

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**FONTES ORGÂNICAS E MINERAL: PRODUÇÃO DE
CULTURAS, ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO SOLO E TRANSFERÊNCIA DE
FORMAS DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO**

TESE DE DOUTORADO

Nathalia Haydee Riveros Ciancio

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**FONTES ORGÂNICAS E MINERAL: PRODUÇÃO DE
CULTURAS, ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO
SOLO E TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE NITROGÊNIO E
DE FÓSFORO**

Nathalia Haydee Riveros Ciancio

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos
Químicos e Ciclagem de Elementos da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Ciancio, Nathalia Haydee Riveros

Fontes orgânicas e mineral: produção de culturas, alteração nos atributos químicos do solo e transferência de formas de nitrogênio e de fósforo / Nathalia Haydee Riveros Ciancio.-2015.

92 f.; 30cm

Orientador: Carlos Alberto Ceretta

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015

1. Dejetos de animais 2. Adubação mineral 3. Produtividade de grãos 4. Acúmulo de nutrientes 5. Escoamento. Percolação I. Ceretta, Carlos Alberto II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Nathalia Haydee Riveros Ciancio. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: natriverosc@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

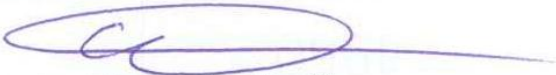
**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado**

**FONTES ORGÂNICAS E MINERAL: PRODUÇÃO DE CULTURAS,
ALTERAÇÃO NAS CAMADAS DE SOLO E TRANSFERÊNCIA DE FORMAS
DE NITROGENIO E DE FÓSFORO**

elaborada por
Nathalia Haydée Riveros Ciancio


como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA


Carlos Alberto Ceretta, Dr
(Presidente/Orientador)


Jefferson Dieckow, Dr (UFPR)


Paulo Avelar Ferreira, Dr (UFSM)


Cledimar Lourenzi, Dr (UFSC)


Claudir José Basso, Dr (UFSM)

Santa Maria, 30 de março de 2015

Aos meus pais, Ramón Riveros e Lourdes Ciancio,
pelo incentivo, apoio e amor

OFEREÇO

Ao meu esposo, Fábio Pacheco Menezes, por ter permanecido ao meu lado, me incentivando a percorrer este caminho e por estender a sua mão amiga em momentos difíceis. A nossa filha Paloma Maria Riveros Menezes, fruto do amor mais forte e verdadeiro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e possibilidade de empreender esse caminho evolutivo, por propiciar tantas oportunidades de estudos e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) e ao Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação (PEC-PG) pela oportunidade de realização do curso.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo de doutoramento no Brasil.

Ao Professor Dr. Carlos Alberto Ceretta pela valiosa orientação, importantes ensinamentos científicos, amizade e apoio nas horas difíceis. Agradeço a oportunidade que me foi dada.

Ao corpo docente e técnico do PPGCS, que sem dúvida alguma, colaboraram muito em meu crescimento profissional.

Aos colegas do Laboratório de Química e Fertilidade de Solos: pela convivência e pela amizade criada ao longo desses anos. Agradeço-os pelo convívio e conhecimento compartilhado ao longo desse período.

Aos colegas de Pós-Graduação pela amizade, conversas e parceria durante o período do curso.

Ao Dr. Paulo Ademar Avelar Ferreira e ao Dr. Cledimar Rogério Lourenzi pela fundamental ajuda, sugestões e apoio durante toda esta caminhada. Sem vocês não seria possível concluir este trabalho. “Muito Obrigada”.

Aos bolsistas de iniciação científica, pelo auxílio nos trabalhos a campo e pela ajuda em todas as análises laboratoriais.

Ao Luiz Francisco Finamor pela sua amizade, paciência e valiosos conselhos em todos os momentos que necessitei de sua ajuda.

Ao Héverton Heinz, secretário do PPGCS, pela dedicação e presteza de seu trabalho.

Aos amigos que sempre me apoiaram nesta jornada: Eunice Rodriguez, Ana Maria Stasiak, Ovídio Niederauer, Gerusa Stefen, Ricardo Steffen, Fabiane Obregon, Tercinara Rodrigues, Eleandro Grigolo, Juliana Lorensi e Enrique Benítez.

A MINHA FAMÍLIA do Paraguai, especialmente, a meus pais Ramón Riveros, Lourdes Ciancio e meu irmão Carlos Vicente e demais parentes que, mesmo estando a alguns

quilômetros de distância, se mantiveram incansáveis em suas manifestações de apoio e carinho.

A todos os meus amigos e familiares do Brasil, em especial, a minha sogra Maria Neusa Pacheco Menezes e minha cunhada Josiane Menezes, por sua amizade, respeito e carinho que me acolheram.

A todos aqueles que não foram nomeados, mas que tiveram participação em minha formação pessoal e profissional, deixo o meu muito obrigado.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

FONTES ORGÂNICAS E MINERAL: PRODUÇÃO DE CULTURAS, ALTERAÇÃO NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE NITROGÊNIO E DE FÓSFORO

Autor: Nathalia Haydee Riveros Ciancio
Orientador: Dr. Carlos Alberto Ceretta
Data: Santa Maria, 30 de março de 2015.

Os dejetos líquidos de suínos e bovinos e a cama sobreposta de suínos aplicadas em solos sob plantio direto podem servir como fonte de nutrientes às culturas agrícolas, incrementando a produção de matéria seca da parte aérea e a produtividade de grãos. Isso ocorre, pois as aplicações sucessivas em longo prazo tendem a alterar os atributos químicos do solo, tornando-o favorável para o desenvolvimento das culturas agrícolas, se manejado adequadamente. Por outro lado, essas aplicações continuadas sobre uma mesma área pode promover o acúmulo excessivo de nutrientes nos solos cultivados. Dessa forma, pode ocorrer o transporte de nutrientes, como o nitrogênio (N) e fósforo (P), para ambientes aquáticos por meio do escoamento superficial e/ou percolação, causando desequilíbrios ambientais. O presente estudo objetivou analisar a influência da aplicação continuada de fontes orgânicas e mineral de nutrientes sobre a produtividade de grãos e acúmulo de nutrientes em culturas, avaliar as alterações nos atributos químicos do solo e a transferência de nitrogênio e fósforo por escoamento superficial e percolação em um Argissolo sob sistema plantio direto. Para isso, foram desenvolvidos dois estudos: O Estudo I objetivou avaliar, a distribuição de nutrientes no perfil do solo e a produtividade das culturas de grãos e plantas de cobertura, quando submetido a aplicações sucessivas de fontes orgânicas e mineral de nutrientes. Este estudo foi desenvolvido em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico com aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS), cama sobreposta de suínos (CSS), dejetos líquidos de bovinos (DLB) e adubação mineral (NPK) antes da implantação de cada cultura da sucessão: milho/aveia preta, nos anos de 2009/2010; 2010/2011 e 2011/2012 e no ano de 2012/13 feijão preto/aveia preta. Para as culturas de milho e feijão foi avaliada a produtividade de grãos e, para todas as culturas, foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea e o acúmulo de N, P e K no tecido vegetal. Em setembro de 2012, quando completou 12 aplicações das fontes orgânicas, amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm. Determinou-se o valor de pH em água (relação 1:1), os teores disponíveis de P, Cu e Zn, teores trocáveis de K, Al, Ca e Mg e os teores de matéria orgânica do solo. Calculou-se a $CTC_{pH7,0}$, a saturação por Al, a saturação por bases e a acidez potencial (H+Al). O estudo II visou avaliar as transferências de formas de N e P pela solução escoada e percolada na mesma área submetida às aplicações sucessivas de fontes orgânica e mineral de nutrientes manejado sob sistema plantio direto. Nesse experimento foram coletadas amostras de solução escoada e percolada e determinado os teores de N-mineral, P-solúvel, P-particulado e P-total. Os resultados demonstram que a CSS proporcionou incremento, tanto na produtividade de grãos quanto de matéria seca, acúmulo e recuperação aparente de N, P e K das culturas. As maiores produções de matéria seca das espécies cultivadas e as aplicações das diferentes fontes orgânicas de nutrientes promoveram incremento nos teores da matéria orgânica do solo ao mesmo tempo que permitiu um aumento no pH do solo. Além disso, proporcionou o incremento em atributos importantes do solo, tais como: nos teores P, K, Ca e Mg disponíveis no solo, em relação ao uso da adubação mineral tradicional. Os dados mostraram que as aplicações sucessivas proporcionam maior transferência de N-mineral, por escoamento superficial e percolação no solo submetido à aplicação de DLS e CSS. As maiores transferências de P foram observadas nos tratamentos com aplicação de DLS, DLB e CSS na solução escoada e percolada. Portanto, é imprescindível o monitoramento constante das quantidades de fontes orgânicas e mineral adicionadas nas lavouras, assim como, das perdas de N e P ocasionadas pela aplicação em excesso e/ou na mesma área, já que esses parâmetros são relevantes quando se almeja produtividade e sustentabilidade dos agroecossistemas.

