



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Cassol, Paulo Cezar; Cidral da Costa, Andréia; Ciprandi, Olívio; Pandolfo, Carla Maria; Ernani, Paulo Roberto

**DISPONIBILIDADE DE MACRONUTRIENTES E RENDIMENTO DE MILHO EM LATOSOLO  
FERTILIZADO COM DEJETO SUÍNO**

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 36, núm. 6, 2012, pp. 1911-1923

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180225136012>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **Comissão 3.5 - Poluição, remediação do solo e recuperação de áreas degradadas**

# **DISPONIBILIDADE DE MACRONUTRIENTES E RENDIMENTO DE MILHO EM LATOSOLO FERTILIZADO COM DEJETO SUÍNO<sup>(1)</sup>**

**Paulo Cezar Cassol<sup>(2)</sup>, Andréia Cidral da Costa<sup>(3)</sup>, Olívio Ciprandi<sup>(4)</sup>, Carla Maria Pandolfo<sup>(5)</sup> & Paulo Roberto Ernani<sup>(6)</sup>**

### **RESUMO**

**Visando estimar a dose adequada de dejeto suíno (DS) em lavoura de milho cultivado sob plantio direto, conduziu-se por 10 anos um experimento em campo, onde foram avaliados os atributos químicos do solo e o rendimento da cultura em resposta a aplicações anuais dos tratamentos: DS nas doses de 0, 25, 50, 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; adubo solúvel (AS); e DS mais adubo solúvel (DS+AS). O DS não alterou o pH do solo, porém, em doses a partir de 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, aumentou os teores de Ca<sup>+2</sup> e de P e K do solo, na camada de 0-5 cm, e diminuiu o teor de Al<sup>3+</sup> na camada de 20-40 cm. Na camada de 0-5 cm, o AS diminuiu o pH e aumentou o teor de Al<sup>3+</sup> no solo em relação aos demais tratamentos. O rendimento médio anual de milho respondeu às doses de DS seguindo o modelo quadrático, no qual a dose de 84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> possibilitou a obtenção de 90 % do valor máximo. O DS aplicado anualmente na superfície do solo não altera o pH, mas em doses maiores que 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, em geral, aumenta a disponibilidade de nutrientes nos 5 cm superficiais do solo.**

**Termos de indexação:** esterco, adubo orgânico, adubação, *Zea mays*.

<sup>(1)</sup> Extraído em parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo segundo autor à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Lages (SC). Financiada pelo Projeto Microbacias-SC/Banco Mundial e pela CAPES/PROAP-DS. Recebido para publicação em 02 de março de 2012 e aprovado em 18 de outubro de 2012.

<sup>(2)</sup> Professor Associado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UDESC. Av. Luiz de Camões, 2090. CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2pc@cav.udesc.br

<sup>(3)</sup> Eng. Agrônoma, MSc., Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UDESC. E-mail: accagro@gmail.com

<sup>(4)</sup> Eng. Agrônomo, MSc., Departamento de Agronomia, UDESC. E-mail: a2oc@cav.udesc.br

<sup>(5)</sup> Pesquisadora, DSc., Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, Estação Experimental de Campos Novos, BR 282, km 342. Caixa Postal 116. CEP 89620-000 Campos Novos (SC). E-mail: pandolfo@epagri.sc.gov.br

<sup>(6)</sup> Professor Associado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, UDESC. Bolsista de produtividade do CNPq. E-mail: a2pre@cav.udesc.br

**SUMMARY: MACRONUTRIENT AVAILABILITY AND MAIZE YIELD AFTER SWINE SLURRY APPLICATIONS TO AN OXISOL**

*Swine manure (SM) applications to maize under no-tillage were tested in a 10-year field experiment to define the appropriate rates. The responses in yield and soil property to the treatments were evaluated: SM at rates of 0, 25, 50, 100 and 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; soluble fertilizer (SF); and SM plus soluble fertilizer (SM + SF), all annually spread on the soil surface. The soil pH was not affected by SM, but at rates > 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, the exchangeable Ca and available P and K increased in the 0-5 cm and exchangeable Al decreased in 20-40 cm layer. In the surface layer (0-5 cm), SF reduced the pH and increased the content of soil exchangeable Al compared to the other treatments. The mean annual maize yield increased with increasing SM rates, fitting a quadratic model, and reached 90 % of the maximum at a rate of 84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. The SM applied annually to the soil surface did not affect soil pH, but generally improved soil nutrient availability, at rates > 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.*

*Index terms:* manure, organic fertilizer, fertilization, Zea mays.

## INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das principais atividades geradoras de renda no meio rural da região Sul do Brasil. Entretanto, o sistema de produção intensivo e sob confinamento gera volume expressivo de dejeto (Oliveira, 1993), que geralmente se apresenta na forma líquida e possui grande potencial poluente do solo e dos mananciais, por alta demanda biológica de oxigênio (Souza et al., 2009), presença de elementos como P, N, Cu e Zn (Seganfredo, 2007) e outros contaminantes, como coliformes fecais e antibióticos (Oliveira, 1993). Contudo, o dejeto suíno contém os nutrientes essenciais às plantas (CQFS-RS/SC, 2004), motivando seu uso como adubo. Essa tem sido a principal forma de disposição final desse resíduo nas propriedades produtoras de suínos, que, com isso, reduzem a dose e o custo da aquisição de adubos comerciais.

No entanto, diversamente dos adubos comerciais, que podem ser formulados de acordo com as necessidades da cultura e do solo, o dejeto suíno apresenta proporções relativamente constantes entre os teores de nutrientes contidos. Essas proporções geralmente diferem das recomendações de adubação do solo e culturas (Oliveira, 2007; Cassol et al., 2011). Assim, quando aplicado sucessivamente, o dejeto suíno pode provocar incrementos desproporcionais na disponibilidade dos nutrientes minerais no solo (Cela et al., 2010; Scherer et al., 2010; Cassol et al., 2011). Entretanto, o fornecimento de nutrientes pelo dejeto suíno e outros efeitos químicos, físicos e biológicos favoráveis que ele promove no solo geralmente aumentam o rendimento de grãos de milho (Ceretta et al., 2005a; Scherer et al., 2007). Contudo, o potencial produtivo da cultura em geral é atingido somente quando se aplicam doses altas (Konzen & Alvarenga, 2005; Ceretta et al., 2005a; Léis et al., 2009), que geralmente superam os 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, que é a dose máxima permitida pela legislação ambiental de Santa Catarina (Santa Catarina, 2003).

Entre os problemas decorrentes do dejeto suíno aplicado em lavouras sob plantio direto, onde não ocorre a incorporação, destaca-se o excessivo enriquecimento de nutrientes no solo, sobretudo na camada até 5 cm de profundidade (Ceretta et al., 2003; Barilli, 2005; Scherer et al., 2010; Cassol et al., 2011). Isso ocorre de forma mais acentuada com o P, que se acumula principalmente em formas inorgânicas e com intensidade proporcional à dose de aplicação (Gatiboni et al., 2008), o que favorece seu transporte por enxurradas para os mananciais de águas, onde pode causar eutrofização (Sharpley & Halvorson, 1994; Ceretta et al., 2005b).

