

CAMA SOBREPOSTA E DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS COMO FONTE DE NITROGÊNIO AO MILHO⁽¹⁾

Sandro José Giacomini⁽²⁾ & Celso Aita⁽³⁾

RESUMO

Embora a maior parte dos dejetos de suínos gerados na suinocultura da região Sul do Brasil sejam manejados e armazenados na forma líquida, observa-se interesse crescente pela adoção do sistema de criação de suínos em cama sobreposta e pelo uso como fertilizante do material orgânico resultante dessa prática. Com o objetivo de avaliar a dinâmica do N no solo e o potencial fertilizante nitrogenado da cama sobreposta e dos dejetos líquidos na cultura do milho, foi realizado um experimento no período de outubro de 2002 a março de 2003, na área experimental do Departamento de Solos da UFSM/RS, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico. Os tratamentos avaliados consistiram na aplicação ou não de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos sobre a palha de aveia, com e sem incorporação ao solo. Além desses, foi avaliado um tratamento sem incorporação, no qual foi utilizado fertilizante mineral (NPK). As doses de cama sobreposta ($13,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e dejetos líquidos ($63,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) foram equivalentes à aplicação de 140 kg ha^{-1} de N total. No solo, foram avaliados, em seis datas, os teores de N mineral (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) nas camadas de 0-10, 10-30, 30-60 e 60-90 cm. No milho, foram avaliados a produção de matéria seca (MS), o acúmulo de N e a produtividade de grãos. A disponibilidade de N no solo nos tratamentos nos quais foi feita a aplicação de dejetos líquidos superou aquela observada nos tratamentos com a aplicação de cama sobreposta, indicando que o N orgânico presente na cama sobreposta apresenta baixa taxa de mineralização. A aplicação da cama sobreposta e dos dejetos líquidos de suínos promoveu maior acúmulo de MS e N na parte aérea do milho e produtividade de grãos, em relação ao tratamento testemunha. Os incrementos na produtividade de grãos de milho foram de 54 e 253 % com a aplicação da cama sobreposta e dejetos líquidos, respectivamente. A recuperação aparente do N pelo milho da cama sobreposta e dos dejetos líquidos foi de 10,9 e 22,1 %,

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em janeiro de 2006 e aprovado em setembro de 2007.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: sjgiacomini@mail.ufsm.br

⁽³⁾ Professor Associado do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: caita@mail.ufsm.br

respectivamente. Os resultados deste trabalho mostram que, embora a aplicação da cama sobreposta tenha aumentado o fornecimento de N e a produtividade de grãos de milho em relação ao tratamento sem adubação, o seu efeito imediato como fonte de N ao milho é menor que o encontrado quando é feita a aplicação de dejetos líquidos de suínos ou uréia.

Termos de indexação: dejetos de suínos, plantio direto, preparo reduzido, mineralização, nitrogênio mineral, lixiviação de nitrato.

SUMMARY: *DEEP-LITTER AND PIG SLURRY AS NITROGEN SOURCES FOR CORN*

Most of the pig manure generated in the swine production in southern Brazil is handled and stored as liquid manure, but there is a growing interest in adopting the deep-litter production system and using the resulting organic material as fertilizer. A field experiment was carried out on a typic Hapludalf in an experimental area of the Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, state of Rio Grande do Sul, from October 2002 to March 2003, to evaluate the soil N dynamics and nitrogen fertilization potential of deep-litter and pig slurry for corn production. The treatments consisted of the application or non-application of pig slurry and deep-litter manure on oat straw, with and without incorporation into the soil. One additional treatment was evaluated, in which mineral fertilizer (NPK) was applied without incorporation. The doses of deep-litter ($13,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) and pig slurry ($63,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) was equivalent to the application of $140 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$. In the soil, mineral N (N-NH_4^+ and $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) was evaluated in six dates for the layers 0–10, 10–30, 30–60, and 60–90 cm. Corn grain yield and dry matter (DM) production and total N uptake were evaluated. The soil mineral N availability in the treatments with pig slurry application was higher than in the deep-litter treatments, indicating a low mineralization rate of organic N in deep-litter. Deep-litter manure and pig slurry promoted higher corn N uptake and DM production and corn grain yield as compared to the treatment without application of organic residues. The corn grain yield increments were 54 and 253 % with the application of deep-litter manure and pig slurry, respectively. The apparent N recovery by corn of N applied via deep-litter manure and pig slurry was 10.9 and 22.1 %, respectively. Although the application of deep-litter increased N supply and corn grain yield in comparison to the treatment without fertilizer application, results indicated that the immediate supply of N for corn by pig slurry or urea application is higher.

Index terms: mineralization, mineral nitrogen, minimum tillage, nitrate leaching, no-tillage, swine manure.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a maior parte dos dejetos de suínos gerados na suinocultura são manejados e armazenados na forma líquida (Oliveira, 1999). O alto volume de material orgânico gerado nesse sistema, aliado à concentração da atividade suinícola em regiões que apresentam limitação de áreas agrícolas para uso dos dejetos líquidos, potencializa o impacto negativo da suinocultura sobre o meio ambiente. Uma das alternativas ao manejo tradicional dos dejetos de suínos na forma líquida, introduzida recentemente no Brasil, consiste na criação dos animais em sistema “Deep-litter” (cama sobreposta). Nesse sistema, os suínos podem permanecer durante todas as fases do processo criatório sobre uma cama, que pode ser de maravalha, casca de arroz, palha de cereais ou

serragem. A capacidade que estes materiais têm de absorver fezes, urina e água proporciona decomposição parcialmente aeróbica, provocando diminuição no volume de dejetos e geração de um resíduo sólido com potencial fertilizante ainda pouco conhecido (Oliveira, 1999).

Além de os resíduos sólidos, resultantes da decomposição da cama sobreposta, apresentarem maior teor de matéria seca do que os dejetos manejados na forma líquida, eles caracterizam-se pela maior proporção de N na forma orgânica. Caso a mineralização desse N orgânico ocorra de forma gradual e em sincronia com a demanda em N pelas culturas, a sua eficiência como fonte de N às plantas será maior do que aquela proporcionada pelos dejetos líquidos. Todavia, é importante considerar que os materiais orgânicos comumente utilizados para

criação dos suínos no sistema de cama sobreposta caracterizam-se pela elevada relação C/N, a qual é considerada um dos principais atributos determinantes da dinâmica do N no solo. Assim, é importante conhecer a mineralização líquida de N no solo após aplicação do composto orgânico resultante da mistura entre dejetos de suínos (baixa C/N) e materiais orgânicos empregados na cama (alta C/N). Isso porque o sincronismo entre a liberação de N da cama sobreposta e a demanda em N pelas plantas é fundamental, tanto do ponto de vista de produtividade como da redução do risco de contaminação ambiental via volatilização de amônia, lixiviação de nitrato e emissão de N_2O .