Palavras-chave: Dejetos de animais. Adubação mineral. Produtividade de grãos. Acúmulo de nutrientes. Escoamento. Percolação.

ABSTRACT

Doctor Science Thesis
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

ORGANIC AND MINERAL SOURCES: CROP PRODUCTION, CHEMICAL CHANGE IN THE ATTRIBUTES OF SOIL AND FORMS OF TRANSFER OF NITROGEN AND MATCH

Author: Nathalia Haydee Riveros Ciancio
Advisor: Dr. Carlos Alberto Ceretta
Date: Santa Maria, march 2015.

The pig slurry, pig deep-litter and cattle slurry applied in soils under no-tillage can serve as a source of nutrients for crops, increasing the production of dry matter of shoots and grain production. This is because, successive applications in the long term tend to change the soil chemical properties making it favorable for the development of agricultural crops, if handled properly. Moreover, these applications continued on the same area can promote the accumulation of nutrients in cultivated soils. Thus, there may be the transport of nutrients such as nitrogen (N) and phosphorus (P) to aquatic environments through runoff and or percolation, causing environmental imbalances. This aim of this study was to analyze the influence of continuous application of organic and mineral nutrient sources on grain yield and nutrient accumulation in crops and evaluate the changes in soil chemical properties and the transfer of nitrogen and phosphorus runoff and percolation under no-tillage. For this, two studies were developed: Study I aimed to evaluate, in the long term, the distribution of nutrients in the soil profile and the productivity of grain crops and ground cover plants when subjected to successive applications of organic and mineral sources nutrients. This study was conducted in a Typic Hapludalf with pig slurry applications (PS), cattle slurry (CS), pig deep-litter (PL) and mineral fertilizers (NPK) before the implementation of each of the succession culture: corn/oats in the years 2009/2010; 2010/2011 and 2011/2012 and in the year 2012/13 black oat /black beans. The study II aimed to evaluate transfers of forms of N and P by the drained solution and percolated in the same area subjected to successive applications of organic and mineral nutrient sources managed under no-tillage. In this experiment, samples were collected drained and leached solution and determined the total N, P-soluble P-particulate and P-total. The results obtained demonstrate that the CSS provided increment, both in the production of grain and dry matter accumulation and apparent recovery of N, P and K of cultures. The highest dry matter production of cultivated species and applications of different organic sources of nutrients promoted increase in levels of soil organic matter while allowing an increase in soil pH. Also provided the increase in important soil properties, such as the P, K, Ca and Mg available in the soil, in relation to the use of traditional mineral fertilization. The data showed that successive applications provide greater total-N transfer, surface runoff and percolation in the soil under the application of DLS and CSS. The largest transfers of P were observed in treatments with application of DLS, DLB and CSS in drained and leached solution. Therefore, it is essential to constantly monitor the quantities of organic and mineral sources added in crops, as well as the losses of N and P incurred pursuant to excess and / or in the same area, as these parameters are relevant when it aims to productivity and sustainability of agro-ecosystems.

Keywords: Animal manure. Mineral fertilizer. Grain yield. Nutrient uptake. Runoff. percolation

LISTA DE TABELAS

ESTUDO I

- Tabela 1** Características das diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura, durante a condução do experimento.....27
- Tabela 2** Valores de pH em água, H+Al e saturação por Al% em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes 31
- Tabela 3** Valores de saturação por bases e teores de Ca e Mg trocáveis em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes..... 34
- Tabela 4** Teores de matéria orgânica do solo, P disponível e valores de CTCpH7,0 em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes 37
- Tabela 5** Teores de K trocável extraído por Mehlich 1 e valores de Cu e Zn em camadas de solo submetido a aplicações de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes 40
- Tabela 6** Produção de matéria seca e quantidade acumulada de N, P e K no tecido das culturas submetidas à aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes45

ESTUDO II

- Tabela 1** Características das diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura, durante a condução do experimento..... 60
- Tabela 2** Precipitação total e transferência de solução, N-mineral, P-solúvel, P-particulado e P-total por escoamento superficial nos cultivos de aveia preta, milho e feijão preto, em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes..64
- Tabela 3** Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as quantidades de P aplicadas, teores de P-disponível na camada 0-10 cm do solo, quantidades de solução e de P-solúvel, P-particulado e P-total transferidos por escoamento superficial e percolação em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.....67
- Tabela 4** Características químicas do solo na camada de 0-10 cm após 12 aplicações de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.....68
- Tabela 5.** Precipitação total e transferência de solução, N-mineral, P-solúvel, P-particulado e P-total por percolação nos cultivos de aveia preta, milho e feijão preto, em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes..71

LISTA DE FIGURAS

ESTUDO I

Figura 1 Produtividade de grãos das culturas de feijão e milho submetidos à adubação orgânica e mineral. Letras iguais indicam médias de um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade de erro43

Figura 2 Análise dos componentes principais (ACP) - matéria seca da parte aérea (MSPA), produtividade (Prod.), teor de N na parte aérea (NPA), teor de P na parte aérea (PPA), teor de K na parte aérea (KPA), pH em H₂O, Ca, Mg, K, P, Cu, Zn e Al no solo, saturação por alumínio, saturação de bases, CTC efetiva (CTC_{ef}), CTC_{pH7.0}, acidez potencial (H+Al) no solo com a aplicação das diferentes fontes de nutriente47

ESTUDO II

Figura 1 Imagem da calha (esquerda) e calha ligada ao galão para armazenagem da solução escoada superficialmente (direita).....61

Figura 2 Desenho do lisímetro (a) e esquema da instalação dos lisímetros (b) para coleta da solução do solo61

Figura 3 Valores médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante oito períodos agrícolas66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1 Referências Bibliográficas	17
2 HIPÓTESES	19
3 OBJETIVO GERAL	20
3.1 Objetivos específicos	20
4 ESTUDO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEIJOEIRO COM APLICAÇÕES DE FONTES DE NUTRIENTES.	21
4.1 Resumo	21
4.2 Summary	22
4.3 Introdução	22
4.4 Material e Métodos	24
4.4.1 Caracterização da área experimental e das fontes orgânicas aplicadas em cada cultura	24
4.4.2 Análises químicas do solo	27
4.4.3 Produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes.....	28
4.4.4 Análise estatística	29
4.5 Resultados e Discussão	30
4.5.1 Atributos químicos do solo.....	30
4.5.2 Produtividade de grãos, de matéria seca e acúmulo de nutrientes em milho e feijoeiro .	42
4.5.3 Recuperação aparente de N, P e K pelas plantas.....	44
4.5.4 ACP	46
4.6 Conclusões	47
4.7 Agradecimentos	47
4.8 Literatura Citada	47
5 ESTUDO II - FORMAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA SOLUÇÃO ESCOADA E PERCOLADA EM ARGISSOLO COM APLICAÇÕES DE FONTES ORGÂNICA E MINERAL DE NUTRIENTES	54
5.1 Resumo	54
5.2 Summary	55
5.3 Introdução	55
5.4 Material e Métodos	57
5.4.1 Caracterização da área experimental	57
5.4.2 Caracterização dos dejetos aplicados durante a condução do experimento.	58
5.4.3 Coleta e análise da solução escoada e percolada.....	60
5.5 Análise estatística	62
5.6 Resultados e Discussão	62
5.6.1 Transferência de solução por escoamento superficial	62
5.6.2 Transferências de N mineral na solução escoada.	64
5.6.3 Transferências de formas de fósforo na solução escoada.....	67
5.6.4 Transferências de solução por percolação	69
5.6.5 Transferências de N mineral na solução percolada.	71

5.6.6 Transferência de P pela solução percolada.....	73
5.7 Conclusões	74
5.8 Agradecimentos	74
5.9 Literatura Citada.....	74
6 DISCUSSÃO GERAL	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXO.....	89
ANEXO A. Instruções aos autores da Revista Brasileira de Ciência do Solo.....	89

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bovinocultura e a suinocultura possuem grande destaque dentre as atividades agropecuárias desenvolvidas no Brasil. Juntas são responsáveis pela geração de renda e emprego, principalmente nas pequenas e médias propriedades do sul do país (BASSO et al. 2005a; CERETTA et al. 2005a; LOURENZI et al. 2014a; PANDOLFO et al. 2008). No entanto, se por um lado favorecem o crescimento econômico, por outro, podem representar risco de agravamento dos problemas ambientais devido ao uso dos dejetos de animais como fonte de nutrientes na agricultura.

