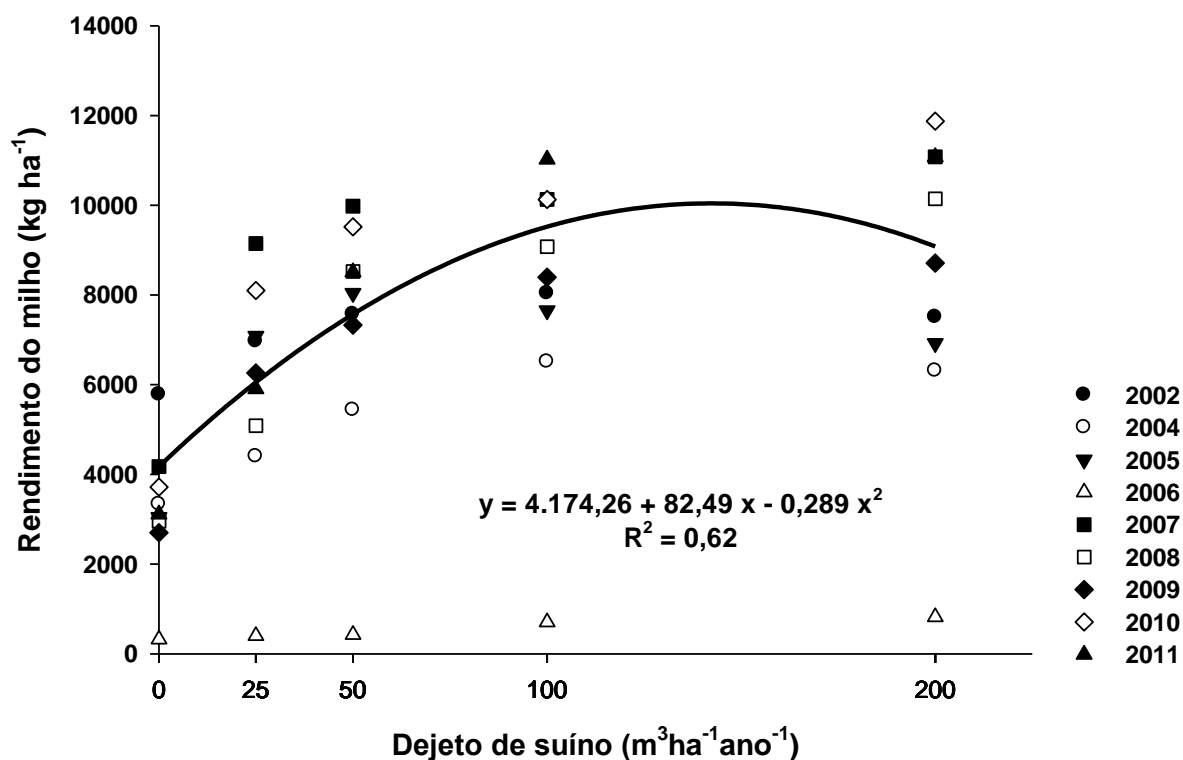


Figura 2. Rendimento de milho em um Latossolo Vermelho em função de doses crescentes de dejeito suíno entre as safras agrícolas de 2002 a 2011. Campos Novos/SC, 2011. Significativo a 5 %.

O rendimento obtido com a aplicação de dejeito combinado a adubo solúvel teve média de 6.966 kg ha^{-1} , equivalente a 69% do máximo estimado pela função ajustada aos dados. Este rendimento ficou abaixo do potencial de produtividade da cultura, entretanto, destaca-se que foi conseguido com a adição de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ do dejeito mais as doses de N, P_2O_5 e K_2O de fontes solúveis. Isto possibilita a economia de divisas por parte dos agricultores e o uso do resíduo com redução substancial dos riscos de causar poluição. Já o rendimento atingido com o adubo solúvel isolado, teve a média 6.545 kg ha^{-1} , equivalente a 65% do máximo, o que indica que as doses de nutrientes foram insuficientes para o híbrido empregado, nas condições de solo e clima da área experimental. Certamente, isso também contribuiu para que o rendimento do tratamento DJ+AS ficasse abaixo do teto estimado no experimento.

Entre as doses de dejeito suíno de 25 a $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ utilizadas na adubação de base, quando comparadas à adubação química, não diferiram entre si estatisticamente, demonstrando a eficiência dos dejetos como fertilizantes (Figura 3). Diversos autores também realizaram trabalhos com dejetos de suínos (CERETTA, et al., 2005; GIACOMINI & AITA, 2008; LÉIS et al., 2009) e verificaram efeitos benéficos destes na produtividade do milho.

Konzen e Alvarenga (2002), utilizando dejetos suínos e adubação de N em cobertura na cultura do milho, em Latossolo Vermelho Amarelo, observaram igualmente boa eficiência deste resíduo na produtividade do milho até a produção de 7.000 a 8.000 kg ha⁻¹.

Os resultados evidenciaram maior produtividade de grãos de milho em doses a partir de 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suínos, em que na dose 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ verifica-se rendimento maior do que o obtido com o adubo solúvel. Contudo, estas diferenças de rendimento podem ser explicadas porque a dose de nutrientes recomendada pelo sistema oficial do RS e SC visa o máximo retorno econômico da cultura, o que geralmente não é obtido com a dose de máximo rendimento.

No entanto, o rendimento de milho atingido com 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suínos, em aplicação única, que representa a dose definida como taxa anual máxima de aplicação de dejetos de suínos em lavouras pela Instrução Normativa Estadual nº 11 da FATMA, foi similar ao obtido com o adubo solúvel.

Resultado semelhante foi observado em estudos realizados por Scherer et al. (1986) em que concluíram que a dose 40 m³ ha⁻¹ de dejetos suínos foi a melhor dose sob o ponto de vista técnico e econômico para a produtividade de grãos de milho no Oeste Catarinense. Estes resultados indicam que a aplicação de dejetos suínos de acordo com a legislação do Estado também pode possibilitar uma condição de eficiência econômica para lavoura de milho em Latossolo Vermelho distroférrico argiloso como o estudado.

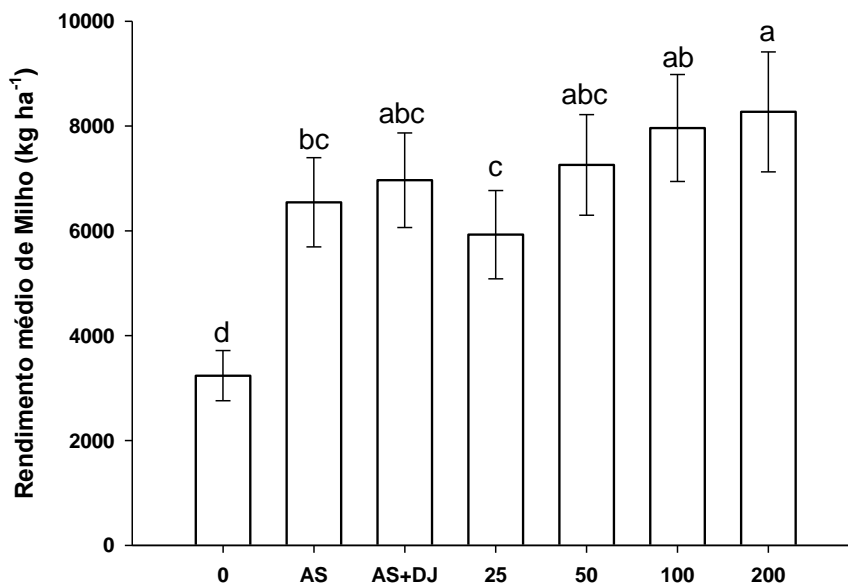


Figura 3. Rendimento médio do milho ao longo de 10 safras em função de doses de dejetos suínos em Latossolo Vermelho. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de comparação de médias. Significativo a 5 %.

Considerando-se que as condições climáticas de insolação, temperatura e, principalmente, disponibilidade hídrica foram em geral favoráveis à expressão da potencialidade de rendimento da cultura, considera-se que os resultados deste trabalho indicam que o desenvolvimento das plantas de milho e a consequente acumulação de matéria seca nos grãos, teve associação com o estado nutricional da cultura possibilitado pela disponibilidade de nutrientes no solo nos diferentes tratamentos.

3.5 CONCLUSÕES

O dejetos suíno pode substituir a adubação com fertilizantes comerciais solúveis, porém, para se atingir o rendimento máximo de cultivar híbrida de alto potencial produtivo, são requeridas doses elevadas, acima do limite de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ admitido pela legislação ambiental do estado de Santa Catarina.

O dejetos combinado ao adubo solúvel possibilita rendimento de milho semelhante ao obtido com o adubo solúvel isolado, indicando que aquele tratamento permite o aproveitamento deste resíduo com economia na aquisição de fertilizantes comerciais sem incorrer nos riscos de poluição do solo associados às doses elevadas do resíduo.

4 CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM UM LATOSSOLO VERMELHO APÓS APLICAÇÕES ANUAIS DE ADUBO SOLÚVEL E DOSES DE DEJETO SUÍNO

4.1 RESUMO

A aplicação de dejetos suínos como fonte de nutrientes às culturas é muito utilizada nas regiões suinícolas do sul do Brasil. Porém esta prática deve ser feita com cautela, pois devido ao desbalanço entre a proporção de nutrientes presentes no dejetos e as quantidades absorvidas pelas plantas, pode ocorrer excesso de nutrientes no solo. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos de aplicações anuais de doses crescentes de dejetos suínos, adubação com fertilizantes solúveis e com estes combinados ao dejetos, em atributos químicos e na disponibilidade de nutrientes do solo. O experimento foi implantado em 2001 em Campos Novos/SC, sob um Latossolo Vermelho Distroférico argiloso, constituindo-se da aplicação superficial dos tratamentos dejetos suínos, nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel e dejetos combinado com adubo solúvel, em lavoura de semeadura direta. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Amostras de solo foram coletadas em 2010 para análise dos atributos químicos em seis camadas do solo até 40 cm de profundidade. A aplicação de doses elevadas, a partir de 100 m³ ha⁻¹ e anualmente repetidas, de dejetos suínos na superfície do solo promove incrementos nos teores de fósforo e potássio extraíveis nas camadas superficiais do solo. Não foi constatado efeito das doses de dejetos suínos sobre a acidez do solo, e nos teores de alumínio, mas para o cálcio e magnésio houve efeito apenas nos 5 primeiros cm de profundidade. O tratamento com adubo solúvel promoveu diminuição no pH e nos teores de cálcio e magnésio no solo em relação aos tratamentos que receberam a aplicação de dejetos suínos. O dejetos suínos aplicado no solo promove alterações em alguns atributos químicos e em geral aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Palavras-chave: Disponibilidade de nutrientes. Esterco. Adubo orgânico. Chorume

4.2. INTRODUÇÃO

A suinocultura na região sul do Brasil tem se destacado como uma alternativa de renda nas pequenas propriedades de mão-de-obra familiar. O sistema de produção é intensivo e gerador de grande volume de dejetos suínos, que pode ser utilizado na propriedade como fonte de nutrientes para culturas anuais e/ou pastagens. Esta prática é desejável, pois além de ser uma alternativa de descarte, diminui o custo da aquisição de fertilizantes minerais.

O dejetos suínos contém, em diferentes proporções, todos os nutrientes essenciais às plantas e sua aplicação no solo é uma forma de ciclar e disponibilizar estes nutrientes, (CERETTA et al. 2003), podendo substituir em parte ou totalmente os adubos comerciais solúveis e contribuir para o aumento da produtividade das culturas e na redução dos custos de produção.

A baixa concentração de nutrientes limita o aproveitamento do dejetos suínos como fertilizante, pois aumentam os custos de armazenamento, transporte e aplicação por unidade de nutriente, restringindo sua utilização econômica às áreas próximas à sua geração (BERWANGER, 2006). Contudo, para os produtores, a utilização dos dejetos, além de aumentar a produtividade nas lavouras, pode diminuir os custos de produção devido à adubação e, conseqüentemente, aumentar os lucros da atividade. A aplicação do dejetos suínos no solo também pode ser uma alternativa de controle do efeito poluidor desse resíduo, se realizada com prudência.

O dejetos suínos contém matéria orgânica e sua aplicação pode aumentar este componente nos solos, o que pode aumentar a capacidade de troca catiônica do solo, proporcionar melhoria na estruturação e diminuir a densidade aparente, com conseqüente aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água. Além disso, geralmente promove aumento na capacidade de armazenamento de água. No entanto, os efeitos benéficos deste resíduo no solo são condicionados à adequação da dose, devendo-se evitar a aplicação de dose acima da capacidade de suporte do solo.

Este trabalho teve por objetivos, avaliar os efeitos de aplicações anuais de doses crescentes de dejetos suínos, adubação com fertilizantes solúveis e com estes combinados ao dejetos, em atributos químicos e na disponibilidade de nutrientes em seis camadas até 40 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho Distroférico.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi conduzido um experimento a campo em área experimental localizada no município de Campos Novos, estado de Santa Catarina, em solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico que apresenta 68% de argila na camada arável. Nele foram avaliadas as variações em atributos químicos de seis camadas do solo, após nove aplicações anuais dos tratamentos: doses de 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; adubação com fertilizante solúvel; adubação combinada de dejetos com fertilizante solúvel e testemunha, sem qualquer adubação. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições. A Figura 4 representa o croqui do experimento ilustrando as coordenadas geográficas e a distribuição dos tratamentos.

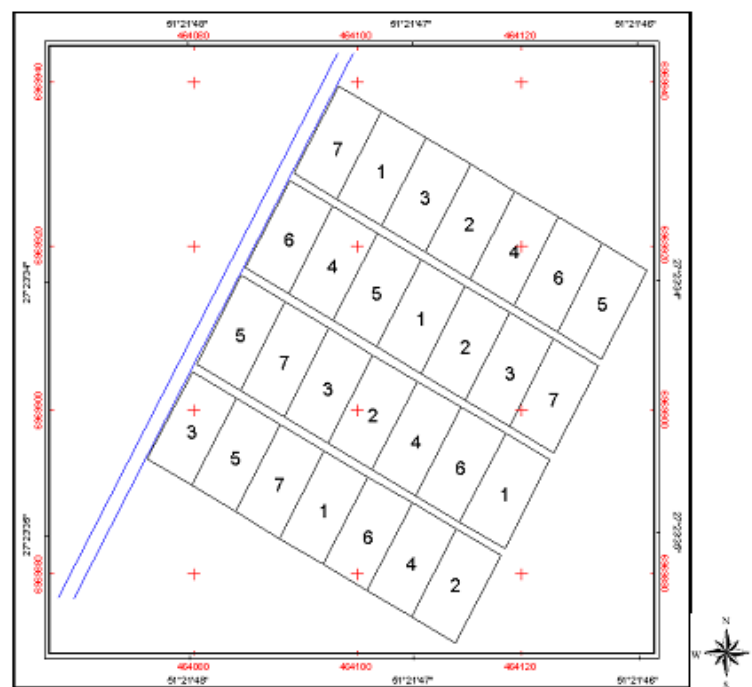


Figura 4. Coordenadas geográficas da área experimental e demonstração do arranjo experimental adotado desde 2001. Tratamentos 2; 3; 1; 4; 5; 6 e 7; correspondendo à adubação solúvel; adubação solúvel combinada com 25 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; e as doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno, respectivamente.

O experimento teve início em novembro de 2001, quando foi realizada a primeira aplicação dos tratamentos e em julho de 2010 foi realizada a amostragem do solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm para a análise química. Foram determinados os atributos: pH em água, pH em CaCl₂, pH SMP, teores de cálcio, magnésio e alumínio

trocáveis e potássio e fósforo extraíveis. Para isto, as amostras de solo inicialmente foram secas em estufa a 60°C, moídas e peneiradas em malha de 2,0 mm. O pH em água foi determinado na relação 1:1; o pH em CaCl₂ foi realizado em uma solução 0,01 mol L⁻¹ deste sal e o pH SMP foi medido após reação do solo com uma solução tamponada a pH 7,5 que é alterada em função da acidez potencial do solo, sendo estas três determinações realizadas mediante leitura em potenciômetro. O potássio e fósforo extraíveis foram analisados pelo método Mehlich-1 com solução ácida de HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹, sendo potássio quantificado por fotometria de chama e o fósforo por espectrofotometria visível. Os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução salina neutra de KCl 1 mol L⁻¹, sendo os dois primeiros determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o último quantificado por titulometria ácido-base com NaOH 0,0125 mol L⁻¹ (TEDESCO et al., 1995).