Pelo exposto, observa-se que o uso do dejeto suíno na adubação deve ocorrer em quantidade e modo adequados, para potencializar os benefícios dessa prática, mas sem comprometer a qualidade do solo. Entretanto, isso requer estudos conduzidos por longo tempo, como o atual trabalho, incluindo as variações climáticas e, principalmente, permitindo a avaliação correta dos efeitos cumulativos do dejeto suíno no rendimento dos cultivos e na dinâmica dos elementos que alteram a fertilidade do solo. Assim, o presente trabalho teve por objetivos avaliar as alterações nos atributos químicos em seis camadas do solo até 40 cm de profundidade e no rendimento anual de milho decorrentes de nove aplicações anuais de dejeto suíno em doses de até 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, adubação com adubo solúvel e com este combinado ao dejeto suíno em Latossolo Vermelho distroférreo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Conduziu-se um experimento em campo no município de Campos Novos (SC), em Latossolo Vermelho distroférreo (Embrapa, 2006), cujas características químicas antes da instalação do experimento estão descritas no quadro 1. O solo havia recebido calagem com calcário dolomítico incorporado

na camada de 0-20 cm há cerca de dois anos e, desde então, era cultivado sob plantio direto (PD) com a seguinte sequência de culturas: milho (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycine max*) e aveia-preta (*Avena strigosa*), que foram adubadas com adubos solúveis, seguindo recomendações de CQFS-RS/SC (2004). O local situa-se nas coordenadas de 27° 23' 33" de latitude sul e 51° 21' 48" de longitude oeste, em altitude de 862 m. O clima é mesotérmico úmido com verão ameno tipo Cfb, segundo a classificação de Köppen. As chuvas são distribuídas durante o ano, e as médias anuais de precipitação pluvial e temperatura são de 1.480 mm e 16 °C, respectivamente (Epagri/Ciram, 2012).

A partir de novembro de 2001, foram realizadas aplicações anuais dos tratamentos: dejeto suíno (DS) nas doses de 0 (DS00), 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) e 200 (DS200) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; adubo solúvel (AS); e DS na dose de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> complementado com adubo solúvel (DS + AS). As características principais do DS empregado nas diversas aplicações são descritas no quadro 2, e as quantidades totais de C orgânico, N, P e K aplicadas com a dose de 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do DS durante a condução do experimento encontram-se no quadro 3. O tratamento AS foi composto por ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio em doses

anuais de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, que no período de 2001 a 2006 corresponderam a 130, 100 e 70 kg ha<sup>-1</sup>, e no período de 2007 a 2010, a 170, 130 e 80 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo o N aplicado 20 % na base e o restante em cobertura. Esses valores foram definidos com base em recomendações visando ao rendimento de grãos de milho de 8 Mg ha<sup>-1</sup> no primeiro período e de 11 Mg ha<sup>-1</sup> no segundo (CQFS-RS/SC, 2004). O tratamento DS + AS incluiu, além do DS, aplicações dos mesmos adubos solúveis supracitados, em doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O ajustadas anualmente de modo que as quantidades totais dos três nutrientes fossem semelhantes às fornecidas no tratamento AS. Para o N, o fechamento da dose com a fonte solúvel foi feito em cobertura descrita adiante, enquanto para P e K foi feito em duas aplicações, sendo 80 % no mesmo dia da distribuição do DS e o restante em torno de 10 dias depois. A primeira dessas aplicações considerou os teores dos nutrientes do DS determinados em campo pelo método do densímetro (CQFS-RS/SC, 2004), enquanto a segunda considerou os teores determinados em análise do DS no laboratório e contemplou as quantidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O faltantes para se completar a recomendação. Na média das aplicações, o DS contribuiu com aproximadamente 61, 75 e 65 % dos totais aplicados de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, no tratamento DS + AS.

**Quadro 1. Características químicas e física da camada de 0-20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho distroférreo, onde foi conduzido um experimento para avaliar a adubação com dejeto suíno, adubo solúvel ou combinada**

Camada	pH (H <sub>2</sub> 0)	SMP	V	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P	K	Argila	MO
cm			%		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>
0-20	6,1	6,0	87	<0,01	8,2	4,6	6,4	97	680	43

Médias de quatro amostras.

**Quadro 2. Características químicas do dejeto suíno aplicado anualmente em experimento em campo no período de 2001 a 2010. Dejeto gerado por animais em fase de terminação**

Aplicação	pH	MS	Corg	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	kg m <sup>-3</sup>		g m <sup>-3</sup>	
10/2001	6,7	66	19,2	3,4	1,4	1,2	3,3	1,1	-	11,9	1,2	8,0	5,2				
11/2002	7,1	26	11,2	2,6	1,0	1,2	1,8	0,7	-	-	0,42	1,14	-				
10/2003	6,9	32	12,8	2,6	1,1	1,3	2,1	0,9	-	-	0,53	1,42	-				
10/2004	7,3	43	16,6	3,7	1,4	1,5	2,8	1,2	-	-	0,70	1,9	-				
10/2005	7,8	56	17,4	3,2	1,5	1,1	1,8	0,9	-	-	8,8	3,2	-				
10/2006	7,0	114	35,6	4,6	2,8	1,7	1,7	0,9	0,80	9,0	3,4	4,6	12,8				
10/2007	7,3	55	19,7	2,7	1,81	1,11	1,49	0,76	0,51	2,7	4,1	7,8	9,6				
10/2008	7,1	68	23,9	2,43	0,43	1,33	0,58	0,24	-	-	3,4	4,6	-				
10/2009	7,2	69	25,6	6,62	1,07	3,48	1,60	0,51	-	-	2,7	4,1	-				
10/2010	7,4	57	23,2	3,85	2,12	2,17	-	-	-	-	-	-	-				
Média	7,2	59	20,5	3,56	1,46	1,61	1,91	0,80	0,66	7,87	2,81	4,08	9,20				

MS: Matéria seca; Corg: carbono orgânico.

O DS empregado nas diversas aplicações foi gerado por suínos em fase de terminação, sendo recolhido por meio de calhas sob piso gradeado e canalizado em fluxo contínuo para uma estrumeira descoberta, onde ficava armazenado durante cerca de quatro meses. As fontes de AS foram adubos granulados adquiridos em estabelecimento comercial credenciado.

Os tratamentos foram aplicados em parcelas de 75,6 m<sup>2</sup> de área total e 50 m<sup>2</sup> de área útil, organizadas em delineamento experimental de blocos completos casualizados com quatro repetições. As aplicações de tratamentos, excetuando-se o N em cobertura, foram realizadas sempre no mês de outubro de cada ano, entre 15 e 20 dias após a aplicação do herbicida glifosato para dessecar a cultura de inverno. Os adubos foram aplicados a lanço na superfície do solo sobre a palhada das culturas de inverno, sendo o DS distribuído por meio do jato de uma mangueira conectada ao tanque pressurizado, e os adubos solúveis, manualmente. As doses de N dos tratamentos AS e DS + AS aplicadas em cobertura foram divididas em duas épocas: a primeira entre os estádios de desenvolvimento da cultura V4 e V6, e a segunda, entre V10 e V12.

Anualmente foram cultivados, em sucessão e no sistema PD, milho e aveia-preta, exceto no verão de 2002-2003, quando se cultivou feijão-preto (*Phaseolus vulgaris*) em substituição ao milho, e nos invernos de 2005 e 2008, quando se cultivou nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) em substituição à aveia. Nos cultivos de milho, empregou-se a cultivar de híbrido simples Pioneer-30F53® em densidade de sete plantas m<sup>-2</sup>, com espaçamento de 0,60 m entre fileiras, enquanto nos de aveia-preta e nabo forrageiro foram empregadas as cultivares comum e IPR-116 em densidades de 60 e 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente, ambas em espaçamento de 0,20 m entre fileiras. O cultivo de feijão foi realizado com a cultivar Empasc 201, em densidade de 200 plantas m<sup>-2</sup>. A semeadura de milho foi feita entre sete e 12 dias após a aplicação dos tratamentos, geralmente na primeira semana de novembro, ao passo que as culturas de inverno foram semeadas sempre na primeira quinzena do mês de junho de cada ano. A semeadura de todas as culturas foi realizada com semeadeira de plantio direto, composta de disco de corte

**Quadro 3. Quantidades totais de C orgânico, N, P, K, Ca e Mg adicionadas em um Latossolo Vermelho distroférico em 10 aplicações anuais de dejetos suíno (DS)**

Dose de DS	Total aplicado <sup>(1)</sup>					
	C org	N	P	K	Ca	Mg
m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Mg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>			
25	5,13	890	366	402	477	200

<sup>(1)</sup>Total aplicado em 10 anos.

frontal e sulcamento por disco duplo desencontrado. O rendimento de grãos de milho foi determinado mediante colheita manual e trilha mecânica das espigas produzidas na área útil das parcelas.