O confinamento intensivo de bovinos, suínos e aves caracterizou-se a partir da segunda metade do século XX (MOLENTO, 2005) visando o aumento da produção em espaços reduzidos. Isso ocorreu especialmente com a suinocultura e, em parte, com a bovinocultura de leite. Devido à utilização de grandes quantidades de água para higienização das instalações, este manejo promoveu aumentos significativos no volume de dejetos líquidos produzidos. Nos primórdios do sistema de confinamento não havia um manejo específico para o armazenamento e valorização dos dejetos de animais (OLIVEIRA, 1993), fato este que gerou diversas polêmicas socioambientais. Por exigências legais e pela forte pressão de ambientalistas iniciaram-se estudos para reduzir os volumes de dejetos líquidos produzidos. Entre as alternativas, foram utilizados materiais como a maravalha, casca de arroz e resíduos de culturas para cobrir o leito de criação dos animais. Essa prática gerou resíduos sólidos que, no caso dos suínos, é conhecido como cama sobreposta de suíno (COSTA et al., 2006), a qual periodicamente deve ser descartada e ter destinação final adequada (FEPAM, 2004).

Os dejetos gerados, são compostos pela urina, fezes, restos alimentares e a água de lavagens das instalações, possuindo grandes quantidades de nutrientes em sua composição química e, por isso, tornam-se uma alternativa viável técnica e economicamente para serem aplicados como fonte de nutrientes em culturas anuais e/ou pastagens (BASSO et al. 2005a; GIACOMINI; AITA, 2008; PANDOLFO et al., 2008). Entretanto, um dos grandes problemas enfrentados pela atividade agropecuária, no que diz respeito a geração de resíduos, é a baixa disponibilidade de áreas para as aplicações dos dejetos de animais, uma vez que as propriedades suinícolas e/ou leiteiras apresentam, normalmente, pequenas áreas agricultáveis. Essa situação acaba por conduzir a aplicações sucessivas de dejetos em um mesmo local, desconsiderando as doses e recomendações técnicas para o emprego destas fontes orgânicas de nutrientes (CQFS-RS/SC, 2004). Nesta ótica, esses insumos passam a ser vistos

negativamente dentro da unidade de produção, pois sua aplicação ocorre de maneira irracional e sem atender as recomendações técnicas.

Dentro deste contexto várias instituições de pesquisas e universidades vem estudando o uso racional dos dejetos animais. Assim, a presente Tese resulta dos desmembramentos de uma linha de pesquisa iniciada no ano de 1996 no município de Paraíso do Sul (RS), onde foram conduzidos estudos voltados à produção de plantas forrageiras utilizando-se dejetos líquidos de suínos como fertilizante orgânico. Na etapa inicial, o foco dos trabalhos estavam voltados ao entendimento e racionalização do uso dos dejetos de animais. Como resultados alcançados obteve-se que as plantas não eram hábeis em absorver todo o nutriente aplicado via dejetos líquidos de suínos e, com isso, ocorriam acúmulos e perdas de alguns nutrientes no solo, fato este que norteou os estudos seguintes nesta linha de pesquisa.

No ano de 2000 foi instalado um experimento no campus da Universidade Federal de Santa Maria afim de avaliar as transferências de nutrientes por meio da coleta de soluções escoadas e percoladas em solo sob aplicação de dejetos líquidos de suíno. Após 8 anos de estudos nesta área experimental, as pesquisas foram encerradas nesse local, pois a área foi cedida para a construção de novos prédios previstos no projeto de expansão da Universidade Federal de Santa Maria. Nesta etapa, foram gerados teses e dissertações, além de trabalhos publicados em periódicos e eventos (Ceretta et al., 2005a, b; Basso et al., 2005).

Como demanda futura esses trabalhos mostraram a necessidade de maiores esforços para entender a dinâmica do nitrogênio e fósforo no solo e na solução escoada e lixiviada. Basso et al. (2004) estudando as transferências de nitrogênio por volatilização, encontraram perdas da ordem de 30% em relação as quantidades aplicadas de N mineral. Os dados de Berwanger et al. (2008) mostraram que após quatro anos e meio de aplicação de dejetos líquidos de suíno aumentou o fósforo extraído por Mehlich-1 em todas as profundidades de solo. Nesse mesmo trabalho também encontrou-se que as maiores transferências de fósforo ocorreram por escoamento superficial apesar de ocorrer transferências por percolação no perfil de solo. A análise da aplicação em longo prazo demonstrou que doses de 20 a 40 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos geravam melhores resultados na nutrição de plantas, entretanto, após sucessivas aplicações a menor dose também era capaz de aumentar essa eficiência devido ao efeito residual de aplicações anteriores. Esse fato chamou a atenção dos pesquisadores e alavancou novos estudos voltados ao entendimento das alterações provocadas no solo decorrentes de aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos.

Lourenzi et al. (2011) avaliando as alterações nos atributos químicos do solo obtiveram aumento nos valores de pH do solo após sucessivas aplicações de dejetos líquidos de

suínos podendo o incremento atingir a profundidade de 8 cm, sem alteração nos valores de acidez potencial. Verificaram também o acúmulo de cálcio e magnésio trocáveis e de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo, o que aumentou a saturação por bases e diminuiu a saturação por alumínio. Em 2013 esse mesmo autor relatou aumento no teor de nitrogênio e fósforo-total no solo até a profundidade de 30 cm, enquanto que os teores de fósforo disponível e potássio trocável aumentaram até a profundidade 60 cm, após 100 meses de aplicação de dejetos líquidos de suínos. Os resultados de Giroto et al. (2013) mostraram relação positiva dos elementos percolados com o volume de solução lixiviada ao longo dos anos. Em outro trabalho, esse autor determinou o acúmulo de cobre e zinco nesse solo com aplicação de dejetos líquidos de suíno, destacando que a maior parte destes metais são acumulados em formas biodisponíveis.

Após alcançar esses resultados os trabalhos de pesquisa foram encerrados nesta área, fato esse que gerou a busca por um novo local para implantação e continuidade dos experimentos. Aliado a necessidade de continuidade dos estudos, um novo paradigma passou a fortalecer as discussões dentro da linha de pesquisa:

“a utilização de outras fontes de dejetos de animais na agricultura, já que o sul do Brasil apresenta considerável rebanho de aves, bovinos e suínos ”

Na nova área, estudos começaram a ser conduzidos com aplicações de dejetos líquidos de suínos, dejetos líquidos de bovinos e cama sobreposta de suínos, além da aplicação de uma fonte mineral como tratamento. Isso diferenciou a nova proposta das anteriores, pois abordou a adubação orgânica com diferentes fontes, além de determinar a necessidade cultural em função da quantidade de N a ser aplicada e não em função de doses fixas, como vinha sendo feito nos experimentos anteriores.

A proposta do presente estudo enquadra-se na linha temática de uso de fontes orgânicas à nutrição de plantas e seu potencial contaminante no ambiente. A justificativa para isso está no fato do estudo de como as fontes orgânicas podem retornar ao solo, como uma forma de ciclagem e fonte de nutrientes, possibilitando assim incrementar a produção de alimentos e reduzir os custos (principalmente quando os dejetos estão disponíveis na propriedade). Da mesma forma, torna-se necessário reduzir os riscos de poluição ambiental pela transferência de elementos do solo para os mananciais de água. Diante do exposto, a presente tese objetivou avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo após nove anos e meio de cultivo e 12 aplicações dejetos líquidos de suíno, cama sobreposta de suíno, dejetos líquidos de bovino e adubação mineral, e como essas alterações influenciam na produtividade de grãos, acúmulo de nutrientes em culturas. Também foi monitorado durante

todo o ano a qualidade da solução escoada superficialmente e a solução percolada com o objetivo de identificar as principais transferências de formas de nitrogênio e fósforo por escoamento superficial e percolação sob sistema plantio direto.

1.1 Referências Bibliográficas

BASSO, C. J. et al. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 35, p. 1305-1312, 2005.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2525-2532, 2008.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I-perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência Rural*, v. 35, p. 1296-1304, 2005a.

CERETTA, C. A. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. *Ciência Rural*, v. 35, p. 1287-1295, 2005b.

COSTA, O. D. et al. Sistema alternativo de criação de suínos em cama sobreposta para a Agricultura Familiar. EMBRAPA, Comunicado Técnico 419. Concórdia, 2006, 7p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER-RS – FEPAM. Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura. FEPAM: Norma técnica, de 06/04/2004. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em: 18 dezembro de 2014.

GIACOMINI, S.J. & AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:195-205, 2008.

GIROTTI, E. et al. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 95, p. 115-131, 2013.

LOURENZI, C. R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R. et al. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 157-167, 2013.

MOLENTO, C.F.M. Bem-Estar e Produção Animal: Aspectos Econômicos - Revisão. *Archives of Veterinary Science*, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2005.

OLIVEIRA, P. A. V. Manual de Manejo e Utilização de Dejetos de Suínos. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188 p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).