A tabela 4 apresenta as quantidades totais de macronutrientes provenientes do dejetos aplicados ao solo durante 10 anos do experimento.

Tabela 4. Quantidades de macronutrientes provenientes de dejetos de suíno aplicados em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso durante 10 anos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg
Dose de dejetos m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ 10 anos ⁻¹ -----				
25	850	355	387	477	200
50	1.700	710	773	954	401
100	3.400	1.420	1.547	1.908	801
200	6.800	2.840	3.093	3.816	1.602

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Fisher, comparações de médias de tratamentos pelo teste de Tukey (p < 0,05) dentro de cada camada de solo. Foi utilizado o modelo PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007) para a análise de variância e de comparação de médias.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se efeito dos tratamentos em diversos atributos químicos relacionados ao pH do solo e à disponibilidade de nutrientes, com variações significativas entre as adubações e

doses de dejetos suíno. O dejetos suíno nas diversas doses e adubações aplicadas não influenciou o pH em água, pH SMP e o pH CaCl_2 do solo (Figuras 5 e 6), porém, o tratamento adubo solúvel (AS), provocou redução nestes três atributos em relação aos demais tratamentos nas camadas 0-2,5 e 2,5-5.

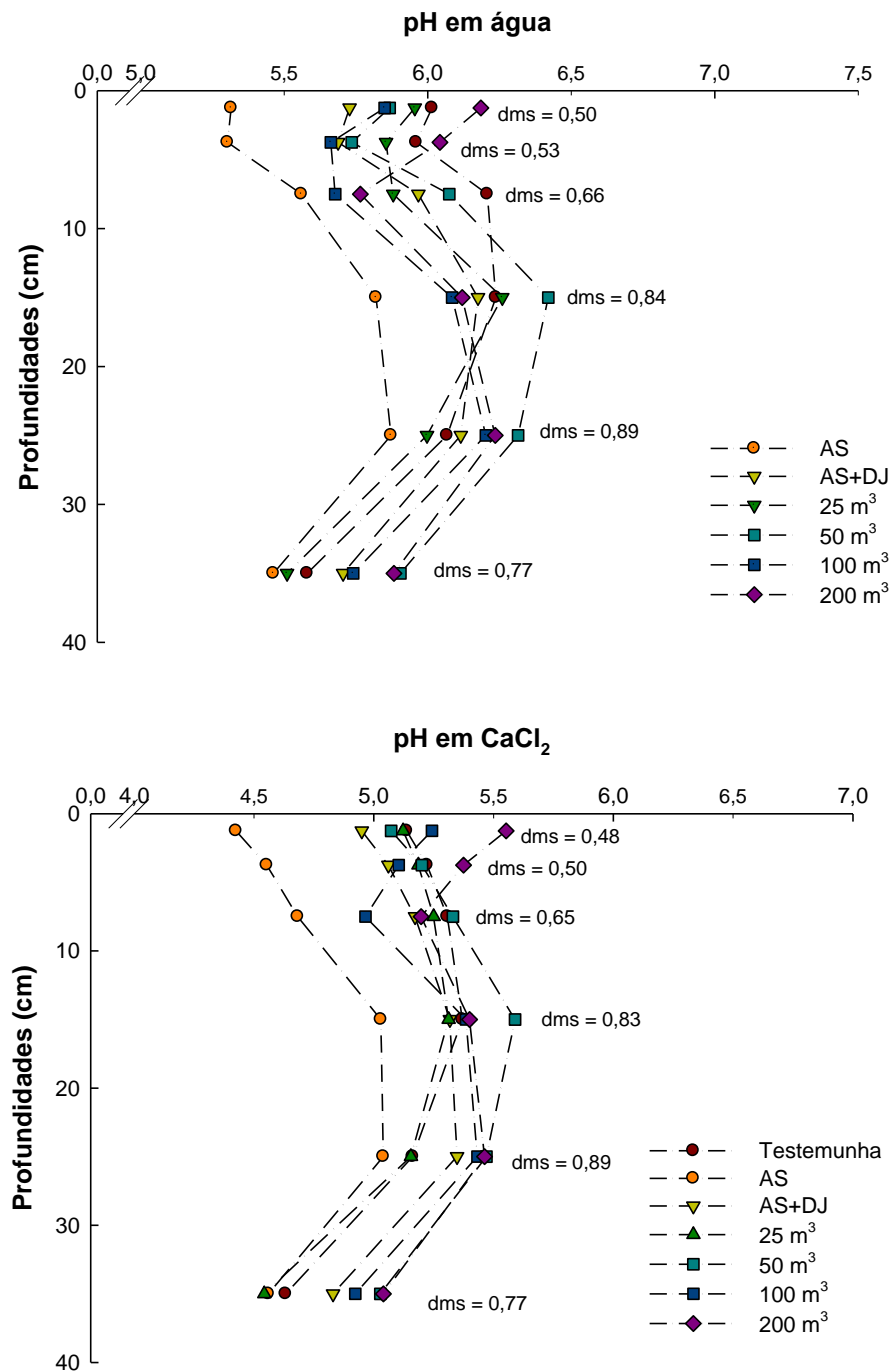


Figura 5. Valores de pH em água e em CaCl_2 em Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel, em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. dms = diferença mínima significativa entre os tratamentos para o teste de Tukey a 5 %.

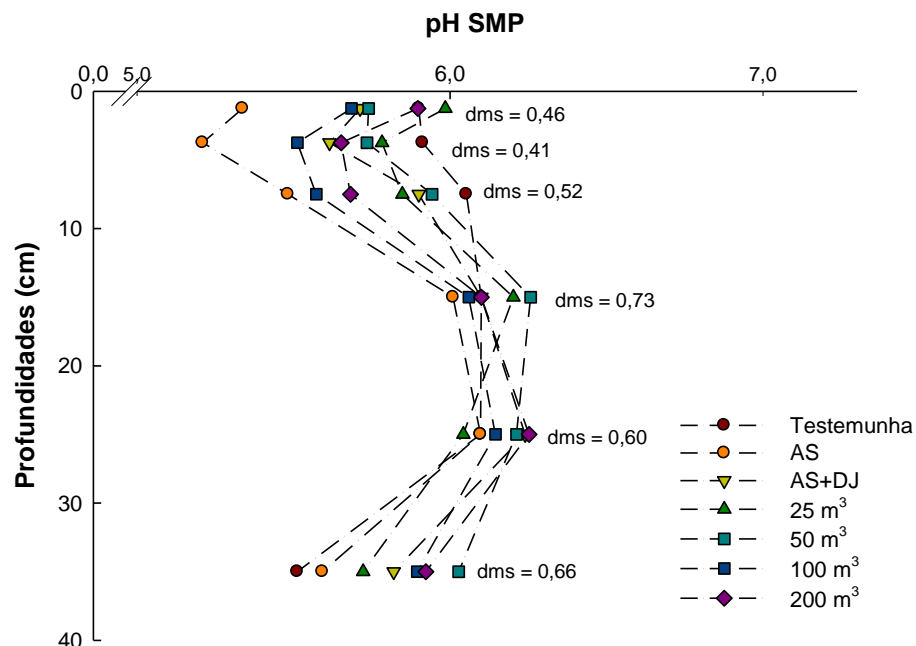


Figura 6. Valores de pH SMP em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel, em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. dms = diferença mínima significativa entre os tratamentos para o teste de Tukey a 5 %.

A diminuição do pH do solo nos tratamentos que receberam adubo solúvel pode estar relacionada ao processo de nitrificação do NH₄⁺ proveniente da uréia, que promove o abaixamento do pH (anexo A), devido a liberação de dois átomos de hidrogênio para cada molécula de amônio nitrificada (MANTOVANI, 2005). Na condição original, este solo apresenta pH inferior a 5,0 (EMBRAPA, 2006), mas em geral e independente dos tratamentos, os valores de pH situaram-se próximos de 5,5, o que pode ser explicado pelo fato de o solo ter recebido calagem em época anterior ao início do experimento, embora esta tenha sido feita há mais de 10 anos.

Os resíduos orgânicos em geral, possuem certo potencial para elevação do pH do solo, entretanto, a magnitude do efeito é pequena, relativamente ao calcário, além de temporária (CASSOL et al. 2001), sendo insuficiente para provocar efeito significativo, principalmente em solos com alto poder tampão. Scherer et al. (1996) e Ceretta et al. (2003), também afirmam que a possibilidade de alteração do pH no solo com a aplicação de dejetos suínos é mínima, principalmente tratando-se de solos altamente tamponados, ainda que os teores de alumínio possam ser diminuídos.

Por sua vez, Shen & Shen (2001) observaram aumento do pH do solo após aplicação de dejetos suínos em um solo argiloso, sugerindo que este efeito benéfico do resíduo está associado à diminuição do alumínio e aumento da saturação de bases do solo. A adição de

resíduos orgânicos em solos ácidos pode causar aumento dos valores de pH em água do solo pela adsorção de íons H^+ nos subprodutos da decomposição destes e também dos resíduos culturais que fazem parte a fração não húmica da matéria orgânica do solo (HUE & LICUDINE, 1999). Por sua vez, Chantigny et al, (2004) relatam que incrementos nos valores de pH do solo podem ser devidos a característica alcalina do dejetos suíno e também pela dissociação de carbonatos derivados do dejetos.

As diferenças de efeito dos resíduos orgânicos no pH do solo podem ser atribuídas ao tipo de solo, especialmente quanto ao seu poder tampão, sendo improvável que ocorra em solos altamente tamponados (CERETTA, 2003; SCHERER, 2007). A natureza do resíduo e também a dose aplicada são outros aspectos relacionados a este efeito. Assim, resíduos contendo altos teores de carbonatos geralmente aumentam o pH, enquanto aqueles com pouco carbonato e alto conteúdo de N amoniacal podem ter efeito contrário (CASSOL et al., 2001). Entretanto, sabendo-se que o efeito dos resíduos é de baixa magnitude, relativamente aos corretivos da acidez do solo, pode-se considerar que o pH do solo dificilmente é alterado com a aplicação de doses recomendáveis do dejetos suíno.

O teor de alumínio foi maior no tratamento com adubo solúvel (Figura 7 e Anexo B), até 10 cm de profundidade. Este aumento no teor de alumínio no solo tratado com adubo solúvel em relação aos tratamentos que receberam dejetos suíno, deve-se à diminuição do pH do solo, que resultou na dissolução de compostos sólidos deste elemento, notadamente hidróxidos (MOURA, 2006).

O dejetos suíno nas diversas doses testadas não afetou o teor de alumínio trocável do solo, sendo esse resultado relevante, pois a aplicação de dejetos manteve valores baixos deste elemento, uma vez que, de acordo com a CQFS (2004), valores superiores a 10% de saturação de alumínio no solo são limitantes para o sistema plantio direto. Deste modo, a manutenção dos valores baixos de alumínio trocável no solo, motivado pelo uso de dejetos, provavelmente devido à complexação deste elemento, reflete-se positivamente no crescimento das plantas, pois as raízes poderão ter um ambiente mais favorável para o seu crescimento em profundidade.

No entanto, Ceretta et al. (2003) observaram diminuição no teor de alumínio trocável em Alissolo Crômico cultivado com pastagem natural e com aplicação de 0, 20 e 40 $m^3 ha^{-1}$ de dejetos suíno, durante quatro anos, sugerindo que esta diminuição ocorreu devido a complexação do alumínio trocável, especialmente, pelas frações ácidos fúlvicos e húmicos da

matéria orgânica, que são muito reativas e aumentam no solo com adições de altas quantidades de carbono orgânico.

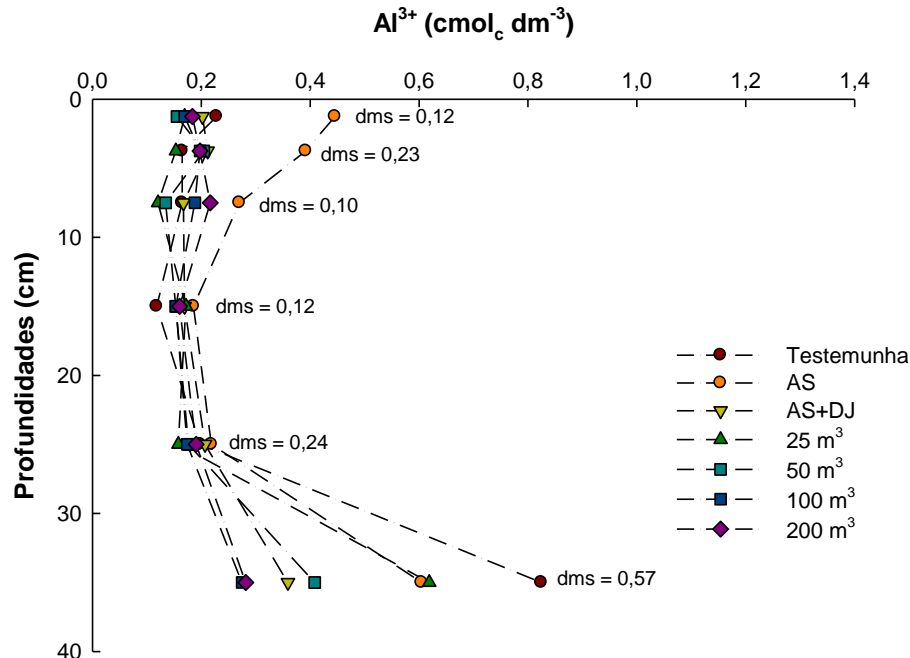


Figura 7. Teores de Al^{3+} trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

O tratamento que recebeu apenas adubo solúvel resultou em teores de cálcio e magnésio trocáveis em geral menores que nos demais tratamentos nas camadas 0-2,5 e 2,5-5 cm, enquanto que as duas maiores doses de dejetos aumentaram, a concentração de cálcio na primeira camada do solo em relação à testemunha (figura 8 e 9). Entretanto na segunda camada, este aumento no teor de cálcio somente foi observado na maior dose de dejetos e nas demais camadas não houve efeito do dejetos nos teores destes dois nutrientes. A redução nos teores de cálcio e magnésio observada no tratamento adubo solúvel, provavelmente ocorreu devido ao déficit entre as quantidades adicionadas e as quantidades destes nutrientes perdidas por lixiviação ou retiradas pelas culturas, em face à alta produtividade média obtida neste tratamento.

A pouca expressão de efeitos do dejetos nos teores de cálcio e magnésio se explica, em parte, pela alta concentração desses nutrientes preexistente no solo, o que confere pouca expressão proporcional para eventuais incrementos de pequena magnitude. A concentração desses elementos no dejetos utilizado também pode ser considerada baixa, contribuindo para a

ausência de efeito deste nos teores de cálcio e magnésio trocáveis até mesmo nas maiores doses.