A amostragem do solo foi realizada em julho de 2010 nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30; e 30-40 cm de profundidade. As amostras foram compostas de sete subamostras coletadas em pontos aleatórios da linha diagonal das parcelas, utilizando-se trado fatiador para a coleta nas três primeiras camadas e trado holandês para as demais. Em seguida à coleta, o solo foi seco em estufa com ventilação a 60 °C e a seguir foi moído, peneirado em malha de 2,0 mm e estocado em frascos fechados de polietileno. Foram determinados os atributos químicos: pH em água e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, índice SMP, teores de Ca, Mg e Al trocáveis (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>) e de K e P extraíveis (Mehlich-1). Ca e Mg foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica; Al, por titulometria ácido-base; K, por fotometria de chama; e P, por espectrofotometria visível, seguindo-se procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo software SAS, versão 9.1.3 (Cary, NC), considerando-se o tempo e a camada do solo como fatores distribuídos no delineamento em faixas na análise da variância. Nos casos em que houve efeito significativo de tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste DMS a 5 % e se ajustou uma função polinomial para a resposta de milho às doses do DS.

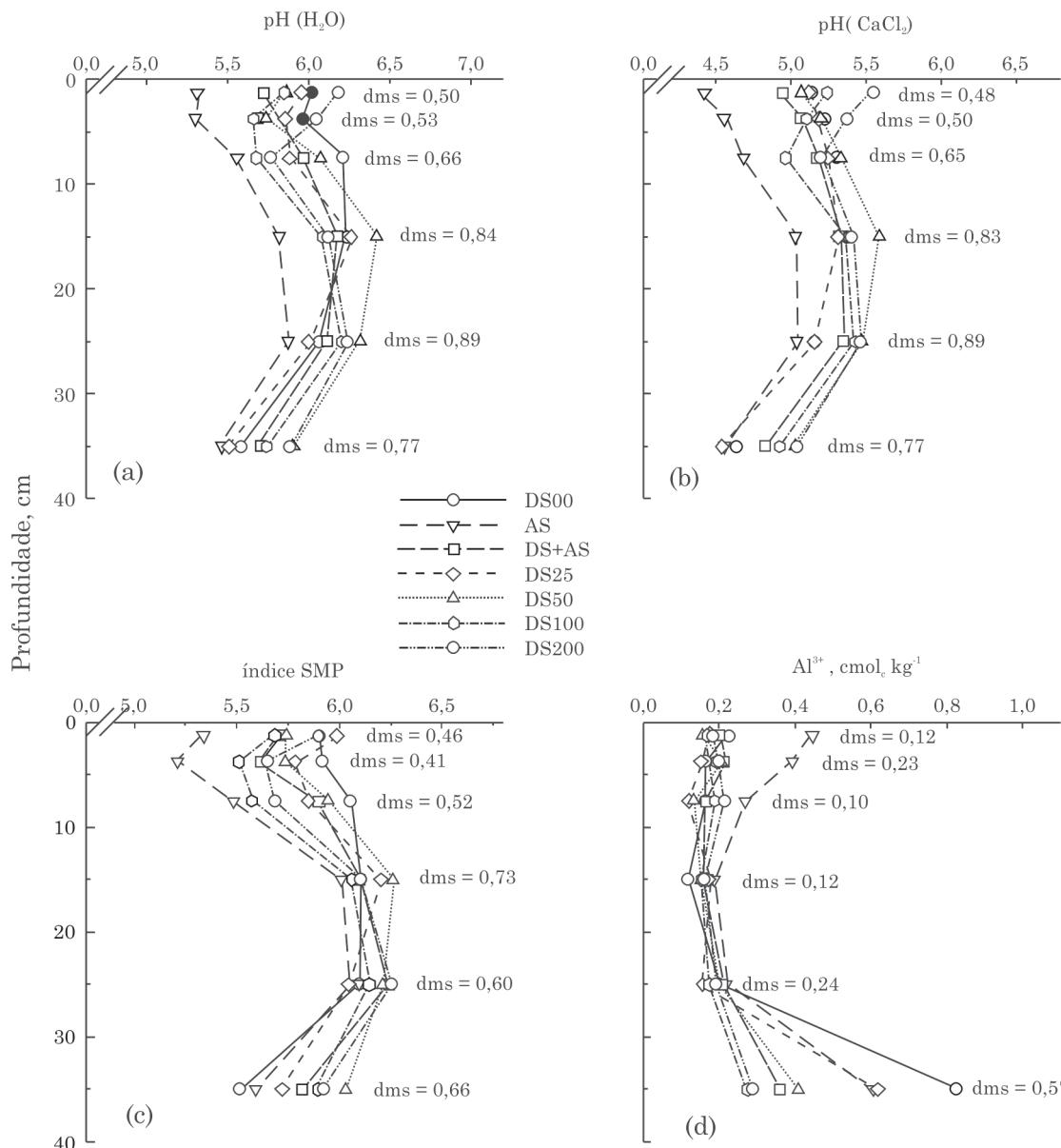
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dejeto de suíno (DS) nas diversas doses e aplicações realizadas não teve efeito no pH em água (Figura 1a), nem no pH em CaCl<sub>2</sub> (Figura 1b) ou no índice SMP (Figura 1c), em relação ao DS00 e em todas as camadas do solo amostradas. Esses resultados concordam com avaliações de outros trabalhos, que também não observaram efeito desse tipo de resíduo animal no pH do solo (Ceretta et al., 2003; Scherer et al., 2010; Cassol et al., 2011). Essa falta de efeito deve-se à provável ausência de compostos de reação alcalinizante, como carbonatos ou ânions orgânicos, em quantidade suficiente para provocar impacto significativo na acidez do solo, principalmente quando o poder-tampão é alto, como o solo deste estudo. Por outro lado, o DS geralmente apresenta alto teor de N amoniacal (Oliveira, 1993; Cassol et al., 1994; Scherer et al., 1995; Souza et al., 2009) que em solos drenados é oxidado a nitrato pelo processo microbiano da nitrificação que tem efeito acidificante do meio (Chung & Zasoski, 1993; Norton, 2000). Esse efeito atua em sentido contrário às reações de efeito alcalinizante citadas e também pode ter contribuído para a ausência de efeito do DS na correção da acidez do solo no atual estudo. Entretanto, Shen & Shen (2001) e Lourenzi

et al. (2011) observaram aumento do pH da camada superficial do solo após aplicações de DS, sendo esse efeito atribuído à reação de carbonatos presentes, à diminuição de  $\text{Al}^{3+}$  pela formação de complexo organometálico e ao aumento da saturação por bases que o resíduo provocou no solo. Já Hue & Licudine (1999) também observaram correção da acidez do solo por DS, mas atribuíram esse efeito principalmente ao consumo de íons  $\text{H}^+$  do solo pela protonação de ânions orgânicos derivados do dejeto, que são

originalmente desprotonados em função da característica alcalina do DS, cujo pH geralmente é superior a 7,0 (Quadro 2).