O efeito dos dejetos de suínos manejados na forma líquida sobre a dinâmica do N no solo, a produtividade e o acúmulo de nutrientes das culturas comerciais está relativamente bem documentado no Brasil, tanto no sistema convencional de preparo do solo, com incorporação dos dejetos (Scherer et al., 1998), como no sistema plantio direto (Almeida, 2000; Franchi, 2001; Basso, 2003). Já com relação à cama sobreposta, a maioria dos estudos envolve principalmente as transformações do C e do N na cama durante a criação dos suínos. Ainda são escassas as informações, tanto na literatura internacional (O'Shea, 2000; Loecke et al., 2004) como na brasileira (Arns, 2004), sobre o uso desse material orgânico como fertilizante. Nas condições do Sul do Brasil, onde o uso da cama sobreposta está sendo mais difundido e o sistema plantio direto já é prática consolidada, é necessário avaliar a dinâmica de nutrientes no solo, sobretudo do N, e o potencial fertilizante do material orgânico resultante dessa nova modalidade de criação dos animais.

Com o objetivo de avaliar a dinâmica do N no solo e o fornecimento deste nutriente ao milho pelos dejetos líquidos e pela cama sobreposta de suínos nos sistemas de preparo reduzido do solo e plantio direto, foi realizado o presente trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e solo

O experimento foi realizado no período de outubro de 2002 a março de 2003 na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, localizada a 29 ° 45' de latitude sul, longitude de 53 ° 42' W GrW e altitude de 95 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido, tipo Cfa2.

O solo da área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf) (Embrapa, 1999). No início do experimento, o solo da camada de 0–10 cm apresentou as seguintes características físicas e químicas: 150 g kg⁻¹ de argila; pH em água = 5,2; índice SMP = 6,5; 16,2 mg L⁻¹ de P; 46 mg L⁻¹

de K; 0,1 cmol_c L⁻¹ de Al³⁺; 2,5 cmol_c L⁻¹ de Ca²⁺; 0,6 cmol_c L⁻¹ de Mg²⁺; 2,3 cmol_c L⁻¹ de H + Al; 3,3 cmol_c L⁻¹ de CTC efetiva; saturação de Al = 4,5 %; saturação por bases (T) = 58 %; e 18 g kg⁻¹ de MO.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação ou não de dejetos líquidos de suínos e da cama sobreposta sobre a palha de aveia, com e sem incorporação ao solo: T1 - dejetos líquidos em superfície (DLSup); T2 - cama sobreposta em superfície (CSSup); T3 - dejetos líquidos com incorporação (DLInc); T4 - cama sobreposta com incorporação (CSInc); T5 - sem dejetos e sem incorporação (SDSup); e T6 - sem dejetos e com incorporação (SDInc). Além destes, foi avaliado um tratamento sem dejetos, sem incorporação e com fertilizante mineral (T7) (SDSupNPK).

A aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb) foi semeada em 25/5/2002 com semeadora para plantio direto, sobre os resíduos culturais do milho, tendo sido utilizada adubação de base de 10 kg ha⁻¹ de N, 18 kg ha⁻¹ de P e 24 kg ha⁻¹ de K. Por ocasião da maturação fisiológica da aveia, esta foi manejada com rolo-faca em 2/11/2002. Após o manejo da aveia, foram demarcadas as parcelas experimentais com dimensões de 5 x 4 m.

Em 3/11/2002, no intervalo compreendido entre 8 e 10 h, os dejetos foram distribuídos manualmente sobre a palha da aveia. Nos tratamentos com incorporação, os dejetos juntamente com a palha de aveia foram incorporados ao solo três horas após a sua aplicação, com auxílio de uma grade de discos, simulando-se o preparo reduzido do solo. A quantidade de dejetos aplicada foi equivalente à aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N total; para isso, foi necessário aplicar 63,6 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos e 13,2 Mg ha⁻¹ de cama sobreposta. Essas quantidades foram baseadas na análise da concentração do N total dos dejetos, efetuada anteriormente à sua aplicação no campo.

A semeadura do milho (Pioneer 30 F 33) foi realizada cinco dias após aplicação dos dejetos (8/11/2002), com semeadora para plantio direto, sem a adição de fertilizantes minerais. O espaçamento entre linhas foi de 0,9 m, perfazendo uma população final de aproximadamente 55.000 plantas ha⁻¹. O único tratamento que recebeu fertilização mineral foi o T7, no qual foram aplicados, no momento da semeadura, 30 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P e 70 kg ha⁻¹ de K. O restante do N (110 kg ha⁻¹) foi dividido em duas aplicações em cobertura de 55 kg ha⁻¹ de N, efetuadas manualmente a lanço, em toda a área das parcelas, aos 34 e 55 dias após a semeadura.

O controle de invasoras foi efetuado 15 dias após a germinação do milho, aplicando a mistura dos herbicidas nicosulfuron (40 g ha⁻¹ de i.a) e ametryne (2.000 g ha⁻¹ de i.a), por meio de um pulverizador tratorizado. Durante o ciclo da cultura, foram

realizadas irrigações suplementares por meio de pivô central. As temperaturas médias diárias e a precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do experimento estão mostradas na figura 1.

Caracterização da palha de aveia e dos dejetos de suínos

A quantidade de matéria seca (MS) adicionada pela parte aérea da aveia foi determinada em 30/10/2002, quando esta se encontrava no estágio de maturação fisiológica (158 dias após a semeadura), coletando-se, aleatoriamente, seis amostras de 0,49 m² em toda a área experimental. O material coletado foi levado à estufa, sob temperatura de 65 °C, até massa constante, pesado, moído em triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh. No material seco e moído, foram determinados os teores de N total e carbono orgânico (C) (Tedesco et al., 1995).