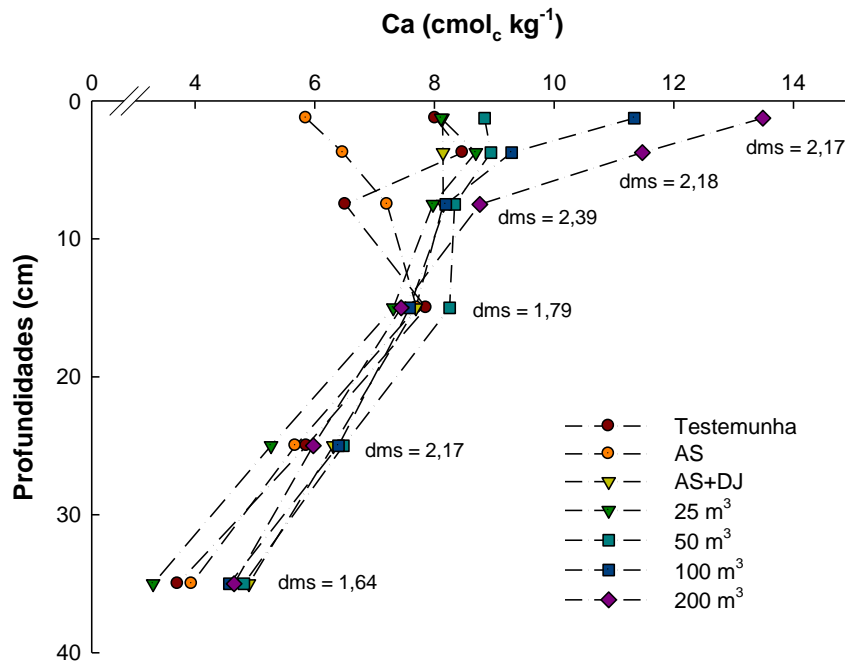


Figura 8. Teores de Ca^{+2} trocável em Latossolo Vermelho submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados ao adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

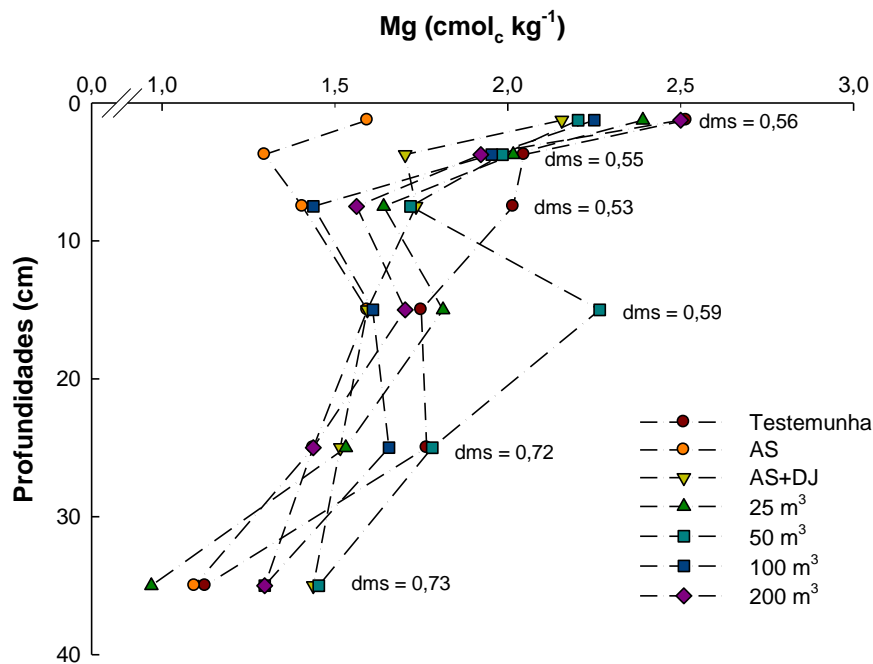


Figura 9. Teores de Mg^{+2} trocável em Latossolo Vermelho submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados ao adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

Em trabalho realizado por Scherer et al. (2007), em um Latossolo Vermelho, em Chapecó, na região oeste de Santa Catarina, com as doses do dejetos suíno de 0, 40, 115 m³ ha⁻¹, também não verificaram efeito deste resíduo nos teores de cálcio e magnésio, concordando com o resultados encontrado no presente estudo.

Observou-se que o maior acúmulo desses cátions ocorreu nas camadas superficiais do solo, podendo isto ser atribuído ao provável aumento na capacidade de troca de cátions do solo sob altas doses do dejetos, possibilitando que maiores teores desses elementos pudessem ficar retidos nestas camadas do solo e diminuindo em profundidade (Anexo 3). Verificou-se que, embora também houve diminuição dos teores de magnésio nas camadas mais inferiores, ela foi menor em relação ao cálcio, indicando uma maior mobilidade por lixiviação daquele elemento em relação a este. Essa maior mobilidade do magnésio no perfil do solo foi também observada por Ernani (2008) que explicou o resultado pelo fato desse íon possuir maior diâmetro hidratado em relação ao cálcio, ficando menos retido no complexo de troca do solo.

Por sua vez, Ceretta et al. (2003) encontraram aumento de 49 e 40% nos teores de cálcio nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm, respectivamente, com a dose de 40 m³ ha⁻¹ de dejetos após 28 aplicações de dejetos suíno, durante quatro anos, em pastagem natural. Segundo esses autores, os percentuais de acréscimo no teor de cálcio no solo são relativamente pequenos e podem ser explicados pela baixa concentração de cálcio no dejetos, pela possibilidade de formação de compostos minerais com fosfatos ou segundo Mendonça & Rowell (1994), citado por Ceretta et al (2003), pela maior adsorção de cálcio na matéria orgânica, forma que não é extraída pelo extrator KCl 1 mol L⁻¹. Já em relação ao magnésio, os autores encontraram incremento nos teor do nutriente até profundidade maior, chegando a 20 cm, na dose maior (40 m³ ha⁻¹) de dejetos.

O efeito das doses de esterco nos teores de fósforo do solo resultou em um gradiente a partir da superfície, sendo que as seis camadas analisadas apresentaram diferenças significativas no teor extraível deste nutriente, destacando-se o acentuado acúmulo provocado pelas doses 100 e 200 m³ ha⁻¹ nas duas camadas mais superficiais do solo. Destaca-se que apenas nos tratamentos 100 e 200 m³ ha⁻¹, houve diferença significativa em relação à testemunha (anexo D).

Os resultados evidenciaram que as doses altas do dejetos aumentaram substancialmente a disponibilidade de fósforo no solo, o que ocorreu de forma mais evidente nas camadas mais superficiais, até 5 cm de profundidade, onde se teve o maior incremento de fósforo (Figura 10). Isso se deve muito às quantidades aplicadas nos nove anos do estudo, que superou em

várias vezes a quantidade removida pelos cultivos. O sistema de cultivo em plantio direto também favorece a acumulação de fósforo nas camadas mais superficiais do solo, conforme também observado por Berwanger (2006), pois o dejetos suíno é distribuído superficialmente sem incorporação e o fósforo tem baixa mobilidade, especialmente em solos com alto poder tampão neste nutriente (NOVAIS & SMYTH, 1999).

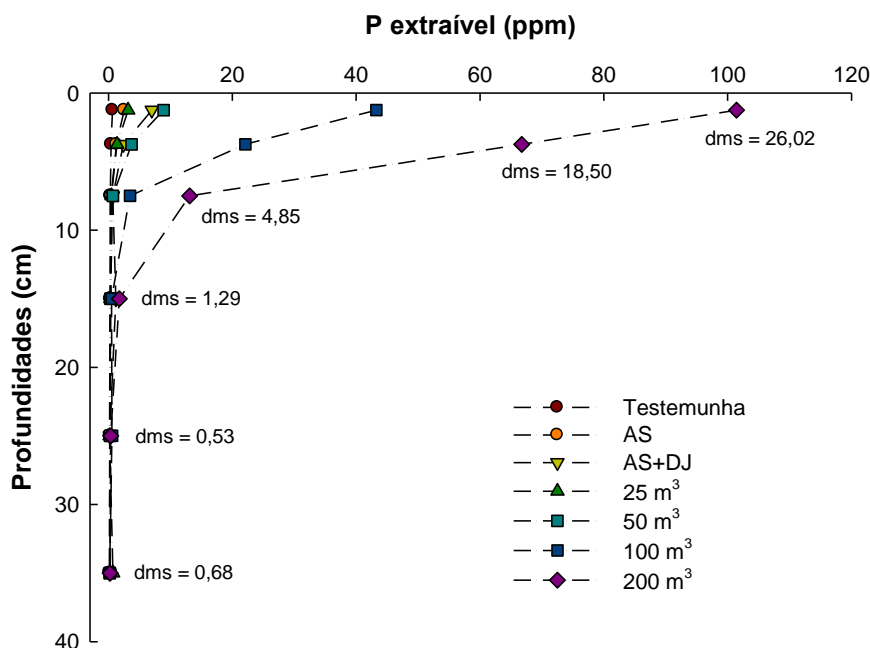


Figura 10. Teores de P extraível em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

Em trabalho realizado por Girotto et al. (2006), com 14 aplicações superficiais de dejetos suíno em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico, com doses de 0, 20, 40, e 80 m³ ha⁻¹, constatou-se que a dose de 80 m³ ha⁻¹ aumentou a concentração de fósforo extraível em todas as camadas de solo até 60 cm de profundidade. Naquele estudo, na camada superficial, o incremento também foi mais pronunciado, chegando a 31 vezes o teor de fósforo disponível. Os autores também atribuíram este resultado à quantidade excedentes dos nutrientes e ao sistema de cultivo com aplicação de dejetos superficial e sem revolvimento do solo.

Os dejetos suínos possuem eficiência como fonte de fósforo diferente dos adubos minerais, o que varia conforme a origem do dejetos suíno, e com as proporções das diferentes frações químicas do fósforo total contido (CASSOL et al., 2001). Na adubação orgânica, a

eficiência deve ser considerada para assegurar o fornecimento da quantidade indicada para os cultivos, sendo que nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utiliza-se um índice de eficiência de 90% para o primeiro cultivo imediatamente após aplicação e de 10% para o segundo cultivo (CQFS-RS/SC, 2004).

Trabalho realizado por Scherer et al. (2007), em Latossolo Vermelho distroférrico de dois locais, situados nos municípios de Guatambú e Chapecó, no oeste de Santa Catarina, com doses de 0, 40, 115 m³ ha⁻¹ de esterco suíno, sem incorporação no sistema de plantio direto, também demonstrou a aumento no teor de fósforo nas camadas mais superficiais e formação de gradiente no teor de fósforo extraível a partir da superfície do solo. Em Guatambu, o aumento ocorreu nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e sua magnitude foi influenciada pela dose aplicada. Porém, em Chapecó, as diferenças não foram significativas, e isto possivelmente ocorreu pelo fato de o solo já apresentava altos teores do nutriente e porque a remoção pelo milho foi maior do que a quantidade do nutriente adicionada pelo esterco.

A mistura do resíduo orgânico com o adubo solúvel pode reduzir o contato direto do fósforo com as partículas do solo e retardar a adsorção dos íons fosfatados pelos colóides do solo (SCHERER, 1996; BERWANGER, 2006). Oliveira (1994) também conclui que o uso sistemático de fertilizantes fosfatados associado ao emprego de chorume proporcionou acréscimo no teor de fósforo extraível do solo.

O teor de potássio extraível no solo em geral aumentou nos tratamentos com fertilização em relação à testemunha (figura 11). Além disso, houve incremento em todas as camadas analisadas com a aplicação de doses superiores a 50 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno, sendo que o acréscimo mais expressivo ocorreu com a dose de 200 m³ ha⁻¹. Estes resultados indicam que houve transferência de potássio, bem como possíveis perdas por lixiviação.

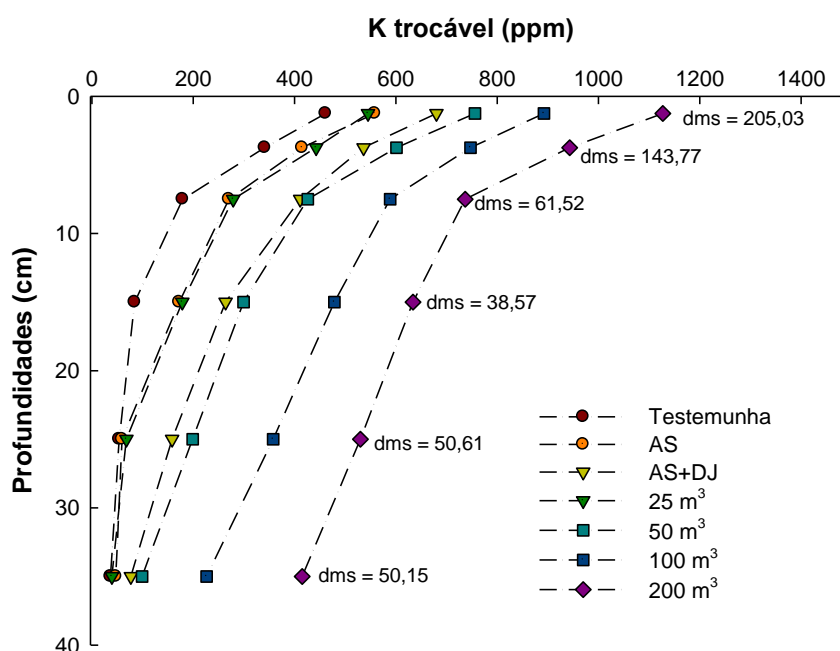


Figura 11. Teores de K^+ trocável em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados ao adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema de plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O valor de dms se refere à diferença mínima significativa entre os tratamentos dentro de cada profundidade pelo teste de Tukey a 5 %.

Trabalho realizado por Ceretta et al. (2003) em um Alissolo Crômico Órtico típico, onde as doses foram 0, 20 e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, de dejetos suínos, durante quatro anos, em pastagem natural, sendo feitas 28 aplicações ao longo do tempo, o teor de potássio disponível no solo diminuiu com a aplicação do esterco até a profundidade de 10-20 cm. Até a camada de 5-10 cm, a diminuição do teor de potássio no solo variou de 47% a 56% com a aplicação de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e de 33% a 44%, com o uso de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, demonstrando que a quantidade de potássio exportada na matéria seca da pastagem natural foi mais relevante quando se aplicou a menor dose de esterco, podendo, em parte, ser justificado pela maior absorção relativa de potássio na menor dose do esterco.

Também deve ser considerado que podem ocorrer perdas expressivas de potássio por escoamento superficial na enxurrada, pois a quase totalidade do potássio presente no dejetos suínos está na forma solúvel, ficando altamente suscetível à dissolução e transporte nas águas de escoamento superficial, especialmente quando as aplicações do dejetos são feitas na superfície do solo, como no caso do sistema de semeadura direta.

4.5 CONCLUSÕES

A aplicação sucessiva e anualmente repetida de elevadas doses de dejetos suíno, de 100 e 200 m³ ha⁻¹, na superfície de Latossolo Vermelho Distroférico argiloso, cultivado com a sucessão aveia-milho, em sistema de plantio direto, eleva os teores de fósforo e potássio extraíveis nas camadas de 0 até 2,5 e de 0 até 40 cm de profundidade do solo, respectivamente, e eleva os teores de cálcio e de magnésio até 5 cm de profundidade.

As doses de dejetos suíno não alteraram o pH e o alumínio trocável do solo.

O tratamento com fontes solúveis promoveu diminuição no pH e no teor de cálcio e magnésio nas camadas até 5 cm de profundidade do solo em relação aos tratamentos que receberam a aplicação de dejetos suíno.

5 CAPÍTULO III: FORMAS DE ACUMULAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DO FÓSFORO NO SOLO APÓS NOVE APLICAÇÕES ANUAIS DE DEJETO SUÍNO EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

5.1 RESUMO

A suinocultura é uma atividade geradora de dejetos com potencial poluente ao solo, ar e água. O descarte seguro desse resíduo no solo, de forma a causar o mínimo impacto sobre o ambiente e possibilitar o seu aproveitamento na reciclagem dos nutrientes requer cuidados especiais e conhecimento. No entanto, ainda se necessita conhecer melhor a dinâmica do fósforo no solo e sua transferência do sistema solo para o meio aquático, especialmente em áreas onde o dejetos suíno é aplicado há longo prazo. O objetivo deste trabalho foi quantificar o fósforo nas diversas formas de acumulação em seis camadas até 40 cm de profundidade a partir da superfície de um Latossolo submetido a nove aplicações anuais sucessivas de dejetos suíno em sistema de plantio direto. O experimento foi conduzido a campo em Campos Novos, SC, a partir de outubro de 2001, aplicando-se anualmente na superfície do solo os seguintes tratamentos: dejetos suíno (DJ), nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos combinados com adubo solúvel (DJ+AS). O solo foi amostrado nas camadas: 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm e submetido ao fracionamento químico de fósforo de Hedley. O DJ aplicado no solo no período de nove anos em geral aumentou o teor de fósforo em todas as camadas, principalmente nas frações inorgânicas extraídas por resina trocadora de ânions, NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ e NaOH 0,1 mol L⁻¹. O aumento no teor de fósforo em profundidades até 40 cm de solo pode representar um risco de contaminação das águas percoladas pelo alto teor biodisponível deste elemento.