A fertilização com AS em geral diminuiu os valores de pH avaliados em relação aos demais tratamentos, principalmente nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm. Essa acidificação provavelmente decorreu da nitrificação do  $\text{NH}_4^+$  (Chung & Zasoski, 1993; Norton, 2000) derivado da ureia, que foi a fonte de N utilizada nesse tratamento, mostrando consonância com resultados



**Figura 1.** Valores de pH em água (a) e  $\text{CaCl}_2$  (b), índice SMP (c) e teor de  $\text{Al}$  trocável (d) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20 e 30-40 cm de um Latossolo Vermelho distroférreico cultivado com a sucessão aveia-milho em sistema plantio direto e adubado anualmente com dejeto suíno nas doses de 0 (DS00), 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) e 200 (DS200)  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , adubo solúvel (AS) e dejeto suíno complementado com adubo solúvel (AS + DS). Aplicação inicial em outubro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O dms indica a diferença mínima significativa entre médias de tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5 %.

relatados por Ciotta et al. (2002) ao estudarem a evolução dos atributos de um Latossolo cultivado durante 22 anos com plantas de lavoura no sistema plantio direto (PD). Com exceção do tratamento AS, os valores do pH, em geral, foram maiores que 5,5, embora na condição natural o solo em estudo geralmente apresente pH inferior a 5,0 (Almeida et al., 2003). Destaca-se que os valores de pH, que dois anos após a calagem apresentavam-se em torno de 6,1 (Quadro 1), ainda se situaram acima de 5,5 mesmo após 11 anos da calagem realizada antes do início do experimento, o que pode ser explicado pelo alto poder-tampão do solo combinado com a ausência de processo acidificante, tanto nos tratamentos com DS quanto no que não recebeu nenhuma adubação.

Nas duas camadas mais superficiais, o teor de  $\text{Al}^{3+}$  foi maior no AS (Figura 1d) do que nos demais tratamentos. Esse resultado foi relacionado à diminuição do pH do solo para valores menores que 5,5, mencionada anteriormente, concordando com resultados relatados por Ciotta et al. (2002), que também constataram a acidificação, acompanhada da presença de  $\text{Al}^{3+}$ , da camada superficial de um Latossolo Bruno cultivado por 22 anos sob PD e adubado com ureia como fonte de N. Assim, os maiores teores de  $\text{Al}^{3+}$  no AS são explicados pela diminuição do pH do solo para valores abaixo de 5,5, o que promove a dissolução de compostos contendo Al, especialmente dos hidróxidos (Mkadam et al., 2006; Ernani, 2008).

O DS nas diversas doses testadas não alterou o teor de  $\text{Al}^{3+}$  do solo nas camadas até 20 cm de profundidade em relação ao tratamento DS00, porém manteve valores baixos desse elemento relativamente ao AS, evidenciando-se como alternativa de adubação que não desenvolve acidificação no solo. Por outro lado, quando o DS é aplicado em dose alta e repetida, pode aumentar os teores de ácidos fulvicos e húmicos no solo, que formam complexo organo-metálico com o Al iônico em quantidade suficiente para diminuir seu teor na forma trocável, conforme observado por Ceretta et al. (2003). Assim, a diminuição do  $\text{Al}^{3+}$  na camada de 30-40 cm, observada nas duas maiores doses de DS, também pode ser devido à formação de complexo organometálico, já que ocorreu sem que tenha havido aumento significativo no pH do solo. Esse complexo pode ter se formado em ácidos, ou outros compostos orgânicos solúveis, que provavelmente derivaram da decomposição do DS e se deslocaram no perfil. Isso pode representar um benefício adicional do DS, pois a diminuição do  $\text{Al}^{3+}$  em subsuperfície favorece o crescimento radicular em profundidade, e isso diminui o estresse hídrico das plantas em períodos de estiagem.

O DS aumentou o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada de 0-2,5 cm quando aplicado em dose maior ou igual a  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , e esse efeito também ocorreu na camada de 2,5-5 cm quando a dose foi de  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , porém não alterou o teor de  $\text{Mg}^{2+}$  (Figura 2b). Comparando os teores de  $\text{Mg}^{2+}$  dos tratamentos DS00 e DS200 nas camadas até 10 cm de profundidade, constatou-se que

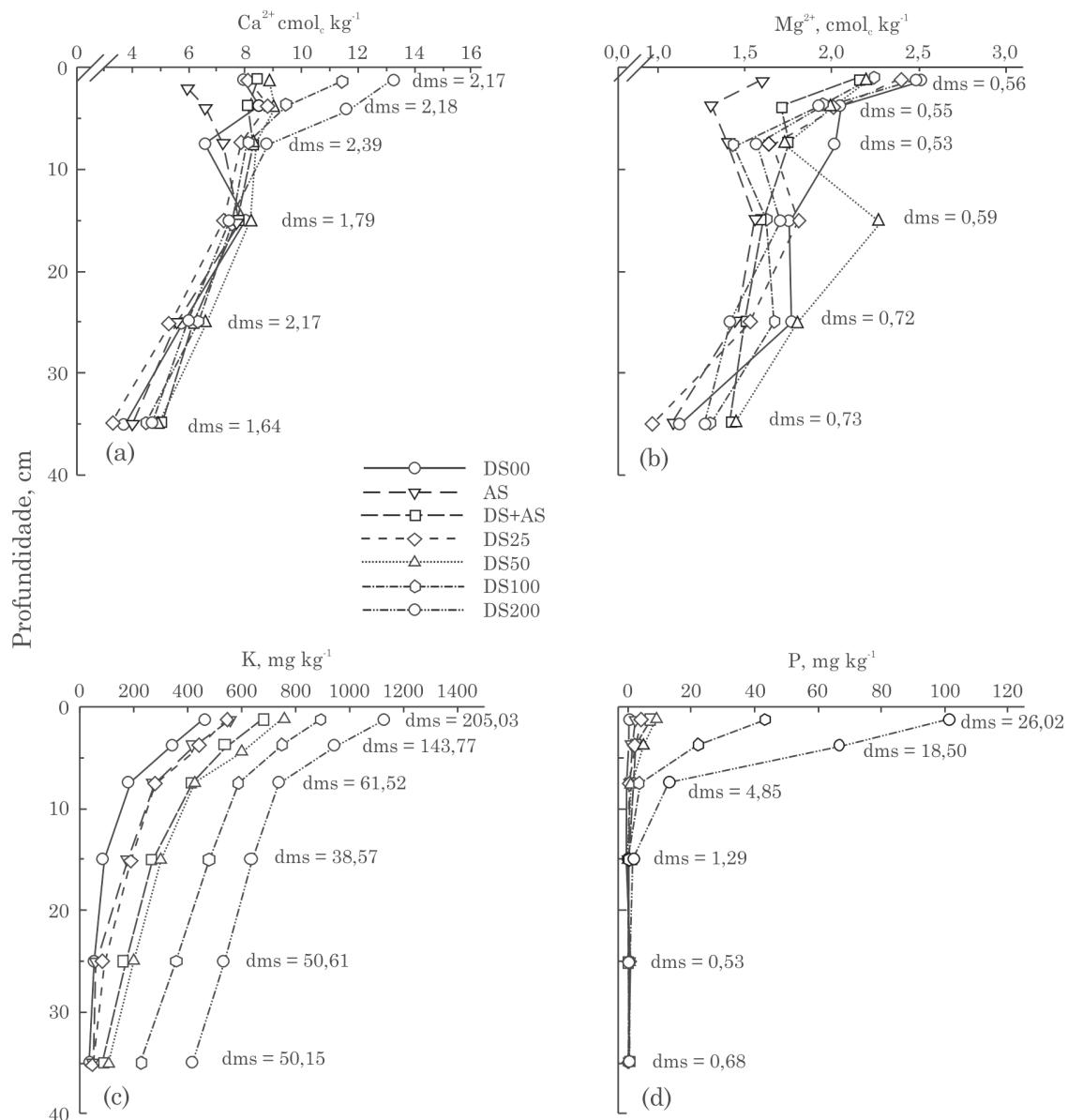
os teores foram semelhantes. Contudo, nas nove aplicações precedentes à análise do solo, enquanto no primeiro desses tratamentos não houve aplicação do nutriente, no segundo a dose total acumulada atingiu aproximadamente  $1.442 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que equivale a  $12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg na camada de referência (0-10 cm), que não foram recuperados na análise do solo. Esse resultado indica que a maior parte do Mg adicionado migrou para camadas inferiores do perfil, ou mesmo para o lençol freático, por meio do processo de lixiviação; já que o solo é bem drenado e anualmente ocorrem na região períodos de chuvas em quantidade suficiente para provocar a percolação de água no solo (Epagri/Ciram, 2012). De outro lado, o incremento tanto de Mg como de Ca adicionados com o DS certamente não foi acompanhado de aumento equivalente nas cargas negativas do solo, já que não houve aumento no pH que teria esse efeito (Ernani, 2008). Assim, a insuficiência de cargas para reter o incremento dos dois cátions significou que em sua maior parte restassem dissolvidos na solução do solo, ficando assim altamente suscetíveis à lixiviação (Ernani, 2008).