PANDOLFO, C.M. et al. Análise ambiental do uso de fontes de nutrientes associadas a sistemas de manejo do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Campina Grande, PB, v.12, n.5, p.553-550, 2008.

2 HIPÓTESES

- Aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suíno, cama sobreposta de suíno, dejetos líquidos de bovino e adubação mineral promovem acúmulo de nutrientes na superfície do solo influenciados pela sua composição, pelas condições edafoclimáticas causando assim a migração de nutrientes no perfil do solo, aumentando desta maneira a disponibilidade de nutrientes para as plantas;
- Fontes de nutrientes oriundas de dejetos líquidos de suínos, cama sobreposta de suíno, dejetos líquidos de bovino e adubação mineral aplicadas em diversas culturas promovem diferentes respostas quanto à produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas;
- As transferências de formas de P por escoamento superficial e percolação são influenciadas, principalmente, pelas quantidades de P aplicadas via dejetos líquidos de suíno, cama sobreposta de suíno, dejetos líquidos de bovino e adubação mineral

3 OBJETIVO GERAL

Avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo após nove anos e meio de cultivo e 12 aplicações de dejetos líquidos de suíno, cama sobreposta de suíno, dejetos líquidos de bovino e adubação mineral, e como essas alterações influenciam na produtividade de grãos, acúmulo de nutrientes em culturas, e na transferência de formas de nitrogênio e fósforo por escoamento superficial e percolação sob sistema plantio direto.

3.1 Objetivos específicos

- Avaliar a distribuição de nutrientes no perfil de solo após sucessivas aplicações de fontes orgânica e mineral de nutrientes sob sistema plantio direto.
- Avaliar o incremento da produtividade de grãos, produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em culturas de grãos e em plantas de cobertura do solo submetidas a aplicações de fontes orgânica e mineral de nutrientes;
- Identificar as principais formas de nitrogênio e fósforo transferidos via escoamento superficial e percolação no perfil de um Argissolo Vermelho quando aplicadas fontes orgânica e mineral de nutrientes de forma continuada.

4 ESTUDO I - ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO E FEJJOEIRO COM APLICAÇÕES DE FONTES DE NUTRIENTES¹.

4.1 Resumo

Os dejetos líquidos de suínos e bovinos e a cama sobreposta de suínos aplicadas em solos sob plantio direto podem servir como fonte de nutrientes às culturas agrícolas, incrementando a produtividade de grãos e a matéria seca da parte aérea. No entanto, aplicações sucessivas em longo prazo tendem alterar os atributos químicos do solo tornando-o favorável para o desenvolvimento das culturas agrícolas, se manejado adequadamente. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em longo prazo, a distribuição de nutrientes no perfil de solo e a produtividade das culturas de grãos e plantas de cobertura do solo, quando submetidas a aplicações sucessivas de fontes orgânicas e mineral de nutrientes. O experimento vem sendo conduzido desde o ano de 2004 em área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico. As informações deste trabalho correspondem ao período até outubro de 2013, sendo que no ano de 2009 a 2012 foi utilizado o cultivo de aveia preta e milho, e no ano de 2012 a 2013 aveia preta e feijão preto. Os tratamentos foram utilizados dejetos líquidos de suínos (DLS), cama sobreposta de suínos (CSS), dejetos líquidos de bovinos (DLB), adubação mineral (NPK) e um tratamento sem aplicação de nutrientes, sendo que a quantidade aplicada destas fontes foi determinada pela quantidade recomendada de N para cada cultura, conforme recomendações oficiais para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004). Foi avaliada a produtividade de grãos, nas culturas de milho e feijoeiro e, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes nas culturas de milho, feijoeiro e aveia preta. Em setembro de 2012, quando completou 12 aplicações das fontes orgânicas, amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm. Determinou-se o valor de pH em água (relação 1:1), os teores disponíveis de P, Cu e Zn, teores trocáveis de K, Al, Ca e Mg e os teores de matéria orgânica do solo. Calculou-se a CTC_{pH7,0}, a saturação por Al, a saturação por bases e a acidez potencial (H+Al). O fato de utilizar fontes orgânicas, por maiores períodos de tempo, ao mesmo tempo em que permite um aumento no pH do solo, podendo tornar não necessária a calagem, também proporciona incrementos em atributos importantes do solo como matéria orgânica, P, K, Ca e Mg disponíveis no solo, em relação ao uso da adubação mineral tradicional. Em relação ao dejetos líquidos de bovinos e de suínos, se destacou a cama sobreposta de suínos pelo incremento tanto na produção de grãos, quanto de matéria seca, acúmulo e recuperação aparente de N, P e K das culturas.

Termos para indexação: dejetos de animais; acúmulo de nutrientes, comparação fontes orgânicas.

¹ Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (Anexo A).

4.2 Summary

ATTRIBUTES OF CHEMICAL SOIL AND CORN YIELD AND BEAN WITH NUTRIENT SOURCES OF APPLICATIONS.

The pig slurry, pig deep-litter and cattle slurry applied in soils under no-tillage can serve as a source of nutrients for crops, increasing grain yield and dry matter of shoots. However, successive applications in the long term tend to change the soil chemical properties making it favorable for the development of agricultural crops, if handled properly. The aim of this work was to evaluate the long term, the distribution of nutrients in the soil profile and the productivity of grain crops and ground cover plants when subjected to successive applications of organic and mineral nutrient sources. The experiment has been conducted since 2004 in the experimental area of the Federal University of Santa Maria, in a Typic Hapludalf. The information in this paper correspond to the period up to October 2013 and the cultivation of corn and black oat in the year 2009-2012 and oats and black beans, in the year 2012 to 2013 were used pig slurry (PS) pig deep-litter (PL), cattle slurry (CS), chemical fertilizers (NPK) and without application of nutrients treatment. The applied amount of these sources was determined by the recommended amount of N to every culture as official recommendations for the states of RS and SC (CQFS-RS / SC (2004). The grain yield was evaluated in corn and beans, and dry matter production and nutrient accumulation in maize, beans and oats. In September 2012, when he completed 12 applications from organic sources, soil samples were collected in the layers 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14- . 16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 and 50-60 cm was determined the pH value in water (ratio 1: 1) , plant availability of P, Cu and Zn, exchangeable content of K, Al, Ca and Mg and the contents of soil organic matter. We calculated the CTC_{pH7,0}, Al saturation, base saturation and the potential acidity (H + Al). The fact of using organic sources for longer periods, while allowing an increase in the soil pH, which can make the setting not required, also provides significant increases in soil properties such as organic matter, P, K, Ca and Mg available in the soil, in relation to the use of traditional mineral fertilization. For liquid manure of cattle and pigs, stood out from swine bed by the increase both in grain production, as dry matter, accumulation and apparent recovery of N, P and K of cultures.

Index terms: animal waste; nutrient uptake, compared organic sources

4.3 Introdução

A utilização de resíduos orgânicos tem cada vez mais importância, porque seus reflexos vão além da ciclagem de elementos e da nutrição de plantas, mas também pelas alterações que promovem no ambiente. A relevância dos resultados está na avaliação a longo prazo e quando diferentes fontes orgânicas são utilizadas e ainda comparadas com o uso de fertilizantes minerais, e esta é uma das principais características deste trabalho.

As atividades suinícola e de gado leiteiro são de grande importância econômica e social tanto à agricultura familiar quanto de grandes empreendimentos. Neste contexto, a região Sul do país se destaca na produção de carne suína e na produção leiteira, onde se concentram 54,2% da produção nacional de suínos, que é de, aproximadamente, 41,3 milhões de cabeças (ABIPECS, 2012) e 31,3% da produção de leite do país, que é de 14,5 milhões de cabeça (IBGE, 2011). Esta produção, concentra-se nas pequenas propriedades rurais e tem como consequência a geração de um grande volume de dejetos líquidos de suínos (DLS) a partir da lavagem das baias com água ou na forma sólida sobre uma camada de material orgânico, normalmente maravalha ou palhada de culturas (cama sobreposta de suínos - CSS) e dejetos líquidos de bovinos (DLB), a partir da lavagem dos locais onde se ordenha os animais.

Os dejetos gerados podem ser aplicados em solos com culturas anuais, perenes e/ou pastagens, aumentando a ciclagem de nutrientes no interior das propriedades e reduzindo o gasto com a aquisição de fertilizantes industrializados (Ceretta et al., 2005; Assmann et al., 2009; Seidel et al., 2010). Assim, ao longo dos anos se espera incremento no teor de nutrientes no solo (Mcdowell et al., 2001; Basso et al., 2005; Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010 a, b; Girotto et al., 2013 a, b), mas também alterações em atributos químicos relacionados a acidez do solo (Ceretta et al., 2003; Lourenzi et al., 2011; Brunetto et al., 2012; Sartor et al., 2012; Veiga et al., 2012).