Palavras-chave: Fracionamento químico. Esterco. Resíduos de animais. Reciclagem de nutrientes.

5.2 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade pecuária geradora de dejetos com elevada carga poluente ao solo, ar e água. Nos últimos anos muita atenção passou a ser dada às necessidades de desenvolvimento tecnológico, com vista ao acondicionamento dos resíduos gerados por animais, de forma a causar o mínimo impacto sobre o ambiente, obtendo um aproveitamento na reciclagem destes resíduos. O descarte do dejetos suíno no solo passa a ser visto como uma possibilidade de reaproveitar parte da energia empregada pelos vários segmentos da atividade antrópica e, desta forma, transformá-lo em nutrientes através da capacidade cicladora do solo. No entanto, ainda se necessita de pesquisas para avaliar a dinâmica de fósforo no solo relacionada com seu potencial contaminante ao ambiente e sobre a transferência de fósforo do sistema solo para o meio aquático em condições onde o dejetos suíno é aplicado sistematicamente e por longo prazo.

A fertilidade do solo está estreitamente relacionada com a produtividade das plantas, se mantidos os demais fatores de produção em níveis não limitantes. Para o fósforo, este comportamento não é exceção. Este nutriente é, talvez, o mais investigado na literatura, em função de sua importância para os seres vivos, da frequência com que limita a produção das culturas, sobretudo nas regiões tropicais e pelo fato de ser um insumo mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006). O fósforo é imprescindível ao crescimento e à reprodução das plantas, as quais não alcançam seu máximo potencial produtivo sem um adequado suprimento deste nutriente (MARSCHNER, 1995) com principal função de armazenamento e transporte de energia na forma de ATP (MALAVOLTA, 2006).

O fósforo presente no solo pode ser desmembrado em duas formas, orgânico e inorgânico, dependendo da natureza do composto a que está ligado. As proporções das duas formas podem variar com o grau de intemperismo do solo, dentre outros. De acordo com Berwanger (2006), o grupo do fósforo inorgânico pode ser separado em três partes, o fósforo dos minerais primários ou estruturais e o fósforo adsorvido, e também o fósforo da solução do solo que é encontrado em pequenas quantidades. O outro grupo é o fósforo orgânico, que é originário dos resíduos vegetais e animais aplicados no solo, do tecido microbiano e dos seus resíduos de decomposição (GATIBONI, 2003).

As formas de fósforo mencionadas acima interagem com a matriz do solo. Sendo assim, o solo pode ser considerado como fonte ou dreno de fósforo, dependendo das características relacionadas ao grau de intemperismo. O solo serve como fonte de fósforo às

plantas quando ainda possui reservas naturais ou pela adição de fertilizantes, enquanto que quando apresenta um grau de intemperismo avançado ou baixas reservas naturais atua como dreno (NOVAIS E SMITH, 1999).

Estudos sobre frações e acúmulo de fósforo em solos tem sido realizados no Brasil com uso da técnica de fracionamento químico proposta por Hedley et al. (1982) que se baseia na extração sequencial de formas lábeis, pouco lábeis e não lábeis, por meio da qual formas inorgânicas e orgânicas são separadas conforme sua disponibilidade às plantas. Essa metodologia usa essencialmente, extratores químicos com diferentes forças de extração, os quais removem o fósforo das formas mais fracamente retidas até as mais estáveis.

O fracionamento inicia com extração por resina trocadora de ânions (RTA) que extrai formas lábeis de fósforo inorgânico (P_{iRTA}), e é seguida da extração com NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ que também extrai frações lábeis de fósforo inorgânico (P_{ibic}) e orgânico (P_{obic}). Segundo Gatiboni et al. (2007), o fósforo extraído por esses extratores pertence a frações que contribuem ativamente para o fornecimento do nutriente às plantas ou para sua transferência no ambiente, pelas águas de escoamento superficial ou de percolação.

Na sequência, a amostra é submetida às extrações por NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid} e P_{ohid}), HCl 1 mol L^{-1} (P_{HCl}) e NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (P_{hid05} e P_{ohid05}). As frações extraídas pelo NaOH representam, em geral, formas de fósforo orgânico e o inorgânico ligado aos óxidos e às argilas silicatadas, com energia de ligação intermediária (CROSS & SCHLESINGER, 1995). Já, o HCl extrai formas de fósforo inorgânico, contido em fosfatos de cálcio ou fortemente adsorvido aos colóides. A digestão do solo com H_2SO_4 e H_2O_2 finaliza o processo com extração do fósforo residual ($P_{residual}$) do solo, caracterizado por frações recalcitrantes de fósforo, que não contribuem para a nutrição das plantas a não ser em situações de extrema deficiência no solo (GATIBONI et al., 2005).

As frações de fósforo determinadas no fracionamento de Hedley são agrupadas em fósforo geoquímico e biológico, segundo proposto por Cross & Schlesinger (1995), sendo o primeiro obtido pela soma das frações inorgânicas e fósforo residual ($P_{iRTA} + P_{ibic} + P_{hid} + P_{hid05} + P_{HCl} + P_{residual}$) e o segundo pela soma das formas orgânicas ($P_{obic} + P_{ohid} + P_{ohid05}$).

A vantagem desta metodologia é a obtenção de informações sobre a disponibilidade de fósforo a curto e longo prazos, por meio da avaliação dos diferentes compartimentos com distintos graus de disponibilidade para as plantas (SILVA et al., 2003), podendo também ser empregado para acompanhar modificações nas formas de fósforo, em decorrência de processos no solo (ARAÚJO & SALCEDO, 1997).

Em estudos que utilizam o método de Hedley et al. (1982) nos solos tropicais, as maiores proporções de fósforo têm sido encontradas nas extrações com NaOH, provavelmente devido à capacidade deste composto de extrair o elemento de formas adsorvidas aos óxidos de ferro e alumínio, caulinita e presentes na matéria orgânica (ARAÚJO & SALCEDO, 1997; RHEINHEIMER & ANGHINONI, 2001; CONTE et al., 2003). Este compartimento é considerado como pouco lábil para a planta (HEDLEY et al., 1982). No entanto, alguns autores (RHEINHEIMER et al., 2000) observaram que essas formas de fósforo são dinâmicas e participam no aporte do nutriente às culturas.

O objetivo do trabalho foi o de quantificar as formas orgânicas e inorgânicas de fósforo em um Latossolo Vermelho distroférico argiloso submetido a sucessivas aplicações anuais de dejetos de suíno, adubação com fertilizantes solúveis e com estes combinados ao dejetos, em sistema de plantio direto

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em experimento a campo em Campos Novos/SC, localizado nas coordenadas 27°23'33" S e 51°21'48" W, com altitude de 908 m. O local apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen, com chuvas bem distribuídas durante o ano. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.480 mm e 16 °C, respectivamente (SANTA CATARINA, 2011). O solo é um Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 2006) e anteriormente era utilizado com lavoura, tendo recebido correção prévia da acidez e adubações a cada cultivo.

O experimento foi implantado em novembro de 2001 e constituiu-se da aplicação anual em superfície de doses crescentes de dejetos de suíno (DJ), adubo solúvel e adubo solúvel combinado com dejetos de suíno, em sistema de plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. As parcelas experimentais mediram 75,6 m² (12 m x 6,3 m) de área total e 50 m² (10,2 m x 4,9 m) de área útil. Os tratamentos foram: dejetos de suíno (DJ), nas doses 0, 25, 50, 100 e 200, m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS), em dose equivalente a 130, 100 e 70, kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente, e dejetos combinados com adubo solúvel (DJ+AS) em doses conjuntas de 25 m³ ha⁻¹ de dejetos mais 75, 16 e 15 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente. Os dois últimos

tratamentos foram definidos com base em recomendações da CQFS-RS/SC (2004). No tratamento AS, o N foi aplicado em parcelas de 20% na base e o restante em uma cobertura, realizada no estádio V5. No tratamento DJ+AS, o N da fonte solúvel foi totalmente aplicado em uma cobertura na mesma época acima.

Os fertilizantes solúveis empregados como fontes de N, P e K foram uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. O dejetos suíno foi gerado por animais em terminação e permaneceu na esterqueira por cerca de 60 dias antes das aplicações, tendo apresentado teores médios de matéria seca, N, P_2O_5 e K_2O totais estimados em 57 kg m^{-3} ; $3,40 \text{ kg m}^{-3}$; $1,42 \text{ kg m}^{-3}$ e $1,55 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente.

Em julho de 2010 foram coletadas amostras de solo para determinação das formas de fósforo nas seis camadas a seguir: 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. As amostras foram compostas de 7 subamostras coletadas em pontos aleatórios da linha diagonal das parcelas, utilizando-se trado fatiador para a coleta nas três primeiras profundidades e trado holandês para as demais. As amostras de solo foram secas em estufa a 65° C com circulação de ar e moídas para diâmetro de partículas inferior a 2,0 mm.

As amostras foram submetidas ao fracionamento químico de fósforo mediante extrações sucessivas, seguindo metodologia proposta por Hedley et al. (1982), com as modificações propostas por Condrón et al. (1985) e Gatiboni (2003). Essa metodologia usa essencialmente, extratores com diferentes forças de extração, os quais removem P_i (fósforo inorgânico) e P_o (fósforo orgânico) das formas mais fracamente retidas até as mais estáveis.

No fracionamento químico, amostras de 0,50g de solo seco foram submetidas à extração sequencial na seguinte ordem: resina trocadora de ânions em lâminas (fração P_{iRTA}); NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (frações $P_{i\text{bic}}$ e $P_{o\text{bic}}$); NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ (frações $P_{i\text{hid}}$ e $P_{o\text{hid}}$); HCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ (fração $P_{i\text{HCl}}$); e, NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ (frações $P_{i\text{hid}05}$ e $P_{o\text{hid}05}$). Após estas extrações, o solo restante foi seco em estufa e submetido à digestão com $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{MgCl}_2$ (fração P_{residual}), conforme descrito por Gatiboni (2003). O fósforo inorgânico (P_i) dos extratos alcalinos de NaHCO_3 e NaOH foi determinado pelo método proposto por Dick & Tabatabai (1977), enquanto, o fósforo total foi determinado por digestão com persulfato de amônio + ácido sulfúrico, em autoclave (USEPA, 1971), sendo o fósforo orgânico (P_o) obtido pela diferença entre fósforo total e o fósforo inorgânico (P_i). O fósforo dos extratos ácidos foi determinado segundo Murphy & Riley (1962). As formas de fósforo determinadas no fracionamento foram reunidas em fósforo geoquímico e biológico, segundo proposto por Cross & Schlesinger (1995), sendo o primeiro obtido pela soma das frações inorgânicas e

fósforo residual ($P_{iRTA} + P_{iBic} + P_{iHid} + P_{iHid05} + P_{iHCL} + P_{residual}$) e o segundo pela soma das formas orgânicas ($P_{O_{bic}} + P_{O_{hid}} + P_{O_{hid05}}$).

As metodologias utilizadas para realização do fracionamento químico e o procedimento laboratorial encontram-se descritas e esquematizadas nos apêndices 1 a 7.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando os efeitos foram significativos, comparou-se as médias pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$) e a resposta às doses de dejetos foi analisada com ajuste de equações de regressão linear ou quadrática. A testemunha foi considerada como dose zero. Foram utilizados os modelos PROC REG e PROC GLM do programa estatístico SAS 9.1.3 (2007) para as regressões e comparação de médias, respectivamente.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, observou-se a ocorrência de um gradiente de concentração de fósforo a partir da superfície do solo, evidenciando-se um decréscimo nas frações P_{iRTA} , P_{iBic} e $P_{O_{bic}}$ com o aumento da profundidade do solo, independente do tipo de adubo ou da dose de dejetos suíno aplicada (Tabela 5). Este decréscimo pode ser atribuído à deposição dos fertilizantes e à ciclagem de fósforo dos restos culturais na camada superficial do solo, derivado da absorção pelas plantas cultivadas ao longo do tempo. Os teores de fósforo nas frações P_{iRTA} e P_{iBic} aumentaram com o aumento na dose de dejetos suíno, especialmente nas camadas mais superficiais, mas se estendendo até a camada de 10-20 cm. É interessante observar que, nestas frações, de um modo geral, o coeficiente angular das regressões foi maior nas camadas superficiais e decresceu na medida em que a profundidade aumentou (Tabela 6). Isto indica maior efeito das doses de dejetos suíno nas camadas superficiais, o que era esperado em razão da aplicação superficial do dejetos, da baixa mobilidade do fósforo no solo e do não revolvimento do solo.

O teor de fósforo na fração $P_{O_{bic}}$ aumentou com as sucessivas aplicações de dejetos suíno. Porém houve um aumento pouco significativo, que pode ter ocorrido porque essa fração é constituída de fósforo presente em compostos orgânicos de fácil decomposição, os quais são facilmente assimilados e tem sua concentração regulada pela biomassa microbiana do solo. Isto faz com que não ocorra acúmulo expressivo nessa forma de fósforo, uma vez que

pode ser rapidamente assimilada ou mineralizada (CHEN et al., 2002; GATIBONI et al., 2007; GATIBONI et al., 2008).

Tabela 5. Teores de fósforo extraídos pelos extratores de resina trocadora de ânions e NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associado a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

Camada (cm)	Tratamentos						
	0	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
Fósforo inorgânico extraído pela RTA [Pi_{RTA} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	38,9 Ea	117,3 Da	151,0 Da	123,9 Da	225,0 Ca	311,7 Ba	657,1 Aa
2,5 – 5	25,9 Eb	75,7 DEb	95,5 Db	70,9 EDb	150,0 Cb	347,1 Ba	525,0 Ab
5 – 10	9,9 Ccd	19,1 Cc	27,1 Cc	18,8 Ccd	27,8 Cc	85,2 Bb	172,1 Ac
10 – 20	11,1 Cc	13,0 Cc	26,7 Cc	20,4 Cc	24,8 Cc	58,8 Bbc	82,1 Ad
20 – 30	2,4 Cde	3,4 Cc	10,0 BCc	2,8 Ccd	12,6 Bc	16,1 Bcd	31,7 Ade
30 – 40	1,1 Ce	1,3 Cc	2,0 BCc	0,9 Cd	2,1 BCc	3,4 Bd	5,5 Ae
CV (%)	24,4	24,7	21,1	21,0	20,9	13,8	11,2
R ²	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
Fósforo inorgânico extraído por NaHCO_3 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ [Pi_{bic} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	10,9 Ea	22,7 DEa	32,2 CDa	21,9 DEa	42,7 Ca	72,4 Ba	130,8 Aa
2,5 – 5	8,4 Ca	11,9 Cb	14,6 Cb	7,7 Cb	23,8 Cb	57,2 Ba	104,1 Ab
5 – 10	3,5 Cb	9,3 Cbc	10,2 Cbc	7,0 Cb	12,6 Cc	27,2 Bb	54,6 Ac
10 – 20	1,2 Ebc	5,4 CDcd	6,9 CDcd	4,7 DEb	8,9 Cc	15,9 Bbc	25,0 Ad
20 – 30	0,5 Cc	3,1 ABde	4,6 Ade	1,3 BCc	3,3 Ad	4,1 Ac	4,9 Ae
30 – 40	0,0 Dc	0,6 CDe	0,4 CDe	0,2 Dc	0,9 BCd	1,2 ABc	1,7 Ae
CV (%)	27,3	23,6	20,6	18,4	15,1	23,3	13,8
R ²	0,96	0,95	0,97	0,98	0,98	0,96	0,99
Fósforo orgânico extraído por NaHCO_3 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ [Po_{bic} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	58,0 Ba	63,1 ABa	65,3 ABa	59,9 ABa	50,0 ABa	66,7 ABa	79,3 Aa
2,5 – 5	56,5 Aa	61,9 Aab	59,1 Aa	54,1 Aab	62,8 Aa	62,4 Aa	71,9 Aab
5 – 10	51,2 ABa	54,1 ABab	50,26 ABab	42,8 Bbc	49,5 ABab	61,1 ABa	66,8 Aab
10 – 20	49,7 Aa	52,4 Ab	46,5 Aab	39,9 Ac	45,6 Aab	52,8 Aab	59,2 Abc
20 – 30	20,7 CDb	37,5 ABCc	26,5 BCDB	16,0 Dd	34,5 ABCbc	41,2 ABbc	46,4 Acd
30 – 40	12,5 Db	22,0 BCd	19,6 BCDB	14,1 CDd	24,6 Abc	24,9 ABc	33,9 Ad
CV (%)	21,4	9,3	30,7	15,8	17,2	15,4	14,2
R ²	0,87	0,94	0,71	0,93	0,83	0,86	0,84