No tratamento AS, os teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  do solo das camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm foram em geral menores que nos tratamentos que não receberam esse tipo de adubo. Inicialmente esse resultado não era esperado, sobretudo no caso do Ca, pois, além da ciclagem de nutrientes pelos resíduos culturais depositados na superfície do solo (Ciotta et al., 2002), nesse tratamento ainda foram adicionados cerca de  $306 \text{ kg ha}^{-1}$  do nutriente contido no superfosfato triplo que foi empregado como fonte de P. Considerando-se que os valores totais de Ca e Mg exportados pelos grãos de milho nas safras anteriores à análise do solo nesse tratamento foram estimados em apenas 15,3 e  $66,4 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, atribuem-se os menores teores trocáveis nas duas camadas superficiais do AS principalmente às perdas pelo processo de lixiviação. Esse processo provavelmente foi favorecido pela diminuição do número de cargas negativas do solo decorrente da acidificação observada nas camadas superficiais do solo tratado com AS, como já comentado, deixando uma proporção maior de Ca e Mg em solução, onde ficaram propensos ao deslocamento em profundidade junto com a água percolada no solo. A lixiviação desses cátions provavelmente também foi favorecida pelo aumento nos teores de ânions dissolvidos na solução do solo, que favorecem o deslocamento vertical de cátions polivalentes, como o  $\text{Cl}^-$  proveniente do KCl (Ernani et al., 2007), empregado como fonte de K, e o  $\text{NO}_3^-$ , derivado da adubação nitrogenada (Crusciol et al., 2011). Além disso, os resíduos culturais de aveia-preta e nabo forrageiro que foram cultivados como cobertura do solo podem liberar compostos orgânicos que formam complexos com Ca e Mg e favorecer o seu deslocamento para camadas inferiores do solo, conforme demonstrado por Diehl et al. (2008). Registra-se ainda que os coeficientes de variação dos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e,

principalmente, de  $Mg^{2+}$  foram altos, com valores em torno de 21 e 27 %, respectivamente, sugerindo que parte das diferenças constatadas pode ter origem em outros fatores que não foram controlados pelo método experimental, a exemplo da desuniformidade na distribuição de calcário, mas que alteram os teores desses nutrientes na forma trocável.

Os teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  no solo eram altos no início do experimento (Quadro 1), segundo parâmetros de CQFS-RS/SC (2004). Isso provavelmente também contribuiu para que as mudanças provocadas pelos

tratamentos fossem proporcionalmente pequenas, tornando menos provável sua expressão como estatisticamente significativas, o que também pode explicar em parte porque o teor de  $Ca^{2+}$  aumentou apenas nas duas maiores doses do DS e nos 5 cm superficiais do solo, e porque o teor de  $Mg^{2+}$  em geral não foi alterado. Em estudo realizado em Latossolo Vermelho distroférreo por Scherer et al. (2007) também não houve modificações nos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  em diversas camadas até 110 cm de profundidade do solo após cinco aplicações anuais de doses até



**Figura 2. Teores de Ca (a) e Mg (b) trocáveis e de K (c) e P (d) extraíveis do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20 e 30-40 cm de um Latossolo Vermelho distroférreo cultivado com a sucessão aveia-milho em sistema plantio direto e adubado anualmente com dejeto suíno nas doses de 0 (DS00), 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) e 200 (DS200) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, adubo solúvel (AS) e dejeto suíno complementado com adubo solúvel (AS + DS). Aplicação inicial em outubro de 2001 e amostragem do solo em julho de 2010. O dms indica a diferença mínima significativa entre médias de tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5 %.**

115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS na adubação de milho. Entretanto, após 28 aplicações superficiais de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS em Alissolo Crômico, por um período de quatro anos, em pastagem natural, Ceretta et al. (2003) observaram aumento nos teores de Ca<sup>2+</sup>, porém restrito às camadas até 5,0 cm de profundidade. No mesmo trabalho, estes autores também observaram incremento no teor de Mg<sup>2+</sup> nas camadas até 20 cm, indicando a maior mobilidade vertical desse elemento em relação ao Ca.

O teor de K no solo em geral aumentou nos tratamentos com adubação em relação ao DS00 (Figura 2c). Além disso, nas doses superiores a 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS houve incrementos desse nutriente em todas as camadas analisadas, e os acréscimos mais expressivos ocorreram com a dose de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esses resultados refletem a maior mobilidade do K no solo em relação aos outros elementos, especialmente P, indicando estar sujeito a maiores perdas por lixiviação. Também refletem a maior adição de K em relação à retirada pelas colheitas, uma vez que os grãos de milho contêm apenas cerca de 20 % do K total acumulado na parte aérea da planta (Malavolta, 1984). Caso o milho fosse utilizado para silagem de planta inteira, esse acúmulo poderia ser menor ou até haver decréscimo dos teores trocáveis no solo. Ceretta et al. (2003), por exemplo, observaram diminuição do teor de K disponível no solo até 20 cm de profundidade de um Alissolo Crômico, mesmo com 28 aplicações de até 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos suíno, atribuindo essa diminuição à quantidade exportada pela fitomassa da pastagem e à lixiviação desse nutriente.