Os dejetos utilizados foram obtidos em dois sistemas distintos de criação de suínos. Os dejetos na forma líquida coletados em lagoa anaeróbica, tiveram como origem animais de maternidade e recria, sendo compostos de fezes, urina, sobras de alimentação e de água dos bebedouros, água das chuvas, pêlos e poeira. Os dejetos na forma sólida (cama sobreposta) foram coletados após terem sido criados cinco lotes de suínos de terminação (15 meses) sobre uma cama de maravalha e eram compostos por fezes, urina, pêlos, poeira, sobra de ração, água dos bebedouros e maravalha.

Antecedendo a aplicação dos dejetos ao solo, foi determinado nos mesmos o pH e os teores de MS, N total, N amoniacal total ($\text{N-NH}_3 + \text{N-NH}_4^+$) no material "in natura", conforme métodos utilizados por Almeida (2000). Na cama sobreposta, os teores de

N total e N amoniacal foram quantificados em 1 g de material, utilizando-se os mesmos métodos empregados para os dejetos líquidos, enquanto os teores de N nítrico ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) foram quantificados adicionando-se 0,2 g de Liga de Devarda e nova destilação, nos mesmos tubos onde foram quantificados os teores de N amoniacal (Tedesco et al., 1995). As características dos dejetos e da palha, bem como as quantidades adicionadas ao solo, estão apresentadas no quadro 1.

N mineral no solo

Os teores de N mineral no solo (N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) foram avaliados em quatro camadas do solo (0–10, 10–30, 30–60 e 60–90 cm), aos 3, 9, 21, 37, 54 e 74 dias após aplicação dos dejetos. Em cada parcela, foram retiradas 10 subamostras de solo, com auxílio de um trado calador, que foram acondicionadas em um saco plástico e passaram a constituir uma amostra única. No laboratório, e no mesmo dia da coleta, as amostras foram homogeneizadas manualmente, sendo retirada uma subamostra para extração com KCl 1 mol L⁻¹ e posterior destilação em destilador de arraste de vapores do tipo semimicro Kjeldhal (Tedesco et al., 1995).

Todos os resultados relativos ao N mineral foram expressos em relação ao solo seco a 105 °C. As quantidades de N mineral foram expressas em kg ha⁻¹, considerando-se a concentração de N mineral e a densidade do solo de cada camada.

Acúmulo de matéria seca e nitrogênio pelo milho e produtividade de grãos

O acúmulo de N pelo milho foi avaliado quando as plantas se encontravam no estágio de maturação fisiológica. Foram coletadas quatro plantas na área útil, e a produção de MS foi obtida pela secagem das plantas em estufa a 65 °C, até massa constante. O material seco foi pesado, moído em triturador de forragens, subamostrado e moído novamente em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh. No tecido vegetal do milho foram quantificados os teores de N total (Tedesco et al., 1995). Foi efetuada a separação dos diferentes componentes das plantas: grãos, sabugo e parte aérea (colmos + folhas + palha da espiga). A MS produzida e a quantidade de N acumulada na parte aérea do milho representam a soma de todos esses componentes.

A produtividade de grãos de milho foi avaliada na área útil de cada parcela (10,8 m²), corrigindo-se a massa de grãos para 13 % de teor de água.

Recuperação aparente do N aplicado

A estimativa da recuperação do N pelo milho nos tratamentos com dejetos de suínos e no tratamento com uréia foi feita a partir do acúmulo de N na maturação fisiológica. Para isso, as quantidades de

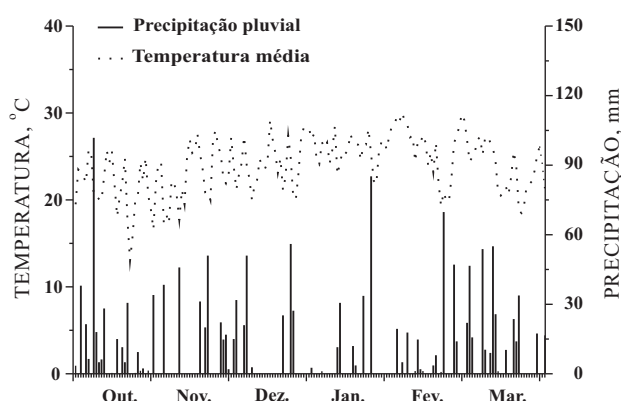


Figura 1. Temperaturas médias diárias e precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do experimento. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

N acumuladas pelo milho nesses tratamentos foram subtraídas da quantidade de N acumulada pelo milho no tratamento sem a aplicação deste nutriente. Com esse método, assumiu-se que a taxa de mineralização do N da matéria orgânica do solo não foi afetada pelo N aplicado com os dejetos e com a uréia. Portanto, o valor resultante dessa estimativa foi denominado de recuperação “aparente” do N aplicado, o qual foi determinado utilizando-se a equação proposta por Mitchell & Teel (1977):

$$RaN = \frac{[(NAPf - NAPsf)]}{Naf} \times 100$$

em que RaN é a recuperação aparente do N aplicado em %; $NAPf$, a quantidade de N acumulado no milho nos tratamentos com dejetos ou com o uso de NPK; $NAPsf$, a quantidade de N acumulado no milho no tratamento sem a aplicação de N; e Naf , a quantidade de N aplicado com os dejetos ou uréia.

Análise estatística

Os resultados relativos ao N mineral do solo da camada de 0–90 cm (soma das camadas de 0–10, 10–30, 30–60 e 60–90 cm), à produção de matéria seca, ao acúmulo de N pela parte aérea do milho, à produtividade de grãos e à recuperação aparente do N aplicado foram submetidos à análise de variância, e as médias de tratamentos, comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5 %. Para todas essas variáveis, testou-se a interação entre os fatores tipo de dejetos (líquidos e cama sobreposta) e modalidades de aplicação (superfície e incorporado). Os resultados de $N-NO_3^-$, em cada camada de solo e nas diferentes datas de coleta, foram submetidos à análise de variância, e as médias de tratamentos, comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidades de N mineral e distribuição do nitrato no perfil do solo