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 6. Teores de fósforo extraídos pelos extratores de resina trocadora de ânions e NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados ao adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

Profundidade cm	Dose de dejetos, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$					Regressão	R^2
	0	25	50	100	200		
Fósforo inorgânico extraído pela RTA [Pi_{RTA} (mg kg^{-1})]							
0-2,5	39	124	225	312	657	$y = 62,36 + 2,7x$	0,98*
2,5-5	26	71	150	347	545	$y = 17,74 + 3,7x - 0,005x^2$	0,97*
5-10	10	19	28	85	172	$y = 17,41 + 0,85x$	0,88*
10-20	11	20	25	59	82	$y = 13,09 + 0,37x$	0,91*
20-30	2	3	13	16	32	$y = 3,60 + 0,149x$	0,86*
30-40	1	1	2	3	6	$y = -0,061 + 0,024x$	0,77*
Fósforo inorgânico extraído por NaHCO_3 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ [Pi_{bic} (mg kg^{-1})]							
0-2,5	11	22	43	72	131	$y = 7,45 + 0,61x$	0,98*
2,5-5	8	8	24	57	104	$y = 0,60 + 0,51x$	0,95*
5-10	4	7	13	27	55	$y = 3,14 + 0,26x$	0,94*
10-20	1	5	9	16	25	$y = 0,91 + 0,17x - 0,0003x^2$	0,97*
20-30	0	1	3	4	5	$y = 0,056 + 0,056x - 0,0002x^2$	0,81*
30-40	0	0	1	1	2	$y = -0,19 + 0,018x - 0,00005x^2$	0,85*
Fósforo orgânico extraído por NaHCO_3 a $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ [Po_{bic} (mg kg^{-1})]							
0-2,5	58	60	60	67	79	$y = 54,76 + 0,11x$	0,58*
2,5-5	57	54	63	62	72	$y = 55,48 + 0,081x$	0,44*
5-10	51	43	50	61	67	$y = 46,3 + 0,11x$	0,46*
10-20	50	40	46	53	59	ns	-
20-30	21	16	35	41	46	$y = 20,96 + 0,14x$	0,61*
30-40	12	14	25	25	34	$y = 9,02 + 0,1x$	0,76*

* e ns = significativo a 5 % e não significativo, respectivamente.

Com relação ao fósforo extraído por hidróxido, observou-se que a fração de Pi_{hid} foi a mais representativa no acúmulo de fósforo procedente da aplicação das doses de dejetos suíno, enquanto que nas frações Po_{hid} , $\text{Pi}_{\text{hid}05}$ e $\text{Po}_{\text{hid}05}$ ocorreram modificações menos expressivas (Tabela 7). Observou-se ainda, nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm, que o fósforo recuperado naquelas frações aumentou de forma quadrática com o aumento da dose de dejetos suíno adicionada. Isso pode indicar que as partículas inorgânicas desse solo, em que predominam argilominerais altamente intemperizados, como óxidos e caulinita (EMBRAPA, 2006), podem ter se tornado parcialmente saturados ou, até mesmo, saturados com fósforo e com isto deixou de adsorver parte do fosfato adicionado, principalmente na dose de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Corroborando para esta possibilidade o fato de os solos que apresentam alta proporção de óxido de ferro, apresentarem maiores quantidades de fósforo mediamente lábil recuperadas na fração $\text{Pi}_{\text{hid}05}$, em razão do alto poder sortivo deste óxido (GATIBONI, 2003; GATIBONI et al., 2008).

Tabela 7. Teores de fósforo extraídos pelos extratores NaOH 0,1 mol L⁻¹ e NaOH 0,5 mol L⁻¹ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

	Tratamentos						
	0	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
Fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹ [Pi_{hid} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	193,5 Fa	407,9 DEa	508,7 CDa	350,5 Ea	624,2 Ca	822,0 Ba	1.175,2 Aa
2,5 – 5	176,4 Eab	284,1 DEb	363,6 CDb	286,3 DEa	458,2 Ca	692,5 Bb	940,3 Ab
5 – 10	136,5 Db	182,7 CDc	211,2 CDc	171,2 Db	264,4 BCc	368,5 Bc	579,6 Ac
10 – 20	76,0 BCc	84,8 BCd	102,2 ABCd	61,6 Cc	80,7 BCd	148,3 ABd	175,5 Ad
20 – 30	16,8 Cd	46,1 Bd	52,7 Bd	17,3 Cc	44,4 Bd	54,3 Be	79,2 Ad
30 – 40	9,7 Cd	34,4 Bd	43,1 ABd	13,5 Cc	44,0 ABd	48,6 ABe	59,2 Ad
CV (%)	21,0	14,5	18,0	20,2	10,9	9,5	13,0
R²	0,95	0,98	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99
Fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹ [Po_{hid} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	141,2 Ca	299,3 Ba	319,4 Ba	155,9 Ca	321,6 Ba	398,4 Ba	577,8 Aa
2,5 – 5	130,1 Aa	160,7 Ab	178,2 Ab	134,7 Aab	205,6 Ab	296,6 Aab	366,5 Aab
5 – 10	104,6 Cab	154,6 BCb	176,3 BCb	113,9 Cabc	161,5 BCbc	238,5 ABbc	280,1 Aab
10 – 20	70,0 Cbc	138,6 BCb	143,7 BCb	103,0 Cbc	134,1 BCbc	188,2 ABc	236,3 Ab
20 – 30	56,3 Cbc	102,9 BCb	116,4 BCb	75,4 BCcd	112,7 BCbc	138,7 ABcd	186,4 Ab
30 – 40	32,5 Cc	81,9 ABb	81,1 ABb	47,63 BCd	81,0 Abc	82,1 ABd	88,0 Ab
CV (%)	27,5	22,0	25,3	20,2	27,8	19,8	46,3
R²	0,81	0,87	0,84	0,85	0,82	0,90	0,70
Fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹ [Pi_{hid05} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	172,42 Ea	249,4 Da	276,2 CDa	235,4 DEa	328,0 Ca	415,1 Ba	518,6 Aa
2,5 – 5	154,3 Ea	232,9 Da	248,9 CDa	224,5 Da	294,1 Cb	368,3 Ba	495,2 Aa
5 – 10	146,6 Ca	171,1 Cb	180,9 Cb	150,4 Cb	190,7 BCc	247,0 Bb	340,9 Ab
10 – 20	87,5 Db	110,3 CDc	107,3 CDc	99,0 CDc	134,2 BCd	159,8 ABc	179,8 Ac
20 – 30	70,7 Ab	82,7 Acd	82,1 Ac	72,7 Acd	89,6 Ae	96,6 Acd	107,6 Ad
30 – 40	65,5 Ab	70,2 Ad	75,7 Ac	67,0 Ad	75,1 Ae	77,1 Ad	91,0 Ad
CV (%)	11,2	7,9	13,0	9,22	7,8	14,8	10,1
R²	0,95	0,98	0,96	0,98	0,99	0,95	0,98
Fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹ [Po_{hid05} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	181,6 Da	394,6 BCa	374,3 Ca	296,2 CDa	411,3 BCa	492,6 Ba	619,6 Aa
2,5 – 5	154,7 Da	307,3 Cb	318,3 Cb	291,8 Ca	379,4 BCa	457,5 ABa	545,9 Aa
5 – 10	54,7 Cb	75,7 Cc	80,4 BCc	62,6 Cb	86,3 BCb	150,0 ABb	200,8 Ab
10 – 20	27,0 Bb	47,6 Bc	50,3 Bcd	39,3 Bb	70,4 Bbc	102,7 Bbc	189,0 Abc
20 – 30	20,4 Cb	42,1 BCc	40,9 BCd	25,3 BCb	43,5 BCbc	52,3 Bcd	105,1 Abc
30 – 40	13,5 CDb	29,2 ABc	22,6 BCDd	11,7 Db	21,4 BCDc	26,4 BCd	40,1 Ac
CV (%)	30,5	23,1	10,2	28,0	16,0	14,4	23,8
R²	0,93	0,97	0,99	0,95	0,98	0,98	0,94

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 8. Teores de fósforo extraídos pelos extratores NaOH 0,1mol L⁻¹ e NaOH 0,5mol L⁻¹ em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

Profundidade Cm	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹					Regressão	R ²
	0	25	50	100	200		
Fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹ [Pi_{hid} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	193	351	624	822	1175	y = 210,08 + 8,29x - 0,017x ²	0,97*
2,5-5	176	286	458	693	940	y = 195,39 + 6,56x - 0,013x ²	0,95*
5-10	136	171	164	368	580	y = 167,93 + 2,25x	0,92*
10-20	76	62	81	148	175	y = 69,84 + 0,59x	0,61*
20-30	17	17	44	54	79	y = 18,61 + 0,32x	0,87*
30-40	10	14	44	49	59	y = 3,38 + 1,67x - 0,002x ²	0,82*
Fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹ [Po_{hid} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	141	156	322	398	578	y = 151,15 + 2,23x	0,88*
2,5-5	130	135	206	297	367	y = 233,88 + 1,26x	0,42*
5-10	105	114	161	238	280	y = 91,58 + 0,94x	0,71*
10-20	70	103	134	188	236	y = 94,96 + 0,82x	0,74*
20-30	56	75	113	139	186	y = 76,16 + 0,63x	0,79*
30-40	33	48	81	82	88	y = 29,14 + 1,81x - 0,003x ²	0,64*
Fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹ [Pi_{hid0,5} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	172	235	328	415	519	y = 142,80 + 3,27x - 0,008x ²	0,94*
2,5-5	154	224	294	368	495	y = 141,75 + 2,70x - 0,005x ²	0,96*
5-10	147	150	191	247	341	y = 137,62 + 1,02x	0,90*
10-20	88	99	134	160	180	y = 88,39 + 1,04x - 0,003x ²	0,83*
20-30	71	73	90	97	108	ns	-
30-40	66	67	75	77	91	y = 56,49 + 0,13x	0,27*
Fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹ [Po_{hid0,5} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	182	296	411	493	620	y = 263,02 + 4,32x - 0,011x ²	0,93*
2,5-5	155	292	379	457	546	y = 174,94 + 4,29x - 0,012x ²	0,89*
5-10	55	63	86	150	201	y = 44,99 + 0,78x	0,77*
10-20	27	39	70	103	189	y = -3,75 + 0,82x	0,78*
20-30	20	25	43	52	105	y = 16,51 + 0,42x	0,87*
30-40	14	12	21	26	40	y = 13,21 + 0,14x	0,77*

* e ns = significativo a 5 % e não significativo, respectivamente.

Os teores de fósforo recuperados nas frações orgânicas medianamente lábeis (Po_{hid} e Po_{hid05}) mostram que também ocorreu maior acumulação de fósforo em formas orgânicas, nas camadas mais superficiais do solo, até 5 cm de profundidade. Provavelmente, isto se relaciona ao maior teor de matéria orgânica presente nestas camadas superficiais (GATIBONI et al., 2008), especialmente quando o dejetos suíno é aplicado superficialmente e em altas doses (CASSOL et al., 2009; MAFRA et al., 2011). Diferentemente do observado na fração de fósforo orgânico mais lábil (Po_{bic}), a aplicação de dejetos aumentou de forma linear o fósforo orgânico nas frações Po_{hid}, nas cinco primeiras camadas do solo, e o Po_{hid05}, aumentou de forma quadrática nas duas primeiras (Tabela 8).

Os teores de fósforo extraídos por HCl 1,0 mol L⁻¹ (P_{HCL}) no solo sem adição de dejetos em geral foram menores em relação ao tratado com doses a partir de 50 m³ ha⁻¹. (Tabela 9). Isso se explica porque o extrator HCl extrai preferencialmente formas de fósforo de fosfatos de cálcio (CROSS & SCHLESSINGER, 1995) e, como possivelmente esse solo não possui abundância de minerais apatíticos, os teores naturais nessa forma são baixos. Por outro lado, com a adição de dejetos houve um aumento nos teores de fósforo extraído por esse extrator, também observado por Gatiboni et al. (2008). Isso pode ser explicado por causa da composição do dejetos, pois de acordo com Cassol et al. (2001), mais de 60% do fósforo contido em esterco são extraídas com HCl 1,0 mol L⁻¹ que compreendem formas inorgânicas ligadas ao cálcio. Observa-se que o aumento dos teores de P_{HCL} nas camadas superficiais também está associado principalmente à aplicação superficial sem incorporação e como estes fosfatos se caracterizam por compostos precipitados de baixa solubilidade, tendem a um acúmulo na camada superficial do solo. Destaca-se que os teores de P_{HCL} de modo semelhante às formas de Pi mais lábeis (P_{IRTA}, P_{ibic} e P_{Obic}), também diminuíram com a profundidade e aumentaram linearmente com a dose de dejetos adicionada.

O fósforo residual (P_{residual}), considerado como forma recalcitrante de fósforo não acessível aos extratores químicos seletivos no solo, não foi afetado pela adição de dejetos suíno (Tabela 10). Isto indica que o fósforo adicionado com dejetos suíno se acumula no solo em formas lábeis ou moderadamente lábeis, o que por um lado mostra a potencialidade de uso como fertilizante, mas por outro mostra a possibilidade de poluir águas subterrâneas com alta biodisponibilidade do elemento. Gatiboni et al. (2008) também observaram que o fósforo veiculado pela adição de até 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suíno apresenta apenas um pequeno acúmulo na fração P_{residual}.

O dejetos adicionado, principalmente nas doses maiores aumentou os teores de fósforo nas frações P_{IRTA}, P_{ibic} e P_{ihid}, e, em menor grau, na fração orgânica P_{ohid}. Na figura 12 é apresentado o somatório dos teores das formas de fósforo obtidos nas seis camadas e nas diferentes doses de dejetos. Esses dados assemelham-se aos obtidos por Hountin et al. (2000), com a aplicação de 30, 60, 90 e 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos de suíno, durante 14 anos, pois esses autores constataram aumento no teor das frações de fósforo lábeis e moderadamente lábeis. Entretanto, Gatiboni et al. (2008) observou maior acúmulo nas frações P_{IRTA}, P_{ibic} e P_{ihid} e, ainda, P_{HCL}, o que pode ser reflexo da composição do dejetos utilizado, que proporcionou maior acúmulo de compostos de fósforo ligados ao cálcio.