O DS nas doses de 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> aumentou expressivamente o teor de P extraível do solo nas camadas até 5 cm de profundidade (Figura 2d). Essa acumulação de P nas camadas superficiais deve-se principalmente às grandes quantidades de P aplicadas nesses tratamentos, que totalizaram cerca de 1.251 e 2.502 kg ha<sup>-1</sup> de P, respectivamente, o que superou em cerca de sete e 14 vezes as quantidades retiradas nas colheitas de milho, estimadas em 174 e 182 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. É sabido que o sistema de cultivo em plantio direto favorece a acumulação de P nas camadas mais superficiais do solo (Falleiro et al., 2003; Rheinheimer et al., 2008), sobretudo quando o DS é distribuído superficialmente e sem incorporação (Berwanger et al., 2008). Isso ocorre porque o P tem baixa mobilidade no solo, principalmente quando a capacidade de adsorção é alta (Novais & Smith, 1999), como ocorre no solo do atual estudo, conforme relatado por Costa (2011) no mesmo solo e por Almeida et al. (2003) em solo de características semelhantes coletado no município de Campos Novos. A expressiva acumulação de P, sobretudo nos 5 cm superficiais do solo, também foi evidenciada por Scherer et al. (2007) em estudo realizado em dois locais com Latossolo Vermelho distroférreo cultivado com milho sob PD, onde foram aplicadas doses anuais de até 115 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS em períodos de três e quatro anos. A acumulação de P na camada superficial do solo, atingindo concentração muito alta, principalmente nos primeiros

5 cm, tem se evidenciado em diversos estudos que incluíram aplicações de doses altas e repetidas de DS na superfície de solos cultivados sem aração (Barilli, 2005; Oliveira, 2007; Scherer et al., 2007; Berwanger et al., 2008; Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010; Scherer et al., 2010; Costa, 2011; Cassol et al., 2011). Isso representa uma das principais razões para evitar aplicações excessivas do DS, pois com essa acumulação aumenta substancialmente o risco do transporte do P pelo escoamento superficial de água (Gessel et al., 2004; Ceretta et al., 2005b), acarretando prejuízos pela perda e pelo potencial de eutrofização das águas superficiais devido à alta biodisponibilidade desse nutriente (Sharpley & Halvorson, 1994).

Na dose de 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, o DS também aumentou o teor de P extraível nas camadas inferiores, até 40 cm, evidenciando a transferência do elemento em profundidade quando aplicada dose excessiva e repetida anualmente, como ocorreu nesse tratamento. Girotto et al. (2006), após 14 aplicações de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS, que totalizaram 1.112 kg ha<sup>-1</sup> de P no período de cinco anos, também observaram que o incremento no P extraível do solo foi mais expressivo na camada superficial, mas ocorreu também na camada de 40-60 cm, evidenciando que houve transferência de P em profundidade. Vale lembrar que esse estudo foi realizado num Argissolo Vermelho distrófico arênico, que provavelmente possui capacidade de adsorção menor do que a do solo do atual estudo nas camadas superficiais.

O rendimento de grãos de milho (Figura 3) variou entre as safras, evidenciando influência do clima, notadamente relacionada à disponibilidade hídrica, que foi extremamente limitante na safra colhida em 2006. Contudo, nessa safra o rendimento de grãos com a dose maior do DS foi o dobro do observado no AS, o que possivelmente ocorreu devido à redução do Al<sup>3+</sup> na camada de 30-40 cm naquele tratamento (Figura 2d), que provavelmente resultou em maior crescimento de raízes em profundidade, ampliando o volume de solo explorado pelas plantas. Quando ocorreram chuvas em quantidade e distribuição no tempo satisfatórias, como na safra colhida em 2010, o maior rendimento atingiu 11,9 Mg ha<sup>-1</sup> (Figura 3a).

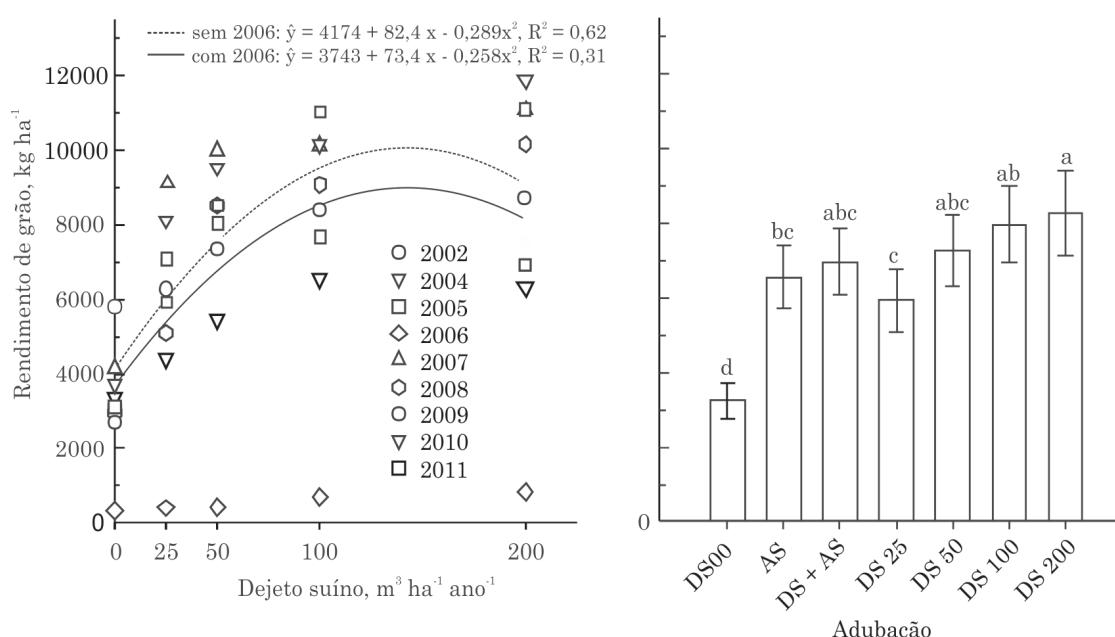
As médias dos rendimentos do milho, englobando todas as safras (Figura 3b), variaram de 3,24 a 8,27 Mg ha<sup>-1</sup> nos tratamentos DS00 e DS200, respectivamente; exceto no primeiro desses, situaram-se acima da média estadual, que é de 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2009). Isso evidencia o valor do DS como fertilizante para o cultivo de milho em Latossolo Vermelho distroférreo, pois mesmo na dose de apenas 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> o rendimento obtido foi maior do que a produtividade média da cultura em Santa Catarina. O valor do DS como fertilizante também se evidencia no rendimento de milho obtido com 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de DS, que foi semelhante ao obtido no tratamento AS.

As médias de rendimento de milho dos tratamentos DS + AS e AS foram de 6,97 e 6,55 Mg ha<sup>-1</sup>,

respectivamente, e não diferiram entre si. Entretanto, a média do DS + AS – que incluiu apenas 25 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> do DS e cerca de 40 % das doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O do tratamento AS – também não diferiu da obtida com a maior dose do DS. Isso evidencia que a combinação das duas fontes pode ser uma alternativa vantajosa de adubação, pois reduz em cerca de 60 % os custos de compra de adubos comerciais e evita os riscos de poluição associados às doses altas do DS (Seganfredo, 2007). Os rendimentos dos tratamentos que incluíram adubos solúveis podem ser considerados baixos em relação ao potencial produtivo da cultivar utilizada, indicando que o fornecimento de nutrientes pode ter sido insuficiente. Provavelmente, o N foi o elemento mais limitante, pois foram aplicados 130 e 170 kg ha<sup>-1</sup> nos seis primeiros e nos cinco últimos anos de condução do experimento, respectivamente, enquanto resultados obtidos em condições de solo e clima semelhantes às do atual estudo por Bayer & Fontoura (2009) e Sangoi et al. (2011) evidenciaram que as cultivares de milho de alto potencial produtivo respondem a doses de até 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. De outro lado, o menor rendimento no AS em relação ao tratamento DS200 também pode ter ocorrido porque nesse a cultura provavelmente foi beneficiada com maior disponibilidade hídrica decorrente da diminuição do teor de Al<sup>3+</sup> do solo na camada de 20-40 cm, o que provavelmente possibilitou maior crescimento de raízes e consequente exploração de maior volume de solo em profundidade.

O rendimento médio de grãos de milho aumentou em função da dose de DS, ajustando-se por regressão à função polinomial de segundo grau (Figura 3a), em consonância com resultados relatados por Konzen & Alvarenga (2005), Ceretta et al. (2005a), Pandolfo et al. (2010) e Scherer (2011). Já Sartor et al. (2012) observaram que a resposta de milho a doses até 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS seguiu a função polinomial de primeiro grau. Contudo, nesse caso, a dose máxima aplicada provavelmente foi insuficiente para atingir a faixa de doses correspondentes ao platô de uma função de resposta.