Aplicações sucessivas de dejetos animais podem promover um rápido aumento nos teores de $N-NO_3^-$ no solo e, ao longo dos anos, especialmente em solos de baixa fertilidade, incrementos nos teores de matéria orgânica, conferindo maior disponibilidade de formas de N às culturas (Lourenzi et al., 2011; Brunetto et al., 2012). Além disso, aplicações de dejetos podem causar aumentos significativos daqueles elementos de menor mobilidade como P, Cu e Zn na camada superficial do solo, os quais estarão prontamente disponíveis para as plantas (Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010a; Girotto et al., 2010; Tiecher et al., 2013); aumento dos teores de K^+ , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, soma se bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%) (Lourenzi et al., 2011; Brunetto et al., 2012). Além disso, as aplicações de DLS e DLB podem alterar o pH dos solos, devido não apenas ao tamponamento por $CaCO_3$ e bicarbonatos, mas também pelo incremento de outros compostos, como os ácidos orgânicos com grupos carboxil e hidroxil fenólicos, os quais têm importante papel no tamponamento da acidez do solo e na variação do pH de solos ácidos manejados com dejetos. Os compostos orgânicos presentes nos dejetos também apresentam grande importância nas reações químicas que ocorrem no solo, principalmente, nas camadas superficiais, resultando em redução da toxicidade de alumínio. A complexação do Al trocável

e a conseqüente diminuição de sua saturação está relacionada, principalmente, com a ação das frações de ácido fúlvico e húmico da MO, que são muito reativas e aumentam significativamente no solo com adições de altas quantidades de carbono (Ceretta et al., 2003).

Com a melhoria das características químicas de solos com aplicações de dejetos, entre eles DLS, DLB e CSS, pode haver um melhor crescimento das raízes de plantas e, como consequência, um maior volume de solo explorado, o que favorece a absorção de água e nutrientes, refletindo-se em incremento da produção de culturas de grãos, como o milho (*Zea mays* L.), o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e de matéria seca da parte aérea (MS) de espécies de plantas de cobertura do solo, como a aveia preta (*Avena strigosa*) (Ceretta et al., 2005; Chantigny et al., 2008; Ciancio et al., 2014); o que pode se refletir em maior acúmulo de nutrientes no tecido e até recuperação de nutrientes, o que é desejável, já que diminuindo o potencial de transferência de nutrientes pelo escoamento superficial e lixiviação, está se proporcionando maior ciclagem de nutrientes (Doneda et al., 2012; Guillou et al., 2012).

Este trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação sucessiva de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes nos atributos químicos do solo e incremento na produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes em culturas de grãos e plantas de cobertura, tendo como referência a utilização de adubação mineral usualmente recomendada às culturas.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Caracterização da área experimental e das fontes orgânicas aplicadas em cada cultura.

O trabalho foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. O clima da região é subtropical úmido (Cfa 2), com temperatura média anual de 19,3°C, precipitação média anual de 1561 mm e umidade relativa de 82%. O solo avaliado foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2013), pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro (Brasil, 1973), com as seguintes características na camada de 0-10 cm antes da implantação do experimento: 55 g kg⁻¹ de argila; 316 g kg⁻¹ de silte; 627 g kg⁻¹ de areia; 22 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 4,65; 23 mg kg⁻¹ de P e 32 mg kg⁻¹ de K (ambos extraídos por Mehlich-1); 0,3 cmol_c dm⁻³ de Al, 0,65 cmol_c dm⁻³ de Ca e 0,38 cmol_cdm⁻³ de Mg (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); 2,72 cmol_c kg⁻¹ de H+Al; 1,41 cmol_c kg⁻¹ de Capacidade de Troca de Cátions (CTC_{efetiva}); 4,13 cmol_c kg⁻¹ de CTC_{pH 7,0}; saturação por Al de 21,27% e saturação por bases 9,37%.

O experimento foi instalado no ano de 2004 em área sob sistema de plantio direto e com delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensões de 5 x 5 m (25 m²). Os tratamentos foram a aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) e de bovinos (DLB), cama sobreposta de suínos (CSS), adubação mineral (uréia + superfosfato triplo + cloreto de potássio) e um tratamento testemunha, sem a aplicação de nutrientes. A sucessão de culturas utilizada no período de 2004 a 2009 foi aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.)/milho (*Zea mays* L.), que correspondiam a uma aplicação anual das fontes orgânicas, uma vez que estas sempre foram aplicadas apenas quando da semeadura do milho. A partir de 2010, optou-se por aplicar as fontes orgânicas e mineral antecedendo ambos as culturas, totalizando duas aplicações por ano, com a justificativa de que esta situação melhor representa as condições de manejo de fontes orgânicas adotadas pelos produtores. Por este motivo também foi introduzida a cultura do feijão na sucessão. O DLS aplicado foi proveniente de reservatórios anaeróbicos de propriedades suínícolas próximas à UFSM, sendo composto por fezes, urina, restos alimentares e água de lavagem das instalações. A CSS foi obtida no setor de suinocultura da UFSM, sendo composta por resíduos de beneficiamento de arroz, fezes, urina e restos alimentares. O DLB foi derivado de reservatórios anaeróbicos do setor de bovinocultura da UFSM, sendo composto por fezes, urina, restos alimentares e água de lavagem das instalações.

A quantidade aplicada das fontes orgânicas foi determinada com base na exigência de N de cada cultura implantada, seguindo a recomendação estabelecida pela CQFS-RS/SC (2004). Para isso foi feita a análise de sua composição, coletando-se uma amostra de cada dejetos, após homogeneização das esterqueiras. Os teores de N, P e K nos dejetos foram determinados em base úmida, os teores de Ca, Mg, Cu e Zn nos dejetos foram determinados em base seca, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Amostras das fontes orgânicas foram secas em estufa com ar forçado a 65°C até matéria seca (MS) constante.

Dessa forma, as quantidades de N aplicadas, de acordo com a recomendação proposta pela CQFS-RS/SC (2004), foram de 30 kg de N ha⁻¹ na aveia preta (expectativa de produção de matéria seca de 2000 kg ha⁻¹), 105 kg de N ha⁻¹ no milho (expectativa de produtividade de grãos de 5000 kg ha⁻¹) e 50 kg de N ha⁻¹ de feijão preto (expectativa de produtividade de grãos de 1500 kg ha⁻¹). As quantidades aplicadas de P e K resultaram da quantidade de dejetos aplicada e do seu teor de P e K. No caso do tratamento com fertilizante mineral foram aplicados 30, 60, 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato triplo) e 20, 70 e 30 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de K) para a aveia preta, milho e feijão preto, respectivamente (Tabela 1).

As fontes orgânicas derivadas do DLS, CSS, DLB e a adubação mineral foram distribuídas sobre os resíduos culturais depositados na superfície, sem incorporação, antes da semeadura de cada cultura no verão e no inverno, durante o período de 2009 a 2013. A adubação nitrogenada para o tratamento NPK foi aplicado 20% na base e 30% em cobertura. Assim, desde a implantação do experimento até o ano agrícola de 2012/2013 foram aplicados 1151,8 kg ha⁻¹ de N, 457,2 kg ha⁻¹ de P e 580,1 kg ha⁻¹ de K via DLS; 1689,8 kg ha⁻¹ de N, 1102,1 kg ha⁻¹ de P e 1656,3 kg ha⁻¹ de K via CSS; 1695,8 kg ha⁻¹ de N, 497,8 kg ha⁻¹ de P e 1276 kg ha⁻¹ de K via DLB e 920 kg ha⁻¹ de N, 436,5 kg ha⁻¹ de P e 562 kg ha⁻¹ de K via fertilizante mineral. As características das fontes orgânicas aplicados antes da implantação de cada cultura e a quantidade de nutrientes aplicados são apresentadas no tabela 1.

Tabela 1 Características das diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura e durante a condução do experimento.