Tabela 9. Teores de fósforo extraídos pelos extratores HCl 1,0 mol L⁻¹ e H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

Camada (cm)	Tratamentos						
	0	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
Fósforo inorgânico extraído por HCl a 0,5 mol L⁻¹ [P_{iHCl0,5} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	4,61 Da	12,06 BCDa	11,97 BCDa	8,69 CDa	14,5 BCa	19,08 Ba	30,00 Aa
2,5 – 5	3,25 Db	6,09 CDb	6,66 CDb	2,82 Db	7,62 Cb	11,80 Bb	21,59 Ab
5 – 10	3,08 Cb	4,96 BCbc	5,68 BCbc	2,61 Cb	4,38 BCc	6,96 Bbc	10,57 Ac
10 – 20	1,66 Bc	3,80 Abc	2,43 Bd	1,65 Bbc	2,06 Bd	2,57 BCc	2,94 ABcd
20 – 30	1,02 Cc	2,96 Abc	2,99 Acd	1,16 BCc	2,03 ABCd	2,27 ABc	2,88 Acd
30 – 40	0,47 Cc	1,07 BCc	1,69 ABd	0,71 Cc	1,89 Ad	1,97 Ac	2,37 Ad
CV (%)	24,5	35,98	23,8	17,5	12,4	30,9	29,3
R ²	0,91	0,85	0,93	0,98	0,98	0,92	0,94
Fósforo Residual [P_{tresidual} (mg kg⁻¹)]							
0 – 2,5	626,4 Aa	615,0 Ac	590,6 Ab	613,5 Ab	609,3 Aa	636,5 Aab	635,2 Aa
2,5 – 5	679,5 Aa	587,0 Ac	596,0 Ab	590,8 Ab	883,0 Aa	545,4 Ab	633,6 Aa
5 – 10	810,0 Aa	940,6 Aa	817,4 Aa	837,0 Aa	909,6 Aa	894,3 Aa	806,1 Aa
10 – 20	766,8 Aa	830,2 Aab	782,3 Aa	836,2 Aa	719,2 Aa	828,3 Aab	758,7 Aa
20 – 30	822,4 Aa	837,5 Aab	793,1 Aa	809,7 Aa	805,4 Aa	787,3 Aab	726,1 Aa
30 – 40	798,03 Aa	701,8 Aab	763,5 Aa	806,1 Aa	813,3 Aa	767,2 Aab	750,5 Aa
CV (%)	12,3	11,1	8,9	10,4	31,8	17,5	18,3
R ²	0,70	0,82	0,80	0,77	0,33	0,62	0,51

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A acumulação de fósforo em formas lábeis e moderadamente lábeis e a ausência do acúmulo de fósforo em frações recalcitrantes confirmam o seu potencial fertilizantes, conforme também relatado por Gatiboni et al. (2007) e Ceretta et al. (2010), mas também evidenciam seu potencial poluente.

Tomando por base o ocorrido na camada de 0 a 2,5 cm de profundidade, que mostrou-se a mais afetada pelo dejetos, os coeficientes angulares das equações de regressão da resposta às doses (Tabelas 6, 8 e 10) mostram que na fração P_{iRTA} houve um aumento de 2,7 mg kg⁻¹ de fósforo para cada m³ de dejetos adicionado. Da mesma maneira, o aumento foi de 0,6 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{i_{bic}}, 0,11 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{o_{bic}}, 8,2 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{i_{hid}}, 3,2 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{i_{hid05}}, 0,12 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{i_{HCl}}, 2,2 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{o_{hid}} e 4,1 mg kg⁻¹ m⁻³ para P_{o_{hid05}}. Assim, o somatório dos aumentos estimados nas frações inorgânicas alcançou a 17,02 mg kg⁻¹ m⁻³ enquanto nas formas orgânicas alcançou a 6,41 mg kg⁻¹ m⁻³ mostrando novamente que o acúmulo de fósforo ocorreu predominantemente nas formas inorgânicas de fósforo do solo.

Tabela 10. Teores de fósforo extraídos pelos extratores HCl 1,0 mol L⁻¹ e H₂SO₄ + H₂O₂ + MgCl₂ em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Profundidade Cm	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹					Regressão	R ²
	0	25	50	100	200		
Fósforo inorgânico extraído por HCl a 0,5 mol L⁻¹ [Pi_{HCl 0,5} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	5	9	14	19	30	y = 3,3 + 0,12x	0,86*
2,5-5	3	3	8	12	22	y = 1,97 + 0,0976x	0,94*
5-10	3	3	4	7	11	y = 2,21 + 0,041x	0,84*
10-20	2	2	2	3	3	y = 1,91 + 0,0069x	0,61*
20-30	1	1	2	2	3	y = 0,91 + 0,0093x	0,66*
30-40	0	1	2	2	2	y = 0,76 + 0,009x	0,64*
Fósforo Residual [Pt_{residual} (mg kg⁻¹)]							
0-2,5	626	614	609	637	635	ns	-
2,5-5	680	591	883	545	634	ns	-
5-10	810	837	910	895	806	ns	-
10-20	767	836	719	828	759	ns	-
20-30	822	810	805	787	726	ns	-
30-40	798	806	813	767	751	ns	-

* e ns = significativo a 5 % e não significativo, respectivamente.

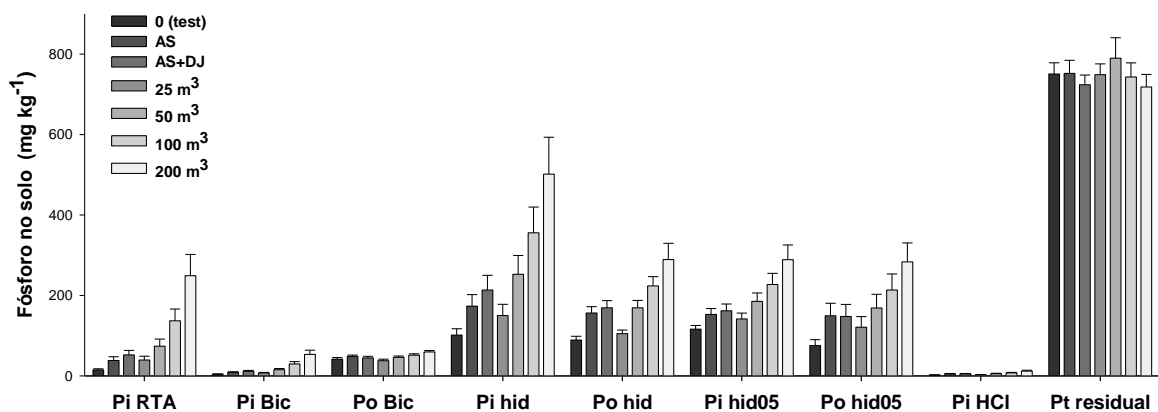


Figura 12. Somatório dos teores de fósforo das diferentes formas nas seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ). Pi_{RTA}, fósforo inorgânico extraído pela resina; Pi_{bic}, fósforo inorgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Po_{bic}, fósforo orgânico extraído por NaHCO₃ a 0,5 mol L⁻¹; Pi_{hid}, fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Po_{hid}, fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,1 mol L⁻¹; Pi_{hid05}, fósforo inorgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Po_{hid05}, fósforo orgânico extraído por NaOH a 0,5 mol L⁻¹; Pi_{HCl}, fósforo inorgânico extraído por HCl a 1,0 mol L⁻¹; P_{residual}, fósforo extraído por H₂SO₄+H₂O₂+MgCl₂. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Ficou assim evidente que o acúmulo de fósforo no solo fertilizado com dejetos suíno ocorre principalmente em frações inorgânicas. O aumento de fósforo geoquímico, que é o somatório das formas inorgânicas do fracionamento químico, em função da dose diminuíram com o aumento da profundidade das camadas de solo analisadas (Figura 13). Observou-se incrementos de até $15 \text{ mg kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$ do conjunto de aplicações, porém, este incremento deu-se até a camada de 10 a 20 cm de profundidade. Por outro lado, o fósforo biológico (Figura 14a), obtido pelo somatório das formas orgânicas de fósforo, também aumentou com a dose de dejetos suíno aplicada e isto ocorreu em todas as camadas avaliadas, embora com menos expressão do que o fósforo geoquímico.

Com as sucessivas aplicações de dejetos suíno não foi observado alteração nas proporções das partições do fósforo geoquímico e biológico após dez aplicações de dejetos suíno por um período de nove anos.

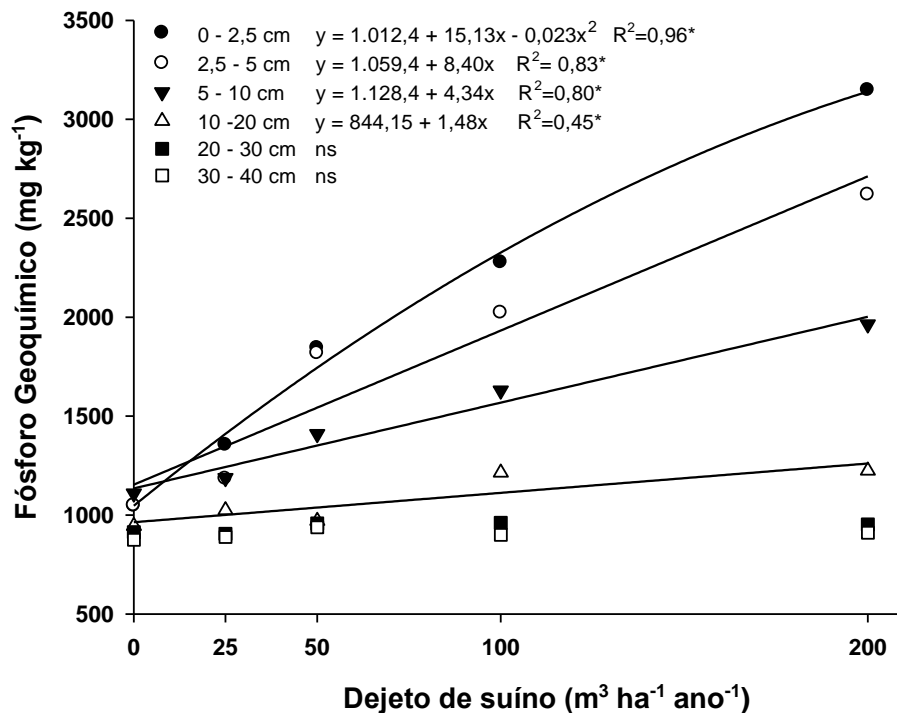


Figura 13. Teores de fósforo geoquímico ($P_{iRTA} + P_{iBic} + P_{iHid} + P_{iHid05} + P_{iHCL} + P_{residual}$) em seis camadas de um Latossolo Vermelho Distroférico submetido à nove aplicações anuais de dejetos suíno (DJ), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

(* e ns: significativo a 5 % e não significativo, respectivamente).

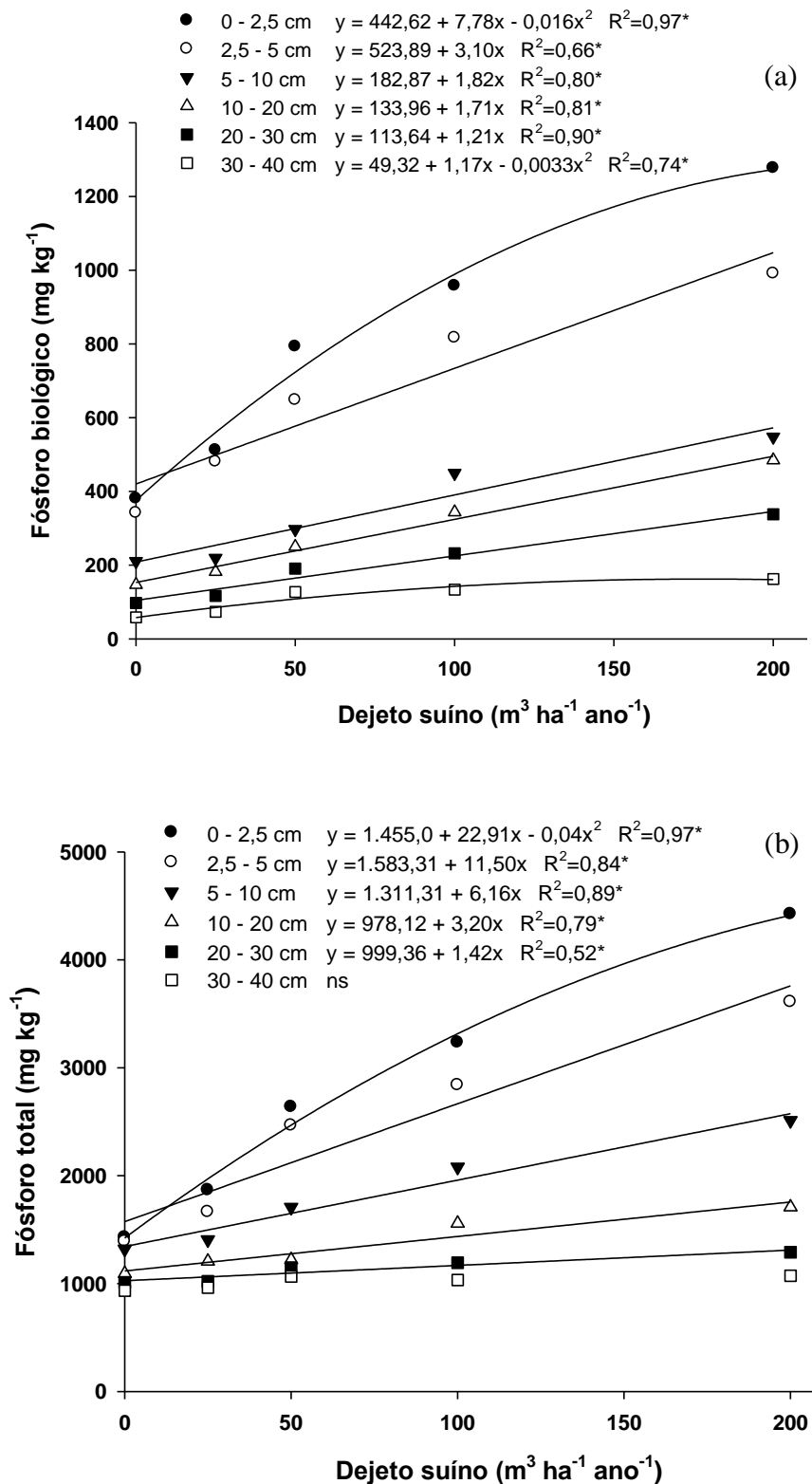


Figura 14. Teores de (a) fósforo biológico ($P_{\text{bic}}+P_{\text{hid}}+P_{\text{hid05}}$) e de (b) fósforo total (somatório de todas as frações) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido à nove aplicações anuais de dejeito suíno (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, Adubo solúvel (AS) e dejeito associado a adubo solúvel (AS+DJ) em cultivo de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. (* e ns: significativo a 5 % e não significativo, respectivamente).

O aumento do fósforo total do solo com o aumento da dose de dejetos suíno aplicada (Figura 14b) foi significativo nas camadas superficiais até 30 cm de profundidade, semelhante ao observado nos teores de fósforo geoquímico, lembrando-se que o fósforo total foi composto principalmente por formas inorgânicas. Ao se subtrair os valores de fósforo total no tratamento testemunha na camada 0-2,5 cm de profundidade se observou incremento de 902, 1.209 e 2.996 mg kg⁻¹ de fósforo, respectivamente, para os tratamentos AS+DJ, 50 e 200 m³ ha⁻¹ de dejetos. Isso representa um aumento de, aproximadamente, 1,8 vezes pelas aplicações sucessivas de 50 m³ ha⁻¹ de dejetos, em relação ao tratamento testemunha. Assim, mesmo que o fósforo tenha alta afinidade pelos grupos funcionais de argila e óxidos, dificilmente quantidades tão expressivas poderiam ser adsorvidas com alta energia de ligação, o que pode justificar a migração observada no fósforo pelo perfil do solo, com conseqüente aumento nos seus teores totais até a camada de 20-30 cm de profundidade.

Após a adição de aproximadamente 2.840 kg ha⁻¹ de fósforo via dejetos suíno, com nove aplicação de 200 m³ ha⁻¹, os teores de fósforo extraídos por RTA na camada de 10-20 cm de profundidade ficaram acima de 40 mg kg⁻¹ de solo que, segundo a CQFS-RS/SC (2004) são interpretados como muito alto. Os teores de fósforo extraído com resina no tratamento com aplicação de 50 m³ ha⁻¹ de dejetos foram de 657, 525, 172, 82, 32 e 5 mg kg⁻¹, para as camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade, respectivamente (Tabela 5). Assim, se observa um grande incremento de fósforo disponível nas camadas superficiais do solo, porém com uma redução significativa com o aumento da profundidade. Esta redução provavelmente reflete a fixação do fósforo aos colóides do solo, o que pode ser um fator de atenuação do risco de contaminação do lençol freático por fósforo disponível em solos como empregado neste estudo que contém alto teor de argilominerais altamente intemperizados. Entretanto, para outras formas de fósforo estudadas, observou-se um incremento no teor deste elemento inclusive em camadas mais profundas, o que pode evidenciar a potencialidade de contaminação das águas subsuperficiais.