Foram ajustadas duas funções de respostas do milho às doses do DS (Figura 3a), sendo uma com base nos dados de todas as safras (com 2006) e outra com todas menos a de 2006 (sem 2006). Nessa, os rendimentos foram menores do que 10 % das médias obtidas nas demais safras, caracterizando uma situação extrema e atípica, o que levou à sua desconsideração na discussão que se segue. Assim, o rendimento estimado pela função de regressão aumentou de 4,17 Mg ha<sup>-1</sup> na dose zero (DS00) até o máximo de 10,05 Mg ha<sup>-1</sup> na dose de 143 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Entretanto, o rendimento estimado em 90 % do máximo, ou 9,05 Mg ha<sup>-1</sup>, foi atingido com 84 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DS. Destaca-se que acima dessa dose a eficiência do DS torna-se muito baixa, pois para ser obtido aumento de apenas 10 % no rendimento são necessários 59 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, que representam 70 % de incremento na dose. De outro lado, esse expressivo incremento na dose de DS aplicada



**Figura 3.** Rendimento anual médio de grãos de milho nas safras de 2002 e de 2004 a 2011 cultivado sob plantio direto em Latossolo Vermelho distroférrego em função de doses anuais de 0 a 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejeto suíno (a) e médias dos rendimentos obtidos em todas as safras (b) após 10 anos de adubações anuais com dejeto suíno nas doses de 0 (DS00), 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) e 200 (DS200) m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, adubo solúvel (AS) e dejeto suíno complementado com adubo solúvel (AS + DS). Colunas com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

no solo deve ser evitado, pois aumenta consideravelmente a probabilidade de acúmulo excessivo de elementos com potencial poluente, como P, Zn e Cu.

Estudos realizados por Ceretta et al. (2005a), Léis et al. (2009) e Scherer (2011) também constataram incrementos de rendimento do milho em função de doses de DS, comprovando o valor desse resíduo como adubo. Salienta-se que nesses estudos em geral também foi observado que a obtenção do rendimento máximo de grãos de milho requer aplicações de doses altas, geralmente maiores que  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , quando a cultura é adubada exclusivamente com DS.

Os custos operacionais de carregamento, transporte e distribuição do DS (Sandi et al., 2011) nas condições da propriedade onde se situou o experimento foram estimados em R\$ 4,70 por  $\text{m}^3$ . Com base nesse custo e no preço médio do milho, que no período do estudo foi estimado em R\$ 0,34 por kg (Rodrigues & Silva, 2011), a dose de maior retorno econômico da adubação feita exclusivamente com o DS foi estimada em  $119 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Com essa dose, o rendimento de milho estimado pela função de resposta chegou a  $9,89 \text{ Mg ha}^{-1}$ , o que correspondeu a 98 % do máximo.

O DS também pode ser valorizado pelos nutrientes contidos, pois possibilita a substituição de fontes solúveis e, consequentemente, dos custos da sua compra. Assim, com base nos preços de mercado praticados em Campos Novos em agosto de 2012, foram atribuídos valores de R\$ 2,62, R\$ 7,52 e R\$ 2,90 por kg de N, P e K, respectivamente. Aplicando-se esses valores aos teores médios dos três nutrientes no DS (Quadro 2) e ponderando os índices de eficiência de 0,8, 1,0 e 1,0, respectivamente (CQFS-RS/SC, 2004), somando ainda os custos operacionais, o DS foi avaliado em R\$ 27,82 por  $\text{m}^3$ . Considerando-se esse valor como custo unitário do DS e o preço de R\$ 0,49 por kg para a venda do milho, a dose para o maior retorno econômico foi estimada em  $44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DS. Nesse caso, o rendimento de milho resultou limitado em 72 % do máximo, o que provavelmente teve contribuição significativa da insuficiência de N. Essa afirmação se justifica porque, com base no teor e no índice de eficiência (CQFS-RS/SC, 2004) desse nutriente no DS, os  $44 \text{ m}^3$  correspondem a  $125 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, enquanto a cultura pode responder a doses até  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  (Bayer & Fontoura, 2009; Sangui et al., 2011). As doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  veiculadas em  $44 \text{ m}^3$  do DS correspondem a  $147$  e  $85 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente, o que, combinado aos teores de P e K extraíveis (Figura 2), torna improvável que sejam causa de limitação ao rendimento do milho. De outro lado, as características do solo e a presença dos demais nutrientes no DS também tornam improvável que algum desses possa ser causa da limitação do rendimento.

A análise da resposta do milho às doses do DS, principalmente quando considerados os aspectos

econômicos, evidencia que o uso do DS na adubação se torna mais eficiente quando complementado com a aplicação de outra fonte específica de N. Assim, os resultados do atual estudo indicam que o aproveitamento do potencial fertilizante do DS é melhor quando a dose é aplicada visando fornecer as doses recomendadas de P e K, completando-se a dose de N, até o valor recomendado, com uma fonte específica desse nutriente, como a ureia.

Vale lembrar que existem dificuldades operacionais que dificultam o controle pleno sobre a qualidade do DS (Ceretta et al., 2005a), que apresenta composição variável entre locais e épocas, conforme mostram os dados do quadro 2. Destaca-se ainda que o método densimétrico, atualmente empregado para estimativa rápida da composição do DS em campo, é relativamente impreciso e ainda não se dispõe de método alternativo eficiente. Além disso, as condições de solo, clima e manejo geralmente também variam, fazendo com que as respostas às doses de DS sejam variáveis. Contudo, a ampliação da base de dados experimentais, abrangendo condições distintas, principalmente de solo, ambiente, culturas e manejos, bem como a condução de estudos por períodos longos, certamente possibilitará a formulação de recomendações mais adequadas para o aproveitamento do DS na adubação.

## CONCLUSÕES

1. O dejeto suíno aplicado superficialmente em Latossolo Vermelho distroférico, cultivado com a sucessão aveia-milho no sistema plantio direto, em doses anuais de até  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , durante nove anos, não modifica o pH do solo, mas em doses de 100 e  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  diminui o teor de  $\text{Al}^{3+}$  na camada de 20-40 cm e aumenta acentuadamente o teor de P disponível nos primeiros 5 cm superficiais do solo. Nessas doses, o dejeto suíno em geral não altera o teor de  $\text{Mg}^{2+}$ , porém aumenta o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  na camada de 0-5 cm e o teor de K disponível em camadas até 40 cm de profundidade.

2. O dejeto suíno pode ser empregado como adubo para cultivo de milho sob plantio direto, porém a obtenção de rendimento igual ou superior a 90 % do máximo, esperado para uma cultivar de alto potencial produtivo, necessita de dose maior do que  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , que é o limite de aplicação anual admitido pela legislação ambiental do Estado de Santa Catarina.

3. Nas condições em que foi realizado o estudo e do mercado agrícola de Campos Novos, SC, em agosto de 2012, considerando-se o valor do conteúdo de N, P e K e os custos da aplicação do dejeto suíno e o preço de venda do milho, estima-se em  $44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a dose do dejeto que possibilita o maior retorno econômico quando empregado isoladamente; todavia, com essa dose o rendimento de milho fica limitado a cerca de 72 % do máximo esperado.

4. A adubação do milho com dejeto suíno complementado com adubo solúvel possibilita rendimento semelhante ao obtido com as doses de 100 e 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> do dejeto isoladamente, sugerindo-se que a aplicação desse resíduo, tanto para aspectos ambientais quanto de economia na aquisição de adubos, seja realizada com dose suficiente para suprir as necessidades de P e K, completando-se a recomendação de N com uma fonte solúvel.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Empresário Rural Celso Retore, pela concessão da área experimental e pelo apoio logístico na condução do experimento; e aos programas PROAP e DS da CAPES e ao Projeto BID-Microbacias de Santa Catarina, pelo financiamento de etapas do projeto.