Com exceção da última amostragem, a quantidade de N mineral ($N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$) no solo foi maior nos tratamentos com dejetos líquidos que nos tratamentos sem dejetos (Figura 2a); a diferença atingiu o valor máximo de $41,1 \text{ kg ha}^{-1}$ aos 37 dias após aplicação dos dejetos (Figura 2b). Comparando os dois tipos de dejetos, observa-se que com a aplicação de dejetos líquidos a quantidade de N mineral na camada de 0–90 cm superou aquela dos tratamentos com cama sobreposta até a amostragem realizada aos 37 dias (Figura 2a,b). Tais resultados se devem ao fato de que os dejetos líquidos adicionaram três vezes mais $N-NH_4^+$ ao solo do que a cama sobreposta

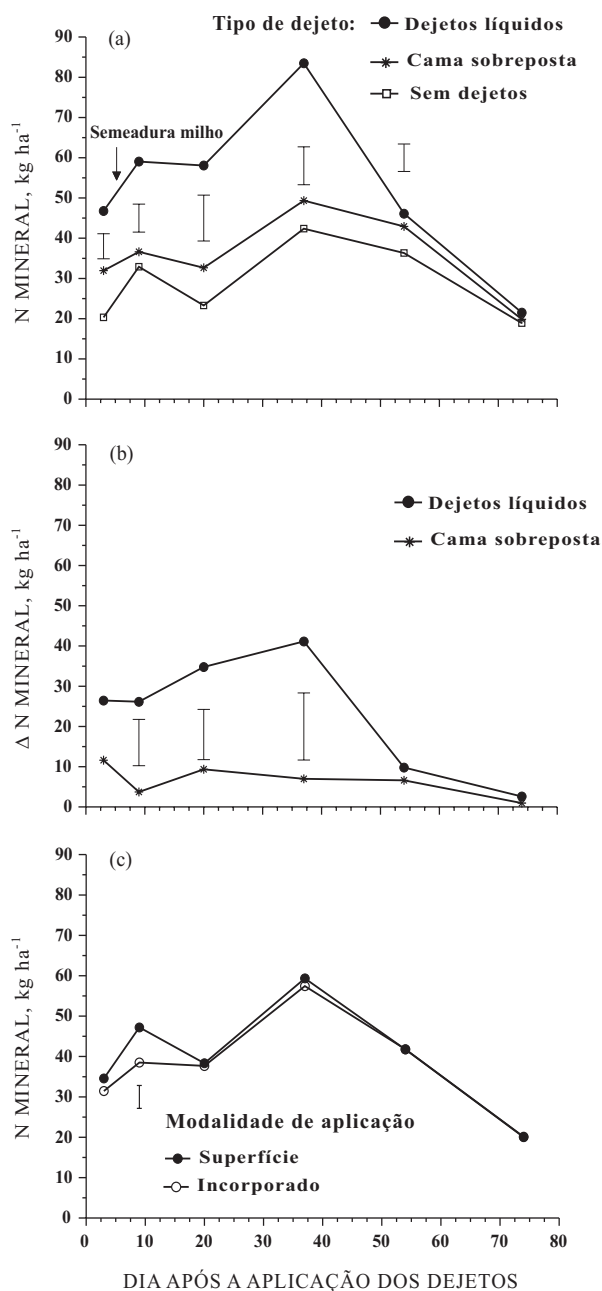


Figura 2. Quantidades de N mineral na camada de 0–90 cm do solo (soma das camadas de 0–10, 10–30, 30–60 e 60–90 cm) nos tratamentos com a aplicação ou não de dejetos de suínos na média das duas modalidades de aplicação (a), diferença (ΔN mineral) entre as quantidades de N mineral na camada de 0–90 cm do solo nos tratamentos com aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta e os tratamentos sem aplicação de dejetos (b) e quantidades de N mineral na camada de 0–90 cm do solo em cada modalidade de aplicação na média dos tratamentos com aplicação ou não de dejetos de suínos (c). Nas datas em que houve diferença significativa (Tukey a 5 %) entre as médias de cada tratamento, essas diferenças estão representadas pelas barras verticais.

(Quadro 1), evidenciando o potencial deste material orgânico no fornecimento de N às culturas logo após a sua aplicação no solo.

Nos tratamentos com cama sobreposta, onde foram aplicados $124,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N orgânico (Quadro 1), esperava-se que, com a mineralização desse N, a quantidade de N mineral aumentasse em relação ao solo sem dejetos, especialmente na fase inicial de desenvolvimento do milho. O fato desse aumento não ter sido observado (Figura 2b) pode ser atribuído à baixa taxa de mineralização do N orgânico na cama sobreposta, mesmo com a sua incorporação ao solo. Essa constatação é suportada pelos dados obtidos por Giacomini (2005) em um experimento de laboratório, onde foi verificado que, num período de 80 dias, apenas 14,5 % do N orgânico presente na cama sobreposta foi mineralizado. Além disso, os microrganismos decompositores dos compostos carbonados deste material orgânico podem ter imobilizado parte do N dos próprios dejetos e também do solo. Esse processo pode ter sido favorecido pela presença da maravalha na composição da cama sobreposta, a qual se caracteriza pela elevada relação C/N. Zibilske (1998), ao comparar a relação C/N de 13 substratos representativos para compostagem, verificou que a maravalha apresentou a maior relação C/N (225).

Da quantidade de N mineral aplicada com os dejetos líquidos ($57,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), apenas 46 % foi recuperada na camada de 0–90 cm do solo três dias após a aplicação dos dejetos (Figura 2b). Esse valor é próximo daquele encontrado por Almeida (2000) e Port (2002), cinco dias após aplicação dos dejetos líquidos sobre a palha de aveia, e é inferior ao verificado por Franchi (2001). Esse baixo índice de recuperação do N mineral aplicado com os dejetos pode ser atribuído à absorção pela palha da fração líquida dos dejetos, a qual é rica em N amoniacal, às perdas de N por volatilização de amônia, à retenção de NH_4^+ na matriz do solo e à imobilização microbiana de N na fase inicial de decomposição. Giacomini (2005),

trabalhando com dejetos líquidos de suínos em sistema plantio direto, verificou que, nas primeiras 82 h após aplicação dos dejetos, 9,8 % do N amoniacal foi perdido por volatilização. Nesse mesmo trabalho, o autor utilizou ^{15}N para enriquecer a fração amoniacal dos dejetos e constatou que, ao final de três dias, 15 % do N amoniacal foi imobilizado pela biomassa microbiana.