5.5 CONCLUSÕES

O dejetos suíno adicionado em Latossolo Vermelho durante nove anos e em doses anuais a partir de 100 m³ ha⁻¹ aumenta o teor de fósforo em camada superficial até 40 cm de

profundidade, principalmente, nas formas inorgânicas extraídas por resina trocadora de ânions, NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e nas formas orgânicas extraídas por NaOH $0,1$ e $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, porém, praticamente não afeta os teores de fósforo orgânico extraído por NaHCO_3 $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

O dejetos suíno adicionado em doses de até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ aumenta o teor de fósforo lábil e moderadamente lábil em profundidades até 40 cm de solo.

O aumento no teor de fósforo total em função da dose no perfil estudado, após nove sucessivas aplicações anuais de dejetos suíno, pode ser uma evidência da transferência de fósforo em profundidade no solo e um potencial de contaminação do lençol freático.

6. CONCLUSÕES GERAIS

Doses de dejetos suíno iguais ou maiores do que $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ mostraram-se suficientes para a obtenção de alto rendimento de milho e indica que este resíduo pode substituir os fertilizantes comerciais solúveis.

A aplicação anual de dejetos suínos em doses a partir de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na superfície de um Latossolo Vermelho distroférico argiloso, cultivado com a sucessão aveia-milho, em sistema de plantio direto, aumenta os teores de cálcio e magnésio trocáveis até 5 cm de profundidade, de fósforo extraível na camada de 0 a 2,5 cm e potássio extraível até 10 cm de profundidade.

O dejetos suíno não teve efeito no pH do solo em relação à testemunha, porém, o adubo solúvel provocou a acidificação do solo na camada até 10 cm de profundidade.

O dejetos combinado com o adubo solúvel possibilita rendimento de milho semelhante ao obtido com o adubo solúvel isolado, permitindo o aproveitamento deste resíduo com economia na aquisição de fertilizantes comerciais.

O dejetos suínos adicionado ao solo aumenta o teor de fósforo, principalmente, nas formas inorgânicas extraídas por resina trocadora de ânions, bicarbonato de sódio e hidróxido de sódio.

O aumento no teor de fósforo em todo o perfil estudado, após sucessivas aplicações de altas doses de dejetos suínos, evidencia a transferência de fósforo em profundidade no solo e, com a continuidade das aplicações, uma possível contaminação de águas subterrâneas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos a curto e a longo prazo têm concluído como vantajoso o uso de dejetos de suíno em relação à produtividade de culturas, além de aumentar a fertilidade de forma eficiente. Entretanto, seu uso deve ser feito com restrições devido ao potencial de causar contaminação no solo e nos mananciais em aplicações superficiais ou em doses acima das recomendadas.

Portanto, a aplicação de dejetos de suíno no solo deve ser precedida da análise da composição química do resíduo e da análise química do solo.

Além disso, estudos sobre possível contaminação do lençol freático e composição orgânica do resíduo são necessários para a segura utilização do dejetos de suíno como fertilizante ao solo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS - ACCS. **Relatório Anual 2010**. Concórdia, SC. Disponível em: <<http://www.accs.org.br>>. Acesso em: 04 jun. de 2011.

ALMEIDA, J.A.; TORRENT, J. & BARRÓN, V. Cor, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em latossolos desenvolvidos de basalto do extremo sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 985-1002, 2003.

ALVES, M. **Fauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes minerais e dejetos suínos na sucessão aveia milho, sob semeadura direta**. 2007. 59p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, 2007

AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. Qualidade do solo avaliada pelo "Soil Quality Kit Test" em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 109-121, 2007.

ARAÚJO, M.S. & SALCEDO, I.H. Formas preferenciais de acumulação de fósforo em solos cultivados com cana-de-açúcar na região nordeste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, n.4, p. 643-650, out./dez. 1997.

BARCELLOS, L.A.R. **Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos**. 1992. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1992.

BARETTA, D. **Atributos biológicos do solo em diferentes agroecossistemas na região sul do Brasil**. 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, 2003.

BERWANGER, A.L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos suíno**. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

BURTON, C.H. Processing strategies for farm livestock slurries: an EU collaboration. **Ingénieris**, Cachan, p. 5-10, 1996.

CASSOL, P.C. **Eficiência fertilizante de estrumes de bovinos de leite e frangos de corte como fonte de fósforo às plantas**. 1999. 162f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

CASSOL, P.C.; ERNANI, P.R.; GATIBONI, L.C.; SILVA, D.C.P.R.; LUCRECIO, W. Teores de C orgânico e N total em Latossolo Vermelho cultivado com a sucessão aveia-milho e submetido a sete aplicações anuais de dejetos suínos. **In: I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Animais, 2009, Florianópolis. I Simpósio Internacional sobre gerenciamento de Resíduos da. Concórdia : Sociedade Brasileira de Especialistas em Resíduos das Produções Agropecuária e Agroindustrial, 2009. v. 1. p. 166-170.**

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C. & COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.635-644, 2001.

CASSOL, P.C.; SARTOR, J.E. & SANTOS, A.S. dos. Valores de pH e alumínio trocável do solo em função de doses de calcário e de estrumes de bovino, frango e suíno. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Recife. **Resumos expandidos...** Recife, CD Rom, 2005.

CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L. C.; LOURENZI, C. R.; TIECHER, T. 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, p. 593-602, 2010.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L. & BERWANGER, A. L. Dejetos suínos: I-Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1296-1304, 2005.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; PAVINATO, P.S.; TRENTIN, E.F & GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 287-1295, 2005.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R. & VIEIRA, F.C.B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 729-735, 2003.

CHANTIGNY, M.H. et al. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p. 306-312, 2004.

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

CHEVERRY, C.; MENETRIER, Y. & BOLOY, J. **Distribuição do chorume de suínos e fertilização**. Tradução: Osvaldo E. Aranha. Curitiba: ACARPA, 1986, 43p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul. 2004. 400p.

CONDRON, L.M.; GOH, K.M. & NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ^{31}P nuclear magnetic resonance analysis. **Journal Soil Science**, v.36, p.199-207, 1985.

CONTE, E.; ANGHINONI, I & RHEINHEIMER, D.S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.27, n. 5, p. 893-900, set./out. 2003.

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

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

DICK, W.A. & TABATABAI, M.A. determination of orthophosphate in aqueous solutions containing labile organic and inorganic phosphorus compounds. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.82-85, 1977.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA. Rio de Janeiro. 412 p. 2006.

ERNANI, P.R. & GIANELLO, C. Necessidades da adição de nitrogênio para milho em solo fertilizado com esterco de suínos, cama de aves e adubos minerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.313-317, 1984.

ERNANI, P.R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: O Autor, 2008. 230 p.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. **Instrução normativa para licenciamento ambiental**. FATMA: Instrução normativa nº 11, de 13/12/2004. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br>>. Acesso em: 11 abr. de 2011

GATIBONI, L.C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003, 231f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F.C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. & LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-NMR in successively cropped soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.2625-2640, 2005.

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

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 de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1753-1761, 2008.

GESSEL, P.D.; HANSEN, N.C.; MONCRIEF, J.F. & SCHMITT, M.A. **Rate of fall-applied liquid swine manure: Effects on runoff transport of sediment and phosphorus.** *J. Environ. Qual.*, v.33, p. 1839-1844, 2004.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 195-205, 2008.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; TRENTIN, E. E.; LORENZI, C. R.; BRUNETTO, G.; BERWANGER, A. L.; Alterações em propriedades químicas no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. In: Fertbio, 2006. Bonito, MS, **Anais...**, Bonito: SBCS 2016

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

HENTZ, P. **Uso de camas sobrepostas de suíno como fertilizante orgânico em pastagem perene sobressemeada com leguminosas.** 2006. 119f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo. Passo fundo, 2006.

HOUNTIN, J.A.; KARAM, A.; COUILLARD, D. & CESCAS, M.P. Use of a fractionation procedure to assess the potential for P movement in a soil profile after 14 years of liquid pig manure fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.78, p.77–84, 2000.

HUE, N.V. & LICUDINE, D.L. Ameliorating of subsoil acidity through surface application of organic manures. **J. Environ. Qual.**, 28:623-632, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2009.** Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09 ago. de 2011.

KLEIN, V.A.; DALLMEYER, A.U.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; BOLLER, W.; FIOREZE, I.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F. & FAVERO, F.F. Adaptação de um equipamento para incorporação de calcário em solos sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 6, p. 95-103, 2007.

KONZEN, E.A. **Manejo e utilização de dejetos suínos.** Concórdia: EMBRAPA - CNPSA, 1983. 32p.

KONZEN, E.A. & ALVARENGA, R.C. Monitoramento ambiental do uso de dejetos suíno como insumo na agricultura: Efeito de doses na produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.3, p.123-131, 2002.

LÉIS, C.M.; COUTO, R.R.; DORTZBACH, D.; COMIN, J.J. & SARTOR, L.R. Rendimento de milho adubado com dejetos de suínos em sistema de plantio direto sem o uso de agrotóxicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 3814-3817, 2009.

MAFRA, M.S.H; PAULO CEZAR CASSOL, P.C.; ANDRADE, A.P.; RAUBER, L.P.; SILVA, F.; FRIEDRICH, A. Nitrogênio e carbono orgânico total e particulado em Latossolo vermelho na sucessão aveia-milho com aplicações anuais de dejetos suíno. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011. Uberlândia, MG. **Anais...**, Uberlândia: SBCS 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 631 p.

MANTOVANI, A. **Lixiviação de nitrogênio em Nitossolo Vermelho afetada pelo pH do solo e pela adição de fertilizantes nitrogenados combinados com superfosfato triplo**. 2005, 69f. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC, 2005.

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

MENDONÇA, E. S. & ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo Argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 295-303, 1994.

MOREIRA, E.B. **Efeito fertilizante de dejetos suíno aplicado em lavoura sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages, SC, 2004.

MOURA. M.C.S.; LOPES, A.N.C, MOITA, G.C & MOITA NETO, J.M. Estudo multivariado de solos urbanos da cidade de Teresina. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.3, p.429-435, 2006.

MUGWIRA, L. M. Residual effects of dairy cattle manure on millet and rye forage and soil properties. **Journal of Environmental Quality**, v.8, p.251-255, 1979.

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

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV/DPS, 1999. 399p.

OLIVEIRA, D.L.A. **Atributos químicos de Latossolo Vermelho férrico após aplicação intensiva de dejetos suíno**. 2007. 138f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

OLIVEIRA, E. & PARIZOTTO, M.L.V. **Características e uso fertilizante de esterco de suíno**. Londrina, IAPAR, 1994. 24p. (IAPAR, Circular, 83).

PANDOLFO, C.M.; ARAUJO, I.S.; DORTZBACH, D. & VEIGA, M. Rendimento de grãos de milho e teor de nutrientes na folha índice e nos grãos com a aplicação de dejetos de suíno em um Cambissolo Álico, no município de Braço do Norte, SC. In: Reunião Sul - Brasileira de Ciência do Solo, 7, 2010. Santa Maria, RS. **Anais...**, Santa Maria: SBCS-NRS 2010.

PANDOLFO, C.M. & CERETTA, C.A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associados a sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1572-1580, 2008.

PANDOLFO, C.M.; CERETTA, C.A.; VEIGA, M. & MASSIGNAM, A.M. Análise técnica de fontes de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 759-768, 2008.

PANDOLFO, C.M.; CERETTA, C.A.; MASSIGNAM, A.M.; VEIGA, M. & MOREIRA, I.C.L. Análise ambiental do uso de fontes de nutrientes associados a sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 512-519, 2008.

PRATT, P.F. Management restrictions in soil application of manure. **Journal of Animal Science**, Washington, v. 48, p. 134-143, 1979.

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

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

RHEINHEIMER, D.S.; CASSOL, P.C.; KAMINSKI, J. & ANGHINONI, I. **Fósforo orgânico no solo**. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S., CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O. (Ed) Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: Metrópole, p.101-112, 2008.

SANTA CATARINA. **Governo do Estado de Santa Catarina**: Municípios de Santa Catarina – Campos Novos. [Online]: <http://www.sc.gov.br/portalturismo/Default.asp?CodMunicipio=245&Pag=1>. Acesso em 23 mai. 2011.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C. & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586. 2008.

SAS INSTITUTE INC. **SAS 9.1.3 (TS1M3) for Windows Microsoft**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2007.

SCHERER, E.E. et al. **Utilização de dejetos líquidos de suíno como fonte de N para as culturas de milho e feijão**. Florianópolis: EMPASC, 1986. 4p.

SCHERER, E.E.; AITA, C. & BALDISSERA, I.T. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante**. Florianópolis: Epagri, 1996. 46p. (EPAGRI - Boletim Técnico, 79).

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. & DIAS, L.F.X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense. **Agropecuária Catarinense**. Florianópolis, v.8, p.35-39, 1995.

SCHERER, E.E., BALDISSERA, I.T. & NESI, C.N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31 p. 123-131, 2007.

SEDIYAMA, A.N. et al. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agrícola**, v.57, n.1, 2000.

SEGANFREDO. A.M. **Análise dos riscos de poluição do ambiente, quando se usa dejetos de suíno como adubo do solo**. Concórdia – SC. EMBRAPA – CNPSA, 2000. (Comunicando Técnico).

SEGANFREDO, M.A. Efeito de dejetos de suínos sobre o nitrogênio total, amônio e nitratos na superfície e subsuperfície do solo. In: Reunião Sul - Brasileira de Ciência do Solo, 2., 1998., Santa Maria, RS. **Anais...**, Santa Maria: SBCS-NRS 1998.

SEIFFERT, N. F. & PERDOMO, C. C. **Aptidão de solos da bacia hidrográfica do Rio do Peixe para aporte de fertilizantes orgânicas**. Concórdia: Embrapa Cnpas, n. 230, 1998. Comunicado Técnico.

SILVA, M.A.; NÓBREGA, J.C.A.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; SÁ, J.J.G.; MARQUES, M. & MOTTA, P.E.F. Frações de fósforo em Latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1197-1207, 2003.

SHARPLEY, A.N.; MCDOWELL, R.W.& KLEINMAN, P.J.A. Amounts, agricultural drainage: forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. **Soil Science Society of America Journal**, v.68, p.2048–2057, 2004.

SHEN, Q.R.; SHEN, Z.G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil. **Bioresource Technology**, v. 76, p. 235-240, 2001.

SOBESTIANSKY, J. et al. **Suinocultura intensiva**. Concórdia: Embrapa, 1998. 388p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Methods of chemical analysis for water and wastes**. Cincinnati: USEPA, 1971.