## LITERATURA CITADA

- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:985-1002, 2003.
- BARILLI, J. Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2005. 75p. (Tese de Doutorado)
- BAYER, C. & FONTOURA, S.M.V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré-culturas e manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: FONTOURA, S.M.V. & BAYER, C., orgs. Manejo e fertilidade de solos em plantio direto. 2.ed. Guarapuava, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2009. p.61-89.
- BERWANGER, A.L.; CERETTA, C.A. & RHEINHEIMER, D.S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2525-2532, 2008.
- CASSOL, P.C.; VEZARO, M.A. & CASA, A.M. Teores de matéria seca, C orgânico, nutrientes e pH em estercos bovinos, suínos e aves. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1., Pelotas, 1994. Anais... Pelotas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 1994. p.62-63.
- CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P.R.; ERNANI, P.R.; KLAUBERG FILHO, O. & LUCRECIO, W. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejeto suíno e adubo solúvel. *R. Ci. Agrovet.*, 10:103-112, 2011.
- CELA, S.; BERENGUER, P.; SANTIVERI, F. & LLOVERAS, J. Potential phosphorus, potassium, and magnesium surpluses in an irrigated maize monoculture fertilized with pig slurry. *Agron. J.*, 102:96-102, 2010.
- 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. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:729-735, 2003.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; PAVINATO, P.S.; TRENTIN, E.F. & GIROTTI, 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 dejeto líquido de suínos. *Ci. Rural*, 35:287-1295, 2005a.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L. & BERWANGER, A.L. Dejeto líquido de suínos: I Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escroada na superfície do solo sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35:1296-1304, 2005b.
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTI, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.; TIECHER, T.L.; CONTI, L.; TRENTIN, G. & MIOTTO, A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45:593-602, 2010.
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- COSTA, A.C. Rendimento de milho, atributos químicos e formas de fósforo no solo após nove aplicações anuais de dejeto suíno. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2011. 85p. (Dissertação de Mestrado)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-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.
- CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A. & ROSOLEM, C.A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1975-1984, 2011.
- CHUNG, J.B. & ZASOSKI, R.J. Effect of high ammonium levels on nitrification, soil acidification, and exchangeable cation dynamics. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24:2123-2135, 1993.
- DIEHL, R.C.; MIYAZAWA, M. & TAKAHASHI, H.W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2653-2659, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA - EPAGRI/CIRAM. Monitoramento dos fenômenos climáticos e seus impactos: climatologia de chuvas. Florianópolis, 2012. Disponível em: <<http://ciram.epagri.sc.gov.br/portal/websit/index.jsp?url=jsp/monitoramento/climatChuvas.jsp>>. Acesso em 16 fev. de 2012.
- ERNANI, P.R. Química de solo e disponibilidade de nutrientes. Lages, Paulo Ernani, 2008. 230p.

- ERNANI, P.R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J.A. & CASSOL, P.C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:393-401, 2007.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A. & FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1097-1104, 2003.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1753-1761, 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.*, 33:1839-1844, 2004.
- GIROTTI, E.; CERETTA, C.A.; TRENTIN, E.E.; LOURENZI, C.R.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. & BERWANGER, A.L. Alterações em propriedades químicas no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suíno. In: FERTBIO 2006. Bonito, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2006. CD-ROM.
- 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 de 2009. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09 ago. de 2011.
- KONZEN, E.A. & ALVARENGA, R.C. Manejo e utilização de dejetos animais: Aspectos agronômicos e ambientais. Sete Lagoas, Embrapa, 2005. (Circular Técnica, 63).
- LOURENZI, C.L.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; TRENTIN, G.; GIROTTI, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L. & BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1827-1836, 2011.
- 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. *R. Bras. Agroecol.*, 4:3814-3817, 2009.
- MALAVOLTA, E. Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras. 4.ed. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. (Boletim Técnico, 4)
- MKADAM, K.M.; YONAHA, T.; ALI, V.S. & TOKUYAMA, A. Dissolved aluminum and silica release on the interaction of Okinawan subtropical red soil and seawater at different salinities: Experimental and field observations. *Geochem. J.*, 40:333-343, 2006.
- NORTON, J.M. Nitrification. In: SUMMER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 2000. p.160-181.
- NOVAIS, R.F. & SMITH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- OLIVEIRA, P.A.V., coord. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia, Embrapa - CNPSA, 1993. 188p. (Documento, 27)
- OLIVEIRA, D.L.A. Atributos químicos de Latossolo Vermelho férreo após aplicação intensiva de dejetos suíno. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 2007. 138p. (Dissertação de Mestrado)
- 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., Santa Maria, 2010. Anais... Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 2010. CD-ROM.
- RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C. & KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. *Ci. Rural*, 38:576-586, 2008.
- RODRIGUES, L.R. & SILVA, P.R.F., orgs. Indicações técnicas para o cultivo do milho e do sorgo no Rio Grande do Sul, safras 2011/2012 e 2012/2013. Ijuí, EMATER/RS & FEPAGRO, 2011.
- SANDI, A.J.; SANTOS FILHO, J.I.; MIELE, M. & MARTINS, F.M. Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos: um estudo de caso das associações de produtores nos municípios do Alto Uruguai Catarinense. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 48., Belém, 2011. Anais... Belém, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2011. CD-ROM.
- SANGOI, L.; VARGAS, V.P.; SCHIMITT, A.; PLETSCH, A.J.; VIEIRA, J.; SALDANHA, A.; SIEGA, E.; CARNIEL, J.; MENGARDA, R.T. & PICOLI JUNIOR, G.J. Disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:183-191, 2011.
- SARTOR, L.R.; ASSMANN, A.L.; ASSMANN, T.S.; BIGOLIN, P.L.; MIYAZAWA, M. & CARVALHO, P.C.F. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:661-669, 2012.
- SANTA CATARINA. A FATMA disciplina o ordenamento e a tramitação dos processos de licenciamento ambiental e dá outras providências, Portaria nº 002/03, de 09/01/2003. Florianópolis, Diário Oficial de Santa Catarina, 16 jan. 2003. p.75-80.
- SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.T. & DIAS, L.F.X. Caracterização e avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da Região Oeste Catarinense. *R. Agropec. Catarinense*, 8:35-39, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:123-131, 2007.
- SCHERER, E.E.; NESI, C.N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suíno em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1375-1383, 2010.

- SCHERER, E.E. Efeito de fontes orgânicas e mineral de nitrogênio sobre produção de milho e propriedades químicas do solo sob sistema plantio direto. R. Agropec. Catarinense, 24:71-76, 2011.
- SEGANFREDO, M.A. Uso de dejetos suínos como fertilizante e seus riscos ambientais. In: SEGANFREDO, M.A., org. Gestão ambiental na suinocultura. Brasília, Embrapa, 2007. 302p.
- SHARPLEY, A.N. & HALVORSON, D.A. The management of soil phosphorus availability and its impact on surface water quality. In: LAL, R. & STEWART, B.A., eds. Soil processes and water quality. Madison, American Society of Agronomy, 1994. p.7-89.
- SHEN, Q.R. & SHEN, Z.G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminium toxicity soil. *Biores. Technol.*, 76:235-240, 2001.
- SOUZA, C.F.; CARVALHO, C.C.S.; CAMPOS, J.A.; MATOS, A.T. & FERREIRA, W.P.M. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. *R. Ceres*, 56:128-133, 2009.
- 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.