Características dos dejetos		Nutrientes aplicados antes de cada cultura															
		Primeiro ano agrícola (2009/2010)															
Matéria seca (%)		Milho						Aveia preta									
		DLS ⁽¹⁾		CSS ⁽²⁾		DLB ⁽³⁾		NPK ⁽⁴⁾		DLS		CSS		DLB		NPK	
		1,76		38,77		9,7				4,12		66,22		3,66			
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
	⁽⁵⁾ N	0,14	131	1,22	203	0,21	203	105	0,39	100	1,07	59	0,22	59	30		
	⁽⁵⁾ P	0,03	29	0,33	55	0,04	27	26	0,14	34	0,52	27	0,04	8	13		
	⁽⁵⁾ K	0,06	60	0,53	88	0,05	45	33	0,18	47	1,62	88	0,23	62	20		
	⁽⁶⁾ Ca	2,80	46,40	3,20	205	2,68	252	-----	3,10	32,85	2,90	105	3,34	33,10	-----		
	⁽⁶⁾ Mg	1,18	19,56	0,70	45,03	1,10	103	-----	1,10	11,66	1,20	43,51	0,92	9,12	-----		
	⁽⁶⁾ Cu	0,18	2,98	0,006	0,39	0,009	0,84	-----	0,13	1,38	0,009	0,31	0,005	0,05	-----		
	⁽⁶⁾ Zn	0,38	6,30	0,065	4,18	0,022	2,07	-----	0,34	3,60	0,051	1,85	0,034	0,34	-----		
		Segundo ano agrícola (2010/2011)															
Matéria seca (%)		Milho						Aveia preta									
		DLS		CSS		DLB		NPK		DLS		CSS		DLB		NPK	
		2,83		56,31		5,48				3,19		53,58		3,84			
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹		
	N	0,16	129	0,8	206	0,18	210	105	0,43	38	1,32	20	0,02	20	30		
	P	0,10	106	0,4	102	0,04	49	26	0,15	19	1,5	24	0,03	32	13		
	K	0,13	112	1,47	380	0,16	186	40	0,66	57	2,9	43	0,06	45	20		
	Ca	2,70	62,01	3,22	468	3,38	213	-----	3,00	83,09	5,50	43,33	4,10	116	-----		
	Mg	1,20	27,52	0,61	89	0,85	53,68	-----	1,40	38,77	0,81	6,40	1,20	34	-----		
	Cu	0,17	3,90	0,008	1,22	0,006	0,39	-----	0,18	4,99	0,009	0,07	0,006	0,17	-----		
	Zn	0,47	10,79	0,055	7,99	0,025	1,58	-----	0,41	11,36	0,040	0,32	0,038	1,07	-----		
		Terceiro ano agrícola (2011/2012)															
Matéria seca (%)		Milho						Aveia preta									
		DLS		CSS		DLB		NPK		DLS		CSS		DLB		NPK	
		2,09		71,89		1,8				1,03		78,94		4,37			
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹		
	N	0,33	131	1,38	203	0,16	203	105	0,16	38	0,98	20	0,03	26	30		
	P	0,04	32	0,05	35	0,03	54	26	0,07	16	0,41	8	0,01	9	13		
	K	0,17	76	0,4	59	0,04	52	33	0,08	19	1,42	28	0,04	29	20		
	Ca	2,80	25,61	4,46	473	4,50	101	-----	3,25	7,73	4,90	77	4,60	155	-----		
	Mg	1,30	11,89	1,12	119	1,10	25	-----	1,11	2,64	1,12	18	0,94	32	-----		
	Cu	0,21	1,92	0,008	0,85	0,003	0,08	-----	0,18	0,43	0,008	0,12	0,006	0,19	-----		
	Zn	0,33	3,02	0,036	3,81	0,023	0,52	-----	0,39	0,93	0,035	0,55	0,023	0,78	-----		
		Quarto ano agrícola (2012/2013)															
Matéria seca (%)		Feijão preto						Aveia preta									
		DLS		CSS		DLB		NPK		DLS		CSS		DLB		NPK	
		4,52		73,21		4,27				3,19		67,01		2,24			
		%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹		
	N	0,3	63	0,44	92	0,08	92	50	0,48	38	1,19	42	0,07	42	30		
	P	0,13	43	0,27	68	0,03	48	25	0,37	29	1,32	39	0,06	34	13		
	K	0,17	38	0,32	67	0,04	47	25	0,22	17	0,55	19	0,03	20	20		
	Ca	3,40	32	3,10	477	3,20	149	-----	2,70	6,62	0,48	11,07	0,94	11,68	-----		
	Mg	0,96	8,95	0,70	108	1,29	60	-----	1,12	2,75	0,18	4,15	0,52	6,46	-----		
	Cu	0,008	0,07	0,007	1,06	0,007	0,34	-----	0,05	0,12	0,003	0,07	0,008	0,09	-----		
	Zn	0,39	3,63	0,036	5,54	0,021	0,97	-----	0,06	0,15	0,016	0,37	0,016	0,20	-----		

⁽¹⁾ Dejeto líquido de suínos; ⁽²⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽³⁾ Dejeto líquido de bovinos; ⁽⁴⁾ Adubação mineral. ⁽⁵⁾ Análise e cálculos em base úmida ⁽⁶⁾ Análise e cálculos em base seca.

4.4.2 Análises químicas do solo

Em setembro de 2012, ou seja, aos 114 meses (9,5 anos) após a implantação do experimento, quando 12 aplicações das fontes orgânicas e adubação mineral haviam sido feitas, foram coletadas amostras de solo nas quatro repetições de cada tratamento. Para a

realização da coleta foi aberta uma trincheira até 40 cm de profundidade com o auxílio de uma pá-de-corte, abaixo dessa profundidade a coleta foi realizada com trado holandês. Posteriormente, foram retiradas fatias de solo da parede da trincheira, que foram separadas nas camadas: 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 e 60-70 cm. O solo foi seco ao ar, moído manualmente utilizando um rolo destorroador, passado em peneira com malha de 2 mm e armazenado.

A extração dos teores de P e K disponível foi determinada através da adição de 5 g de solo seco em snap-cap e 50 mL de solução de Mehlich-1. As amostras foram agitadas por 10 minutos e deixadas em repouso por 12 horas. Após a extração, foram pipetados 3 mL de cada amostra em copos de plástico (capacidade de 50 mL) e adicionada uma gota de NaOH 10 mol L⁻¹, uma gota da solução com ácido ascórbico e 0,5 mL de p-nitrofenol 0,25% (Murphy & Riley, 1962). As amostras foram submetidas à leitura em espectrofotômetro UV/visível (Photonics Bel Modelo 1105). Os teores de K disponível foram determinados em espectrofotômetro de chama (B262 Micronal). A extração de cobre (Cu) e zinco (Zn) disponíveis foi utilizado o extrator ácido HCl 0,01 mol L⁻¹, na proporção solo:extrator de 1:10 (m/v), conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995) e adotada nos laboratórios pertencentes a Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solo (CQFS RS/SC, 2004). Os teores de Cu e Zn nos extratos obtidos foram determinados em Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

Determinou-se os valores de pH em água (1:1), teores trocáveis de Al, Ca e Mg (Tedesco et al., 1995). Com os dados obtidos foi calculada a capacidade de troca de cátions a pH_{7,0} (CTC_{pH7,0}), a saturação por alumínio, a saturação por bases e a acidez potencial (H+Al) (CQFS-RS/SC, 2004). Determinou-se os teores de carbono orgânico total (COT) (Embrapa, 1997). Para a obtenção dos valores de matéria orgânica do solo (MOS) os teores de COT foram multiplicados por 1,724 (fator de Van Bemmelen), assumindo-se que 58% da matéria orgânica dos solos consistem em COT.

4.4.3 Produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes

O período de avaliação foi de novembro de 2009 a outubro de 2013. Nos anos agrícolas de 2009 a 2012 foi cultivada a sucessão milho e aveia preta e de 2012 a 2013, feijão preto e aveia preta. A aveia preta foi semeada a lanço, utilizando-se 100 kg ha⁻¹ de sementes. O milho foi semeado no espaçamento de 0,90 m entre linhas e 5 plantas m⁻¹ linear, totalizando, aproximadamente, 55.500 plantas ha⁻¹. O feijoeiro foi semeado com espaçamento

de 0,45 m entre linha e 12 plantas m⁻¹ linear, totalizando, aproximadamente, 266.500 plantas ha⁻¹.

Para a colheita de grãos de milho e feijoeiro foram coletados plantas em uma área útil de 6,25 e 2,25 m² por parcela, respectivamente, e os grãos tiveram a umidade corrigida para 13%. Para a determinação de matéria seca do milho e do feijoeiro foram coletadas aleatoriamente, cinco plantas por parcela, no pleno florescimento das culturas. Na aveia preta foram coletadas as plantas em uma área útil de 0,25 m² por parcela. As amostras foram secas em estufa com ar forçado a 65°C até massa constante, moídas e preparadas para a análise do teor total de N, P e K, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

A recuperação aparente de N, P e K pelas culturas durante os quatro anos agrícolas foi estimada a partir do acúmulo destes nutrientes, relacionando a quantidade de nutriente absorvida pelas plantas na presença das fontes orgânicas e mineral em relação às plantas que não receberam nenhuma fonte de nutriente. Com esse método, assumiu-se que a taxa de mineralização do N e P da MOS não foi afetada pelo N e P aplicado com os dejetos, e com o N e P do fertilizante mineral. Daí porque essa estimativa é considerada recuperação aparente do N, P e K aplicado, como proposto por Mitchell & Teel (1977) (Equação 1):

$$RaN = \left[\frac{(NAPf - NAPsf)}{Naf} \right] \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde: RaN é a recuperação aparente do N, P e K aplicado em %; NPAf é a quantidade de N, P e K acumulado nas culturas nos tratamentos com a aplicação de nutrientes; NAPsf é a quantidade de N, P e K acumulado pelas culturas no tratamento sem a aplicação de nutrientes; e Naf é a quantidade de N, P e K aplicado via dejetos ou fertilizante mineral.