9. ANEXOS

Anexo A – Valores de pH em água, em CaCl₂ e SMP em diferentes camadas em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados ao adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Camadas (cm)	Tratamentos						
	Test.	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
pH em água							
0 – 2,5	6,01Aab	5,31Bb	5,73ABbc	5,95Aab	5,87Abc	5,85Abc	6,18Aa
2,5 – 5	5,96Ab	5,30Bb	5,69Abc	5,85Ab	5,73Abc	5,66Abc	6,04Aab
5 - 10	6,21Aa	5,56Aab	5,97Aab	5,88Ab	6,07Aabc	5,68Ac	5,76Ab
10 - 20	6,24Aa	5,82Aa	6,17Aa	6,26Aa	6,42Aa	6,08Aab	6,12Aab
20 – 30	6,07Aab	5,87Aa	6,11Aa	6,00Aab	6,31Aab	6,20Aa	6,23Aa
30 –40	5,58Ac	5,46Ab	5,70Abc	5,51Ac	5,90Abc	5,74Ac	5,88Aab
pH em CaCl₂							
0 – 2,5	5,14ABb	4,42Cc	4,95Bbc	5,12Aba	5,07ABb	5,24ABab	5,55Aa
2,5 – 5	5,24Aab	4,48Bbc	4,95ABbc	5,12Aa	5,10Ab	5,02Abc	5,33Aabc
5 - 10	5,31Aab	4,68Ab	5,17Aab	5,25Aa	5,31Aab	4,96Abc	5,20Abc
10 - 20	5,37Aa	5,03Aa	5,32Aa	5,31Aa	5,61Aa	5,38Aa	5,40Aab
20 – 30	5,16Aab	5,04Aa	5,35Aa	5,15Aa	5,47Aa	5,43Aa	5,46Aab
30 –40	4,63Ac	4,56Abc	4,83Ac	4,54Ab	5,03Ab	4,92Ac	5,04Ac
pH SMP							
0 – 2,5	5,90Aa	5,34Bbc	5,71ABdc	5,98Aab	5,74Abc	5,68ABcd	5,90Abc
2,5 – 5	5,91Aa	5,21Bc	5,61ABd	5,78Aab	5,73Ac	5,51ABd	5,65Ad
5 - 10	6,05Aa	5,48Bbc	5,90ABbc	5,85ABab	5,94ABbc	5,57ABd	5,68ABcd
10 - 20	6,10Aa	6,01Aa	6,10Aab	6,20Aa	6,26Aa	6,06Aab	6,10Aab
20 – 30	6,10Aa	6,10Aa	6,24Aa	6,04Aab	6,21Aab	6,14Aa	6,25Aa
30 –40	5,51Ab	5,59Ab	5,82Acd	5,72Ab	6,03Aabc	5,89Abc	5,92Abc

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Anexo B – Teores de alumínio trocável em diferentes camadas em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Camadas (cm)	Tratamentos						
	Test.	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
Al³⁺ (cmol_c dm⁻³)							
0 – 2,5	0,22Bb	0,45Aab	0,20Bab	0,17Bb	0,15Ba	0,17Ba	0,18Ba
2,5 – 5	0,16ABb	0,39Aab	0,21ABab	0,15Bb	0,20ABa	0,19ABa	0,20ABa
5 - 10	0,16Bb	0,27Ab	0,17ABb	0,12Bb	0,14Ba	0,19ABa	0,21ABa
10 - 20	0,12Ab	0,18Ab	0,17Ab	0,17Ab	0,15Aa	0,15Aa	0,16Aa
20 – 30	0,20Ab	0,21Ab	0,20Aab	0,16Ab	0,17Aa	0,17Aa	0,19Aa
30 –40	0,82Aa	0,60Aa	0,36Aa	0,62Aa	0,40Aa	0,27Aa	0,28Aa

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Anexo C – Teores de cálcio e magnésio trocáveis em diferentes camadas em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Camadas (cm)	Tratamentos						
	Test.	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
Ca²⁺ (cmol_c dm⁻³)							
0 – 2,5	8,01BCab	5,86Cc	8,13Ba	8,11Bab	8,84Ba	11,34Aa	13,49Aa
2,5 – 5	8,47BCa	6,47Cbc	8,14BCa	8,69Ba	8,94Ba	9,29Bb	11,49Ab
5 - 10	6,51Aab	7,21Aab	8,15Aa	7,97Aab	8,34Aa	8,19Abc	8,76Ac
10 - 20	7,86Aab	7,70Aa	7,69Aa	7,31Ab	8,25Aa	7,58Acd	7,44Acd
20 – 30	5,86Abc	5,68Ac	6,31Ab	5,27Ac	6,48Ab	6,40Ad	5,98Ade
30 –40	3,71Ac	3,94Ad	4,90Ac	3,30Ad	4,81Ac	4,57Ae	4,65Ae
Mg²⁺ (cmol_c dm⁻³)							
0 – 2,5	2,52Aa	1,60Ba	2,16ABa	3,39Aa	2,20Aa	2,25Aa	2,50Aa
2,5 – 5	2,05Aab	1,30Bbc	1,70ABab	2,01Aab	1,98Aab	1,95Aab	1,92Ab
5 - 10	2,01Aab	1,41Bab	1,73ABab	1,64ABb	1,72ABab	1,44Bcd	1,56ABbc
10 - 20	1,75ABb	1,60Ba	1,59Bb	1,81ABb	2,27Aa	1,61Bbcd	1,70ABbc
20 – 30	1,77Ab	1,44Aab	1,52Ab	1,53Ab	1,78Aab	1,66Abc	1,44Abc
30 –40	1,12Ac	1,09Ac	1,44Ab	0,97Ac	1,45Ab	1,29Ad	1,30Ac

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Anexo D – Valores de fósforo e potássio extraíveis em diferentes camadas em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DJ), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (AS+DJ), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto. Primeira aplicação dos tratamentos em novembro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010.

Camadas (cm)	Tratamentos						
	Test.	AS	AS+DJ	25 m ³	50 m ³	100 m ³	200 m ³
P (mg kg⁻¹)							
0 – 2,5	0,65Ca	2,55Ca	6,99Ca	3,17Ca	8,90Ca	43,24Ba	101,44Aa
2,5 – 5	0,43Cab	1,29Cb	2,41Cb	1,36BCb	3,73BCb	22,10Bab	66,73Ab
5 - 10	0,29Bab	0,42Bbc	0,69Bb	0,47Bb	0,69Bc	3,46Bb	13,11Ac
10 - 20	0,27Bab	0,37Bc	1,18ABb	0,29Bb	0,30Bc	0,49ABb	1,74Ac
20 – 30	0,32Aab	0,23Ac	0,22Ab	0,16Ab	0,25Ac	0,56Ab	0,34Ac
30 –40	0,18Ab	0,19Ac	0,16Ab	0,73Ab	0,20Ac	0,19Ab	0,26Ac
K (mg kg⁻¹)							
0 – 2,5	461,2Ea	558,2CDEa	680,0CDa	545,0DEa	756,2BCa	892,5Ba	1127,0Aa
2,5 – 5	341,2Eb	415,0DEb	536,2CDb	442,5DEb	601,2Cb	747,5Bb	943,2Ab
5 - 10	179,2Ec	270,7Dc	411,2Cc	279,0Dc	426,2Cc	588,7Bc	736,7Ac
10 - 20	84,5Ed	172,5Dd	264,0Cd	178,5Dd	299,2Cd	478,7Bcd	633,7Acd
20 – 30	54,0Dd	59,6De	158,2Ce	68,0De	198,7Ce	357,7Bd	530,0Ade
30 –40	36,7Dd	47,5De	76,7CDf	39,5De	99,0Cf	226,5Be	415,0Ae

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

10 APÊNDICES

Apêndice 1 - Fracionamento do fósforo do solo

(Hedley et al., 1982 com modificações de Condrón et al., 1985 e Gatiboni, 2003)

SOLUÇÕES:

NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹

Pesar 42,00 g de NaHCO₃ para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada e deionizada. Ajustar o pH a 8,5 com o uso de NaOH ou HCl. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume. Preparar a solução imediatamente antes do uso.

NaCl 0,5 mol L⁻¹

Pesar 29,25 g de NaCl para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,1 mol L⁻¹

Pesar 4,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

HCl 1 mol L⁻¹

Adicionar 84 ml de HCl conc. em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de H₂O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

NaOH 0,5 mol L⁻¹

Pesar 20,00 g de NaOH para Becker de 1000 ml e adicionar 900 ml de H₂O destilada e deionizada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

PROCEDIMENTO:

- a) Pesar 0,5 gramas de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca.
- b) Adicionar 10 ml de água destilada.
- c) Adicionar 1 lamina de RTA preparada segundo apêndice B.**
- d) Agitar por 16 horas no "end-over-end" (rotação de 33 rpm).
- e) Retirar a RTA do tubo com auxílio de uma pinça.
- f) Lavar o excesso de solo da RTA com jato d'água (pisceta).
- g) Colocar a RTA em recipiente com tampa contendo 15 ml de HCl 0,5 mol l⁻¹.
- h) Deixar em repouso por 90 min (com a tampa aberta).
- i) Agitar por 30 min em agitador horizontal.
- j) Retirar a RTA com auxílio de pinça e recuperá-la conforme Apêndice B.
- k) Centrifugar o solo + água à 6000 rpm por 15 min e descartar o sobrenadante.
- l) Determinar Pi no extrato de HCl 0,5 mol l⁻¹ (Apêndice C).

m) Adicionar 10 ml de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹.

- n) Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo.
- o) Agitar por 16 horas no "end-over-end".
- p) Centrifugar à 6000 rpm por 15 min.
- q) Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E).
- r) Adicionar 5 ml de NaCl 0,5 mol L⁻¹ com cuidado para não mexer o solo.
- s) Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato.

t) Adicionar 10 ml de NaOH 0,1 mol L⁻¹.

- u) Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo.
- v) Agitar por 16 horas no "end-over-end".
- w) Centrifugar à 6000 rpm por 15 min.
- x) Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E).
- y) Adicionar 5 ml de NaCl 0,5 mol L⁻¹ com cuidado para não mexer o solo.
- z) Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior.

aa) Adicionar 10 ml de HCl 1,0 mol L⁻¹.

- bb) Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo.
- cc) Agitar por 16 horas no "end-over-end".
- dd) Centrifugar à 6000 rpm por 15 min.
- ee) Reservar o sobrenadante para análise de Pi (Apêndice C).
- ff) Adicionar 5 ml de NaCl 0,5 mol L⁻¹ com cuidado para não mexer o solo.
- gg) Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior.

hh) Adicionar 10 ml de NaOH 0,5 mol L⁻¹.

- ii) Agitar manualmente para soltar o solo do fundo do tubo.
- jj) Agitar por 16 horas no "end-over-end".
- kk) Centrifugar à 6000 rpm por 15 min.
- ll) Reservar o sobrenadante para análise de Pi (apêndice D) e Pt (Apêndice E).
- mm) Adicionar 5 ml de NaCl 0,5 mol L⁻¹ com cuidado para não mexer o solo.
- nn) Centrifugar à 6000 rpm por 5 min e adicionar o sobrenadante ao extrato anterior.

oo) Secar o solo em estufa à 50° C e digerir o solo conforme apêndice 6.

Apêndice 2 - Saturação e Recuperação de Resinas Trocadoras de Ânions

(adaptado de Miola, 1995 e Gatiboni, 2003)

1) PREPARO DA RTA

a) Lavagem com HCl 0,5 mol L⁻¹;

- contato com 500 ml de HCl mol L⁻¹ por 10 min , jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de HCl mol L⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de HCl mol L⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

b) Lavagem com água destilada e deionizada

- lavar com bastante H₂O destilada e deionizada e descartar o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

c) Saturação com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹

- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ por 10 min , jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ por 120 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

d) Lavagem do excesso de NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ com água destilada

- lavar com bastante H₂O destilada e deionizada e descartar o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;
- contato com 500 ml de H₂O destilada e deionizada por 30 min (agitar de 10 em 10 min), jogar fora o líquido;

2) EXTRAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO

- Passos "a" a "k" do fracionamento de fósforo do solo (Apêndice 1).

3) RECUPERAÇÃO DA RTA

- submeter a RTA aos passos 1a e 1b do preparo da RTA;
- estocar a RTA em água destilada

Observações:

- quando a RTA estocada passou pelo processo de recuperação no dia anterior, no novo preparo da RTA, esses passos não precisam ser repetidos.
- o NaHCO₃ deve ser preparado na hora do uso e o pH deve ser regulado à 8,5 com uso de NaOH ou HCl.

Apêndice 3 - Determinação de fósforo em extratos ácidos do solo

(Murphy & Riley, 1977)

SOLUÇÕES:

Solução A:

Dissolver 15,35 g de $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ com 200 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 500 ml. Dissolver 0,3511 g de $\text{K}(\text{SbO})_2\text{C}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ com 100 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 200 ml. Colocar 300 ml de H_2O destilada em becker de 1000 ml e adicionar lentamente 178 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio e antimoniato de potássio e ajustar o volume com H_2O destilada.

Solução B:

Dissolver 1,356 g $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ (ácido ascórbico) com 100 ml de solução A em balão volumétrico. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

NaOH 10 mol L⁻¹:

Dissolver 400 g de NaOH em 600 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 1000 ml. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada. Armazenar em frasco plástico.

p-nitrofenol 0,25%:

Pesar 0,25 g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de H_2O destilada e deionizada em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pipetar uma alíquota do extrato para copo de cafezinho;
- b) Adicionar H_2O destilada para atingir volume de 3 ml;
- c) Adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;
- d) Neutralizar a solução com NaOH 10 mol L⁻¹;
- e) Adicionar 0,5 ml de solução B;
- f) Ler a absorbância em 882 nm após 30 minutos.

Apêndice 4 - Determinação de fósforo inorgânico em extratos alcalinos do solo

(Dick & Tabatabai, 1977)

SOLUÇÕES:

Solução A:

Dissolver 8,80 g de $C_6H_8O_6$ (ácido ascórbico) e 41,00 g de ácido tricloroacético com 400 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

Solução B:

Dissolver 6,20 g de $(NH_4)Mo_7O_{24} \cdot 4 H_2O$ com 400 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 500 ml. Transferir para balão volumétrico de 500 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada.

Solução C:

Dissolver 29,40 g de citrato de sódio e 26,00 g de arsenito de sódio com 800 ml de H_2O destilada e deionizada em Becker de 1000 ml. Adicionar 50 ml de ácido acético glacial (99%). Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com H_2O destilada e deionizada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Adicionar 5 ml de solução A em copo de cafezinho;
- b) Adicionar imediatamente uma alíquota de extrato alcalino;
- c) Adicionar imediatamente 1 ml de solução B;
- d) Adicionar imediatamente 2,5 ml de solução C;
- e) Completar o volume até 12,5 ml;
- f) Ler a absorbância no fotolorímetro em 700 nm após 15 minutos.

Apêndice 5 - Digestão dos extratos alcalinos do solo (extraídos com NaOH e NaHCO_3) para análise do fósforo total (USEPA, 1971)

SOLUÇÕES:

H_2SO_4 1:1:

Adicionar, vagarosamente, 500 ml de H_2SO_4 conc. em 500 ml de H_2O destilada e deionizada. Esperar esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H_2O destilada e deionizada.

Persulfato de amônio 7,5% (m/v):

Dissolver 75 g de persulfato de amônia (Merck) em 800 ml de H_2O destilada e deionizada. Transferir para balão volumétrico de 1000 ml e completar o volume com H_2O destilada e deionizada.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pipetar uma alíquota do extrato alcalino para solo em tubo de digestão;
- b) Adicionar 10 ml de persulfato de amônio 7,5%;
- c) Adicionar 1 ml de H_2SO_4 1:1;
- d) Cobrir o tubo com papel alumínio;
- e) Colocar os tubos em recipiente maior e cobri-lo com papel alumínio;
- f) Autoclavar à 121°C e 103 kPa por 2 horas;
- g) Deixar esfriar e completar o volume à 20 ml.
- h) Determinar fósforo conforme apêndice 3.

Apêndice 6 - Digestão do resíduo do solo para análise do fósforo total

(Brookes & Powlson, 1982)

SOLUÇÕES:

Solução $MgCl_2$ saturado: adicionar $MgCl_2$ em H_2O destilada e deionizada até a saturação da solução.

H_2SO_4 concentrado.

H_2O_2 concentrado.

PROCEDIMENTO DE ANÁLISE:

- a) Pesar 0,05 g de solo em tubo de digestão;
- b) Adicionar 1 ml de $MgCl_2$ saturado;
- c) Adicionar 1 ml de H_2SO_4 conc.;
- d) Colocar funil de refluxo no tubo de digestão;
- e) Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 200 °C;
- f) Deixar esfriar e adicionar 2 ml de H_2O_2 conc.;
- g) Aquecer por 1 hora no bloco digestor à 100 °C;
- h) Deixar esfriar e completar o volume à 50 ml.
- i) Determinar fósforo conforme apêndice 3.