Na média dos tratamentos com incorporação dos dejetos ao solo, a quantidade de N mineral foi maior do que nos tratamentos sem incorporação apenas na segunda amostragem (Figura 2c). Esperava-se encontrar maior quantidade de N mineral no tratamento em que os dejetos foram incorporados ao solo, já que a prática de incorporação reduz significativamente as perdas de N por volatilização de NH_3 (Rochette et al., 2001; Giacomini, 2005), além de aumentar a taxa de mineralização do N orgânico do solo e dos próprios dejetos. Todavia, é provável que a incorporação dos dejetos na presença de palha de aveia tenha favorecido a imobilização microbiana de N, pelo fato de otimizar o contato entre o carbono da palha, o N mineral dos dejetos e os microrganismos do solo.

A quantidade de nitrato na camada de 0–10 cm do solo, na amostragem realizada a apenas três dias da aplicação dos dejetos líquidos no sistema plantio direto e no preparo reduzido, superou aquela dos tratamentos sem a aplicação de dejetos em $8,2$ e $6,1 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 3a). Esse resultado evidencia a rápida taxa de nitrificação no solo do N amoniacal aplicado com os dejetos, corroborando os resultados obtidos em outros estudos, onde os dejetos foram incorporados (Morvan et al., 1996) ou não (Almeida, 2000) ao solo. O fato de as bactérias nitrificadoras oxidarem rapidamente o N amoniacal dos dejetos pode ter consequências negativas tanto do ponto de vista do valor fertilizante como do potencial poluente dos mesmos. Isso porque o N-NO_3^- aparece precocemente no solo, quando ainda não há uma cultura com o sistema radicular suficientemente desenvolvido para

Quadro 1. Composição física e química dos dejetos líquidos, da cama sobreposta e da palha de aveia e quantidades adicionadas em cada tratamento

Resíduo orgânico	MS ⁽¹⁾	CO	N total	N amoniacal	N nítrico	N orgânico	C/N	pH
g kg ⁻¹								
Dejetos líquidos	46 ⁽²⁾	9,7	2,20	0,91	-	1,29	4,4	7,8
Cama sobreposta	477	109,7	10,6	1,12	0,04	9,44	10,3	9,1
Palha de aveia	-	425,3	10,4	-	-	-	40,9	-
kg ha ⁻¹								
Dejetos líquidos	2.925	617	140	57,9	-	82,1	-	-
Cama sobreposta	6.296	1.448	140	14,8	0,53	124,6	-	-
Palha de aveia	3.600	1.531	37	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ MS: matéria seca; CO: carbono orgânico. ⁽²⁾ Os valores de MS, CO e N referem-se à base única.

absorvê-lo, ficando suscetível a perdas por lixiviação e, ou, desnitrificação, dependendo das condições ambientais.

A variação temporal das quantidades de N-NO_3^- no solo até a profundidade de 90 cm mostra que a quantidade de N-NO_3^- no solo dos tratamentos com dejetos líquidos foi maior do que naqueles com cama sobreposta (Figura 3), o que pode ser explicado, principalmente, pela maior quantidade de N amoniacal adicionada ao solo com os dejetos líquidos. A menor taxa de mineralização do N orgânico da cama sobreposta é outra causa que deve ter contribuído para esse resultado.

Comparando as modalidades de incorporação dos dejetos líquidos, observa-se que, nas duas primeiras avaliações, a quantidade de N-NO_3^- na camada de 0–10 cm do tratamento com aplicação dos dejetos em superfície (DLSup) superou aquela do tratamento com incorporação (DLInc) (Figura 3a,b). Provavelmente, a incorporação dos dejetos juntamente com a palha tenha favorecido a imobilização de N pela população microbiana, o que diminuiu a quantidade de N amoniacal suscetível ao processo de nitrificação e, conseqüentemente, a quantidade de N-NO_3^- .

Um resultado a destacar refere-se ao rápido deslocamento no perfil do solo do nitrato produzido na