4.4.4 Análise estatística

Os resultados das características químicas do solo foram submetidos à análise de variância em cada camada amostrada, utilizando o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2003), com o modelo $Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + \text{error a}(i, j) + D_k + \text{error b}(i, k) + TD_{jk} + \text{error c}(i, j, k)$, onde μ = média geral; B = blocos (i = 1,2,3,4); T = tratamentos (j = 1,2,3,4,5); D = profundidade (j = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17) e erro = erro experimental.

Os dados de produtividade de grãos, produção de MS e acúmulo de nutrientes na parte aérea foram submetidos à análise de variância, empregando-se o sistema de análise estatística Sisvar, versão 4.0 (Ferreira, 2008). Quando as análises de variância foram significativas para

os atributos químicos do solo e à produtividade de grãos, produção de MS e acúmulo de nutrientes na parte aérea, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Posteriormente, as variáveis foram submetidas à análise de componentes principais (ACP), com o auxílio do programa CANOCO versão 4.5 (Ter Braak; Smilauer, 1998).

4.5 Resultados e Discussão

4.5.1 Atributos químicos do solo

As aplicações sucessivas de DLS, CSS e DLB promoveram alterações nos atributos químicos do solo. Os maiores valores de pH do solo foram observados com as aplicações de DLS e CSS até a profundidade de 20-25 cm quando comparado ao solo submetido à aplicação sucessiva de DLB e NPK (Tabela 2). As adições de DLS e CSS proporcionaram um aumento de quase uma unidade no pH do solo nas camadas mais superficiais do solo (até 6 cm de profundidade).

O incremento do valor de pH pode estar associado ao aumento do teor de COT e, por consequência, matéria orgânica no solo, o que estimula a adsorção de íons H^+ e, por consequência, causa o aumento do valor de pH em água (Hue & Licudine, 1999; Lourenzi et al., 2011). Mas também os dejetos possuem na composição carbonatos, que depois de dissolvidos no solo promovem o consumo de íons H^+ , o que se reflete em aumento do valor de pH do solo (Whalen et al., 2000; Anami et al., 2008; Brunetto et al., 2012). Além disso, a rápida oxidação de ácidos graxos voláteis presentes nos dejetos também pode provocar a elevação dos valores de pH (Paul & Beauchamp, 1989).

Tabela 2 Valores de pH em água, H+Al e saturação por Al% em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Camada, cm	Controle	DLS ⁽²⁾	CSS ⁽³⁾	DLB ⁽⁴⁾	NPK ⁽⁵⁾
-----pH em água-----					
0-2	4,97a ¹ C	5,85aA	5,80aA	5,25aB	4,66aC
2-4	4,74aB	5,76aA	5,55aA	4,93aB	4,36aC
4-6	4,80aB	5,62aA	5,55aA	4,87aB	4,32aC
6-8	4,94aB	5,57aA	5,54aA	4,88aB	4,32aC
8-10	4,98aB	5,59aA	5,59aA	4,98aB	4,36aC
10-12	4,52aC	5,32aA	5,57aA	4,99aB	4,45aC
12-14	4,46aC	5,39aA	5,51aA	4,89aB	4,46aC
14-16	4,93aB	5,23aA	5,36aA	4,92aB	4,51aC
16-18	4,90aB	5,23aA	5,35aA	4,99aB	4,49aC
18-20	4,87aB	5,22aA	5,21aA	4,95aB	4,44aC
20-25	4,83aB	5,23aA	5,00bA	4,66bB	4,45aB
25-30	4,79aA	4,85bA	4,94bA	4,58bB	4,49aB
30-35	4,89aA	4,91bA	4,88bA	4,59bB	4,45aB
35-40	4,79aA	4,78bA	4,80bA	4,43bB	4,43aB
40-50	4,80aA	4,83bA	4,90bA	4,48bB	4,55aB
50-60	4,52aA	4,66bA	4,85bA	4,53bA	4,77aA
60-70	4,67aA	4,64bA	4,62bA	4,57bA	4,77aA
-----H+Al, cmol _c dm ⁻³ -----					
0-2	2,20 bA	2,34 bA	2,89 bA	2,98 bA	3,86 bA
2-4	2,25 bA	2,58 bA	2,74 bA	2,53 bA	3,45 bA
4-6	2,07 bA	2,59 bA	2,72 bA	2,84 bA	3,81 bA
6-8	2,88 bA	2,80 bA	2,83 bA	2,81 bA	3,37 bA
8-10	2,60 bA	2,21 bA	2,50 bA	3,01 bA	2,95 bA
10-12	2,21 bA	2,26 bA	3,17 bA	2,98 bA	2,87 bA
12-14	2,79 bA	2,34 bA	3,14 bA	3,15 bA	3,24 bA
14-16	3,07 bA	2,51 bA	3,56 aA	2,45 bA	3,12 bA
16-18	3,20 bA	2,53 bA	3,59 aA	3,31 bA	3,29 bA
18-20	3,10 bA	3,15 aA	3,40 aA	3,54 bA	3,96 bA
20-25	3,74 aB	3,45 aB	3,65 aB	3,34 bB	5,10 aA
25-30	4,07 aB	3,27 aB	3,71 aB	4,16 aB	5,52 aA
30-35	4,50 aA	3,43 aA	4,54 aA	3,95 aA	4,54 aA
35-40	3,91 aA	3,49 aA	4,20 aA	3,96 aA	5,01 aA
40-50	3,38 aB	3,35 aB	4,96 aA	3,95 aB	4,45 aA
50-60	3,49 aA	3,62 aA	4,97 aA	3,91 aA	4,46 aA
60-70	4,21 aA	4,53 aA	4,53 aA	5,08 aA	4,59 aA
-----Saturação por Al, %-----					
0-2	6,15aA	1,54aA	1,71aA	2,99aA	13,65aA
2-4	18,78aA	1,59aA	1,59aA	22,52aA	29,47A
4-6	32,71aA	1,83aA	2,36aA	26,35aA	40,03A
6-8	39,90aA	1,47aB	1,23aB	29,11aA	42,67A
8-10	27,98aA	3,44aA	1,73aA	31,19aA	42,53A
10-12	30,89aA	3,24aB	2,35aB	37,68aA	42,83aA
12-14	33,60aA	4,13aB	2,70aB	36,80aA	44,38A
14-16	34,36aA	5,21aA	4,14aA	28,96aA	43,09A
16-18	37,25aA	6,35aA	6,93aA	36,09aA	44,13A
18-20	39,39aA	4,86aB	9,79aB	37,69aA	47,14A
20-25	43,58aB	8,66aB	13,49aB	41,29aA	50,42A
25-30	45,42aA	26,01aA	14,28aA	43,71aA	51,79A
30-35	46,76aA	20,00aA	24,43aA	44,33aA	50,06A
35-40	49,04aA	33,24aA	30,51aA	47,32aA	50,08A
40-50	40,91aA	30,11aA	29,90aA	44,63aA	44,78A
50-60	48,67aA	34,97aA	28,61aA	39,06aA	46,37A
60-70	50,60aA	40,18aA	37,02aA	35,09aA	49,44A

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). ⁽²⁾ Dejetto líquido de suínos; ⁽³⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁴⁾ Dejetto líquido de bovinos; ⁽⁵⁾ Adubação mineral.

Resultados similares foram obtidos por Brunetto et al. (2012), em um Argissolo Vermelho sob sistema plantio direto (SPD) com a aplicação de quantidades de DLS e CSS, que observaram incremento dos valores de pH em água até a profundidade de 15 cm, onde os valores foram maiores que 5,5. Convém destacar que a aplicação de CSS permitiu o incremento do valor de pH em água de 4,6 na camada de 0-10 cm antes do experimento, o que é interpretado como muito baixo (CQFS-RS/SC, 2004), para até 5,6. Isso mostra que o uso de DLS e CSS, em longo prazo, permite um incremento de pH no solo podendo tornar não necessário o investimento na correção da acidez, pois em SPD consolidado, na camada diagnóstica de 0-10 cm, de acordo com a CQFS-RS/SC (2004), não é necessário adicionar calcário quando o valor de pH em água for $\geq 5,5$.

Apesar de não ter ocorrido alterações significativas com a aplicação do dejetos, a acidez potencial apresentou uma tendência de diminuição de seus valores com o aumento da dose de dejetos (Tabela 2). Isso indica que o tempo de aplicação não foi suficiente para manifestar resultados significativos em relação a esse atributo. No entanto, com aplicações continuadas de dejetos por períodos de tempo maiores, os valores de acidez potencial poderão apresentar reduções significativas de seus valores (Cassol et al., 2012).