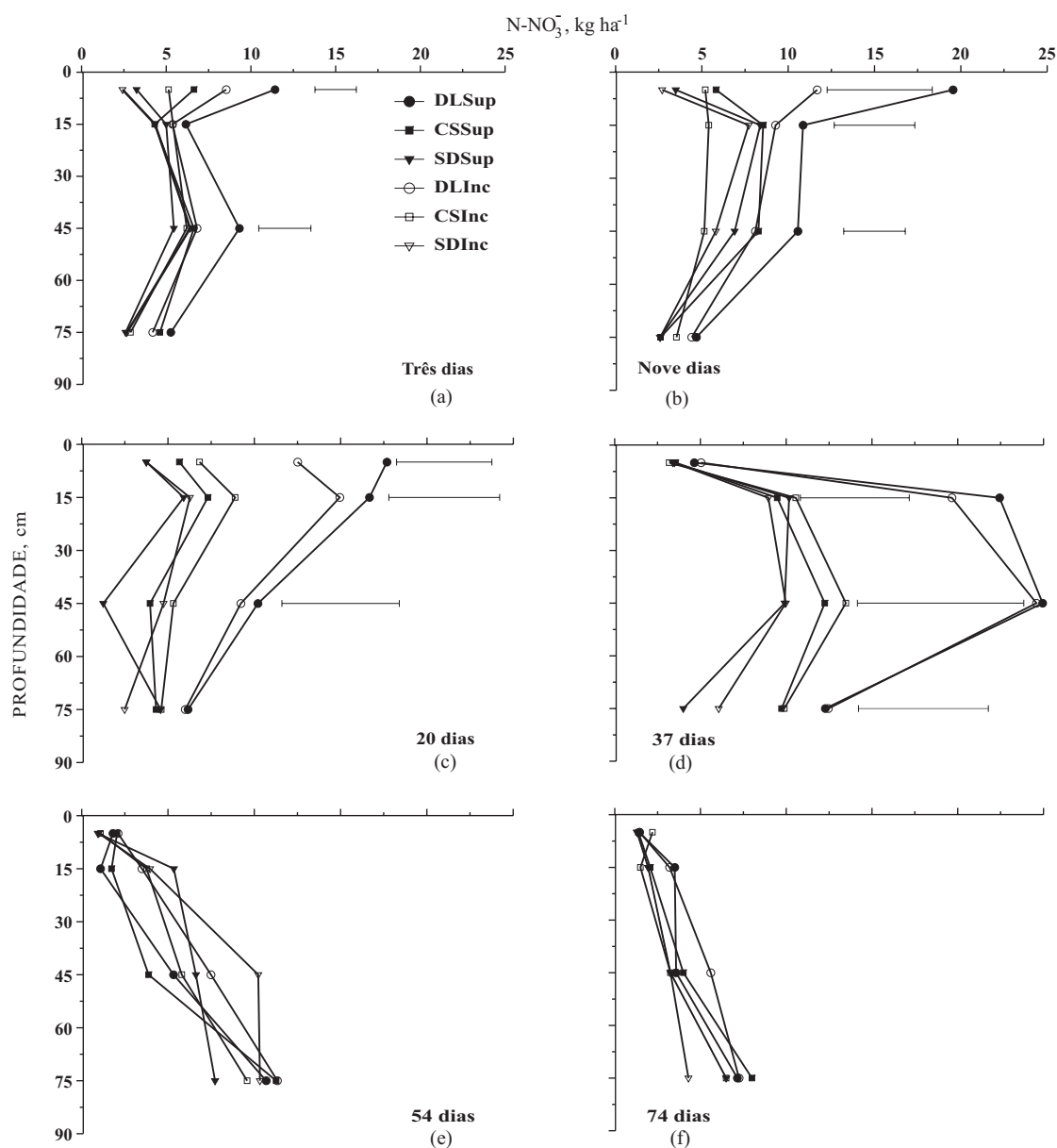


Figura 3. Quantidades de N-NO_3^- na camada de 0–90 cm do solo, aos 3, 9, 20, 37, 54 e 74 dias após aplicação ou não de dejetos de suínos (líquidos e cama sobreposta) nas duas modalidades de aplicação (superfície e incorporado) no milho. Nas datas em que houve diferença significativa (Tukey a 5 %) entre as médias de cada tratamento, essas diferenças estão representadas pelas barras horizontais.

camada superficial pela nitrificação. Observa-se que, na avaliação realizada aos 37 dias, a maior parte do NO_3^- encontrava-se nas camadas de 15–30 e 30–60 cm, não havendo diferenças entre os tratamentos DLInc e DLSup (Figura 3d). Essa migração do nitrato das camadas superficiais para as camadas mais profundas do solo é resultado da percolação da água das chuvas no perfil. No período entre as coletas realizadas aos 20 e 37 dias após a aplicação dos dejetos, a precipitação acumulada em nove chuvas foi de 177,5 mm. Como nesse período a demanda de N pela cultura do milho ainda era pequena, é provável que parte desse N possa ter sido perdida por lixiviação de NO_3^- , contribuindo para contaminação das águas subsuperficiais. Além disso, a presença de nitrato no solo, aliada à ocorrência de chuvas frequentes após aplicação dos dejetos, pode ter potencializado as perdas de N por desnitrificação.

Produtividade de grãos e N acumulado

A análise estatística dos resultados relativos à produção de matéria seca, ao acúmulo de N pela parte aérea do milho e à produtividade de grãos indicou que não houve interação entre os fatores tipos de dejetos de suínos (líquidos e cama sobreposta) e modalidades de aplicação (incorporado e superfície). Houve apenas efeito isolado desses fatores sobre essas variáveis.

Na maturação fisiológica do milho, a quantidade de N acumulada nas plantas das parcelas experimentais em que houve aplicação de cama sobreposta e dejetos líquidos, na média das duas modalidades de aplicação, superou aquela observada nas plantas que não receberam a adição de dejetos em 36 e 73 %,

respectivamente (Quadro 2). O menor acúmulo de N nas plantas que receberam a aplicação de cama sobreposta pode ser explicado pela baixa disponibilidade deste nutriente (Figura 2), evidenciando o menor efeito desse material orgânico como fonte de N ao milho, em relação ao dos dejetos líquidos. É importante destacar que a quantidade de N total adicionada com ambos os materiais orgânicos foi a mesma (Quadro 1). Portanto, a hipótese de que a mineralização gradual do N orgânico adicionado pela cama sobreposta poderia favorecer o sincronismo entre o fornecimento de N e a demanda em N da cultura do milho não se confirmou.

O efeito dos dejetos líquidos de suínos sobre o acúmulo de N no milho é relativamente bem documentado na literatura (Sutton et al., 1978; Zebarth et al., 1996; Almeida, 2000; Franchi, 2001). Ao aplicarem doses crescentes de dejetos líquidos de suínos em sistema plantio direto de milho em sucessão à aveia-preta, Almeida (2000) e Franchi (2001) encontraram aumento no teor de N pelo milho, o qual foi proporcional às doses utilizadas. No trabalho de Almeida (2000), a aplicação de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos (143 kg ha^{-1} de N total) proporcionou aumento de 45 % na quantidade de N acumulada pelo milho, na fase de pleno florescimento, em relação à testemunha, sem dejetos. Esse valor é inferior ao obtido no presente trabalho (73 %), apesar de a quantidade de N aplicada ter sido semelhante nos dois estudos. A maior resposta do milho à aplicação de dejetos líquidos neste trabalho deve estar ligada à menor disponibilidade de N no solo, comparada àquela observada no trabalho de Almeida (2000). Além disso, a magnitude de resposta da cultura do milho ao uso de dejetos de suínos pode variar

Quadro 2. Quantidades de matéria seca e nitrogênio acumulado na parte aérea de milho no estágio de maturação fisiológica e produtividade de grãos com o uso de dejetos líquidos e cama sobreposta, distribuídos na superfície ou incorporados ao solo e com adubação mineral (NPK) no sistema plantio direto

Tratamento	Matéria seca	Nitrogênio	Produtividade de grão	Recuperação aparente do N
	Mg ha^{-1}	kg ha^{-1}	Mg ha^{-1}	%
			Tipo de dejetos	
Dejetos líquidos	12,31a ⁽¹⁾	74,0a	4,57a	22,1a
Cama sobreposta	10,22b	58,1b	2,89b	10,9b
Sem dejetos	7,81c	42,7c	1,88c	-
			Modalidades de aplicação	
Superfície	9,67a	54,5b	2,52b	15,7a
Incorporado	10,56a	62,1a	3,71a	17,4a
			Dejetos comparados à adubação mineral em SPD ⁽²⁾	
Dejetos líquidos	12,13 a	71,2 b	4,12 b	22,4 b
Cama sobreposta	9,57 b	52,3 c	2,08 c	8,9 c
NPK	13,81 a	91,0 a	5,59 a	32,4 a
Sem dejetos	7,32 b	39,9 c	1,35 c	-

⁽¹⁾ As médias com mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ⁽²⁾ SPD: sistema plantio direto.

em função das condições edafoclimáticas e da composição dos dejetos, tanto relativa ao N como também aos demais nutrientes.

A incorporação dos dejetos ao solo, logo após sua aplicação, resultou em aproximadamente 14 % de aumento no acúmulo de N na parte aérea do milho, em relação à aplicação destes na superfície do solo (Quadro 2). O efeito positivo da incorporação dos resíduos orgânicos se deve, provavelmente, ao incremento na taxa de mineralização do N orgânico e também à redução das perdas de N por volatilização de amônia.

Comparando os resultados obtidos nos tratamentos com dejetos líquidos de suínos (DLSup) e cama sobreposta (CSSup) ao tratamento com adubação mineral (NPK), apenas no sistema sem mobilização do solo (Quadro 2), observa-se que com a aplicação de 140 kg de N total, via cama e dejetos líquidos, a quantidade de N acumulada pelo milho atingiu, respectivamente, 57 e 78 % do N daquela determinada nas plantas das parcelas submetidas ao tratamento com aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N uréia. Esses resultados indicam que, para as condições do experimento, o N dos materiais orgânicos não foi suficiente para atender à demanda de N do milho.

O aumento na produtividade de grãos de milho proporcionado pelos materiais orgânicos, em relação ao tratamento sem dejetos, foi de 54 % com a aplicação da cama sobreposta e de 243 % com os dejetos líquidos (Quadro 2). Esse efeito benéfico da aplicação de dejetos líquidos de suínos sobre a produtividade das culturas é observado tanto naquelas utilizadas como planta de cobertura do solo, como a aveia (Port, 2002), como em culturas comerciais, como o feijão (Scherer, 1998) e o milho (Sutton et al., 1978; Zebarth et al., 1996; Almeida, 2000). O efeito positivo da incorporação dos dejetos sobre o acúmulo de N no milho também se refletiu na produtividade de grãos, já que ela aumentou em 1,19 Mg ha⁻¹ (47 %), em relação à não-incorporação (Quadro 2).

Na ausência de preparo do solo, a produtividade de grãos de milho no tratamento com a aplicação da cama sobreposta foi de apenas 37 % daquela obtida no tratamento com aplicação de N uréia. Já no tratamento com a aplicação de dejetos líquidos, esse percentual aumentou para 74 % (Quadro 2). Esses resultados devem estar relacionados às quantidades de N mineral aplicadas com os dejetos e à taxa de mineralização do N orgânico destes. Observa-se no quadro 3 que, nos dejetos líquidos, 41,3 % do N total já estava presente como N amoniacal, contra apenas 10,2 % na cama sobreposta.

O potencial fertilizante da cama sobreposta é relativamente pouco conhecido. No Brasil, Arns (2004) verificou que a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N total com cama sobreposta (31,2 Mg ha⁻¹) na aveia-branca promoveu incremento na sua produtividade de grãos

de 43 %, em relação ao tratamento testemunha. Nos Estados Unidos, Loecke et al. (2004), ao incorporarem no solo 340 kg ha⁻¹ de N total (8,5 % de N mineral) com cama sobreposta de suínos, verificaram que a produtividade de grãos de milho aumentou em 17 %, na média de dois anos. Na Austrália, O'Shea (2000) conduziu projeto composto de diversos experimentos, procurando avaliar o valor agrônomo da cama sobreposta, aplicada à canola, trigo, cevada e ervilha do campo, no sistema de preparo convencional do solo. Após três anos de estudo, as principais conclusões do autor foram as seguintes: (a) a cama deveria ser aplicada em doses de 15 a 20 t ha⁻¹ para obter o máximo retorno econômico; (b) no ano de aplicação, a mineralização do N orgânico da cama foi baixa; (c) a casca de arroz deveria ser preferida à maravalha, em razão do menor custo de manuseio e da maior facilidade de distribuição no campo; e (d) a cama não deveria abrigar mais do que um lote de suínos, já que isso não aumenta o valor fertilizante dela, além de aumentar a emissão de odores nas pocilgas e facilitar a difusão de doenças.

Recuperação aparente do nitrogênio aplicado

A recuperação aparente pelo milho do N total aplicado com os resíduos orgânicos não foi influenciada pela modalidade de aplicação destes (Quadro 2). Houve apenas efeito do tipo de dejetos (líquido ou cama sobreposta) sobre essa variável; na média das duas modalidades de aplicação, o milho recuperou 10,9 % do N total da cama sobreposta e 22,1 % do N total dos dejetos líquidos (Quadro 2). A menor proporção de N amoniacal inicial na cama sobreposta e a provável menor taxa de mineralização do N orgânico desta justificam esse resultado.

Trabalhando com a cultura da aveia-branca, Arns (2004) estimou em 15,5 % a eficiência da cama sobreposta como fertilizante. Loecke et al. (2004), baseando-se na curva de resposta do milho à aplicação de doses crescentes de N uréia, verificaram que a cultura recuperou aproximadamente 17,5 % dos 340 kg ha⁻¹ de N total aplicados com a cama sobreposta. Em experimento realizado por O'Shea (2000), em que foram aplicados 144 kg ha⁻¹ de N total através da cama sobreposta de suínos, constituída de palha de cereal, a cevada recuperou 12 % do N aplicado. A proximidade desses valores de recuperação do N com aqueles do presente trabalho evidenciam o pequeno efeito imediato da cama sobreposta como fonte de N às culturas. Em estudos futuros, é necessário avaliar o efeito residual desse material orgânico, com ênfase no potencial de mineralização do N orgânico, como sugere O'Shea (2000).

Com relação aos dejetos líquidos de suínos, a recuperação aparente de N pelo milho é da mesma ordem de grandeza daquela encontrada por Franchi (2001). Em acordo com o observado por Franchi (2001), a recuperação do N uréia pelo milho no presente trabalho também superou aquela encontrada com a

aplicação de dejetos líquidos de suínos (Quadro 2). A menor recuperação do N dos dejetos pelo milho se deve ao fato de que parte do N contido nestes encontra-se na forma orgânica e precisa ser mineralizado para se tornar disponível ao milho. Além disso, a decomposição da fração orgânica dos dejetos pode resultar na imobilização de parte do N amoniacal aplicado, contribuindo para diminuir a recuperação do N pelo milho. Almeida (2000) aplicou 160 kg ha⁻¹ de N uréia e obteve recuperação aparente do N pelo milho de 53,6 %.

Pelas razões já mencionadas anteriormente, era de se esperar que a incorporação dos dejetos ao solo resultasse em maior recuperação pelo milho do N aplicado com os dejetos, em relação à sua aplicação em superfície. Possivelmente, as condições climáticas nos dois primeiros meses após a aplicação dos dejetos tenham potencializado as perdas de N por lixiviação e desnitrificação e, dessa forma, contribuído para menor recuperação pelo milho do N aplicado, aproximando os dois sistemas de aplicação dos dejetos. Perdas de N por escoamento superficial, sobretudo onde os dejetos foram aplicados na superfície do solo, também podem ter ocorrido, já que quatro horas após aplicação destes ocorreu uma chuva de 40 mm. Smith et al. (2001) destacam que o potencial de perdas de N por escoamento superficial após a aplicação dos dejetos é maximizado quando ocorrerem eventos pluviométricos logo após a aplicação destes no campo.

Os resultados deste trabalho mostram que, embora a aplicação da cama sobreposta tenha aumentado o fornecimento de N e a produtividade de grãos de milho em relação ao tratamento sem dejetos, o seu efeito imediato como fonte de N à cultura está muito aquém daquele encontrado com a uréia e os dejetos líquidos de suínos. Todavia, é importante destacar que o potencial de fornecimento de N às culturas pela cama sobreposta deverá variar em função do substrato que compõe a cama e do tempo que esta permanece no sistema de criação. É de se esperar que, quanto maior for esse tempo, maior será a proporção de N orgânico recalcitrante de difícil mineralização (Thomsen & Olesen, 2000). Além disso, o manejo empregado durante a criação dos suínos, como a adição de cama nova e o revolvimento desta, deve afetar as formas de N presentes inicialmente no material orgânico e, conseqüentemente, a dinâmica deste nutriente no solo após sua aplicação no campo. É importante avaliar esses aspectos em trabalhos futuros que enfoquem principalmente a mineralização do N de diferentes tipos de cama (maravalha, casca de arroz, palha de trigo) e com diferentes tempos de permanência no sistema criatório. Com isso, será possível estabelecer o potencial fertilizante nitrogenado da cama sobreposta e recomendar doses desse fertilizante orgânico às culturas comerciais, já que o Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFSRS/SC, 2004) não apresenta ainda recomendação para uso da cama sobreposta como fertilizante.

CONCLUSÕES

1. A cama sobreposta de suínos apresentou baixo potencial fertilizante nitrogenado ao milho, em relação aos dejetos líquidos de suínos.
2. A incorporação dos materiais orgânicos ao solo não resultou em maior disponibilidade de N; no entanto, promoveu maior produtividade de grãos de milho, comparado ao sistema sem incorporação.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo Fockink de Panambi-RS, por manter em comodato com o Departamento de Solos da UFSM um equipamento pivô central, que permitiu a irrigação do experimento.

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, A.C.R. Uso associado de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura de solo na cultura do milho. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 144p. (Tese de Mestrado)
- ARNS, A.P. Eficiência fertilizante da cama sobreposta de suíno. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2004. 99p. (Tese de Mestrado)
- BASSO, C.J. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 125p. (Tese de Doutorado)
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- FRANCHI, E.A.G. Dinâmica do nitrogênio no solo e produtividade de milho, aveia e ervilhaca com o uso de dejetos de suínos em sistema de plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 70p. (Tese de Mestrado)
- GIACOMINI, S.J. Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio com o uso de dejetos de suínos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 240p. (Tese de Doutorado)
- LOECKE, T.D.; LIEBMAN, M.; CAMBARDELLA, C.A. & RICHARD, T.L. Corn response to composting and time of application of solid swine manure. *Agron. J.*, 96:214-223, 2004.
- MITCHELL, W.H. & TEEL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.*, 69:569-573, 1977.

- MORVAN, T.; LETERME, P. & MARY, B. Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticales en automne par marquage isotopique ^{15}N . *Agronomie*, 16:541-552, 1996.
- O'SHEA, J. Agronomic value for broad acre crops of deep litter from pig sheds. Final Report project number BMI 13/1228, Austrália, 2000. Disponível em: <www.apl.au.com>. Acesso em: 15 mar. 2002.
- OLIVEIRA, P.A.V. Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. Rennes, Université de Rennes 1, 1999. 272p. (Thèse de Docteur)
- PORT, O. Uso de dejetos de suínos em sistema plantio direto: volatilização de amônia, N mineral no solo, fornecimento de nutrientes e produtividade de plantas de cobertura e de milho. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 132p. (Tese de Mestrado)
- ROCHETTE, P.; CHANTIGNY, M.H. ANGERS, D.A., BERTRAND, N. & COTE, D. Ammonia volatilization and soil nitrogen dynamics following fall application of pig slurry on canola crop residues. *Can. J. Soil Sci.*, 82:515-523, 2001.
- SCHERER, E.E. Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: Bases para produção dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1998. 48p. (Boletim Técnico, 99)
- SMITH, K.A.; JACKSON, D.R. & PEPPER, T.J. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen. *Environ. Poll.*, 112:41-51, 2001.
- SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; MAYROSE, V.B. & NYE, J.C. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.*, 7:325-333, 1978.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- THOMSEN, I.K. & OLESEN, J.E. C e N mineralization of composted and anaerobically stored ruminant manure in differently textured soils. *J. Agric. Sci.*, 135:151-159, 2000.
- ZEBARTH, B.J.; PAUL, J.W.; SCHMIDT, O. & McDOUGALL, R. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yield and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia. *Can. J. Soil Sci.*, 528:153-164, 1996.
- ZIBILSKA, L.M. Composting of organic wastes. In: SYLVIA, D.M.; FUHRMANN, J.J.; HARTEL, P.G. & ZUBERER, D.A. Principles and applications of soil microbiology. New Jersey, Prentice Hall, 1998. p.482-497.