A saturação por alumínio diminuiu com a aplicação de DLS e CSS até a profundidade de 20-25 cm (Tabela 2). A adição da DLS e CSS reduziu em 15 e 41% a saturação por Al no solo até a camada de 50 cm, respectivamente, em relação ao tratamento sem aplicação de dejetos. Isso pode ser atribuído ao aumento do valor de pH do solo após sucessivas aplicações de dejetos ao longo dos 114 meses. Além disso, a diminuição dos valores de saturação de Al nas camadas subsuperficiais observada após a aplicação de CSS e DLS também pode ser explicado pela formação de complexos organometálicos. Esses complexos organometálicos podem ser formados pelas frações de ácidos fúlvicos e húmicos da MO, que são muito reativas e aumentam significativamente no solo com adições de altas quantidades de carbono, além de outros compostos orgânicos solúveis (Franchini et al., 2003), que provavelmente derivaram da decomposição dos dejetos, e se deslocam no perfil do solo (Gebrim et al., 2008). O decréscimo dos valores de saturação por Al no perfil do solo é benéfico ao crescimento de raízes, o que favorece a absorção de água, especialmente, em períodos de estiagem, e de nutrientes de camadas mais profundas do solo (Cassol et al., 2012).

Os maiores valores de saturação por base foram observados na camada de 0-2 cm no solo com aplicações de DLS, CSS e DLB. No solo com a aplicação de DLS, CSS e DLB observou-se incrementos de 50, 73 e 38% na saturação de bases em relação ao solo sem aplicação de nutrientes. No entanto observa-se que no solo com aplicações sucessivas de DLS

e CSS, os valores de saturação por bases aumentaram até 50 cm de profundidade (Tabela 3). Com a aplicação de DLS e CSS ocorreu um aumento de 1,5 e 1,73 vezes na saturação de bases, respectivamente, em relação ao tratamento sem a aplicação de dejetos até a camada de 50 cm de profundidade. Esses resultados na camada de 0 – 2 cm podem ser atribuídos ao aumento dos teores de MOS, que promove o aumento da $CTC_{pH7.0}$. A matéria orgânica beneficia a adsorção de cátions trocáveis (Ca, Mg, K) mediante trocas com o H^+ dos grupos funcionais orgânicos, aumentando a saturação por bases no complexo coloidal. Por reduzir a velocidade de oxidação da matéria orgânica, o SPD contribui para o aumento da saturação por bases no complexo catiônico e a consequente melhoria da fertilidade dos solos (Bayer et al., 2000; Pavinato et al., 2008, Sartor et al., 2012).

A utilização de fontes orgânicas e mineral promoveram maior incremento de Ca apenas na camada de 0-2 cm (Tabela 3). Observa-se que o uso de DLB e NPK não promoveram acréscimo de Ca no solo, pois não diferiram da testemunha sem aplicação de fertilizantes. O uso de DLS e CSS, em relação ao uso de DLB e NPK proporcionaram acréscimo no teor de Ca no solo até a camada de 30-35 cm. Entretanto, quando se observa os teores de Mg, percebe-se que o uso de CSS não diferiu do DLS, mas também permitiu acréscimo até a camada de 8-10 cm, em relação ao uso de DLB e NPK (Tabela 3). O DLS e a CSS incrementaram o teor de Mg no solo até a camada de 20-25 cm, em relação ao uso de DLB e NPK.

Estes resultados evidenciam que as diferenças entre as fontes orgânicas foram mais marcantes quando da adição de Ca do que Mg ao solo. Os teores de Ca aumentaram até as profundidades de 40 cm, após as sucessivas aplicações de CSS e os teores de Mg aumentaram até a profundidade de 25cm, após sucessivas aplicações de DLS (Tabela 3). Para o Ca, os incrementos até 40 cm foram, em média de 1,4 vezes maior com a aplicação de CSS, em relação ao solo sem aplicação de dejetos. Para o Mg a adição de DLS proporcionou incrementos de 61 % até a profundidade de 25 cm em relação ao sem aplicação de dejetos. Os maiores teores de Ca e Mg trocáveis no solo com a adição de CSS e DLS, respectivamente, pode ser atribuído as altas concentração dos dois nutrientes nos resíduos adicionados ao solo, comparativamente ao DLB (Durigon et al., 2002; Cabral et al., 2011).

Tabela 3 Valores de saturação por bases e teores de Ca e Mg trocáveis em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Camada, cm	Controle	DLS ⁽²⁾	CSS ⁽³⁾	DLB ⁽⁴⁾	NPK ⁽⁵⁾
-----Saturação por bases, %-----					
0-2	38,85a ¹ C	58,15 aB	67,08 aA	53,55 aB	40,10 aC
2-4	31,05 aC	52,55 aB	63,96 aA	35,70 bC	24,41 bD
4-6	32,13 aC	52,25 aB	64,12 aA	32,16 bC	20,56 bD
6-8	31,74 aB	54,73 aA	60,45 aA	31,49 bB	22,61 bC
8-10	33,08 aC	51,42 aB	63,62 aA	32,76 bC	18,33 bD
10-12	31,27 aC	51,02 aB	60,14 aA	31,15 bC	24,18 bD
12-14	33,10 aC	46,11 bB	57,94 aA	30,15 bC	22,31 bD
14-16	26,88 bC	44,61 bB	52,75 bA	28,91 bC	21,65 bC
16-18	24,25 bB	46,31 bA	49,04 bA	27,35 bB	18,04 bC
18-20	27,42 bB	48,30 bA	49,66 bA	20,58 cC	15,43 bC
20-25	24,93 bB	40,77 cA	41,71 cA	21,98 cB	15,84 bC
25-30	26,71 bB	37,98 cA	34,96 dA	20,68 cC	18,03 bC
30-35	19,35 cB	36,56 cA	32,77 dA	20,86 cB	19,80 bB
35-40	21,54 cB	33,60 cA	32,06 dA	22,05 cB	19,23 bB
40-50	22,16 cB	33,31 cA	33,24 dA	21,82 cB	21,22 bB
50-60	18,07 cB	28,00 dA	34,15 dA	22,09 cB	19,93 bB
60-70	17,69 cA	22,52 dA	26,65 dA	20,51 cA	17,83 bA
-----Ca trocável, cmol _c dm ⁻³ -----					
0-2	1,99 aD	3,37 aC	4,64 aA	4,04 aB	2,12 aD
2-4	1,65 bC	2,14 bB	4,01 bA	1,75 bC	1,30 bD
4-6	1,53 bC	2,02 bB	3,35 cA	1,27 cC	1,27 bC
6-8	1,39 cC	2,15 bB	2,80 dA	1,26 cC	1,19 bC
8-10	1,30 cC	2,24 bB	2,88 dA	1,28 cC	1,09 bC
10-12	1,26 cB	2,35 bA	2,62 eA	1,27 cB	1,02 bB
12-14	1,22 cC	2,23 bB	2,62 eA	1,15 cC	1,03 bC
14-16	1,21 cB	2,24 bA	2,56 eA	1,28 cB	1,05 bB
16-18	1,16 cB	2,49 bA	2,47 eA	1,12 cB	1,11 bB
18-20	1,16 cC	1,95 cB	2,39 eA	1,15 cC	1,08 bC
20-25	1,15 cB	1,75 cA	1,71 fA	1,04 dB	1,17 bB
25-30	1,14 cB	1,44 dA	1,50 fA	0,99 dB	1,05 bB
30-35	0,95 dB	1,45 dA	1,44 fA	0,99 dB	0,99 bB
35-40	0,93 dB	1,06 eB	1,30 fA	0,96 dB	0,86 cB
40-50	0,85 dA	0,92 eA	0,85 gA	0,87 dA	0,86 cA
50-60	0,65 eA	0,91 eA	0,81 gA	0,85 dA	0,78 cA
60-70	0,47 eB	1,16 eA	0,67 gB	0,79 dB	0,64 cB
-----Mg trocável, cmol _c dm ⁻³ -----					
0-2	0,98 aC	3,17 aA	2,96 aA	1,22 aC	1,90 aB
2-4	0,85aB	2,44 bA	2,83 aA	0,80 aB	0,61 bB
4-6	0,86 aC	2,34 bB	2,96 aA	0,62 aC	0,54 bC
6-8	0,83 aC	2,14 bB	2,94 aA	0,55 aC	0,51 bC
8-10	0,84 aB	2,19 bA	2,28 bA	0,59 aB	0,49 bB
10-12	0,86 aB	2,18 bA	1,02 cB	0,54 aB	0,48 bB
12-14	0,86 aB	1,59 cA	0,98 cB	0,41 aC	0,47 bC
14-16	0,84 aB	1,58 cA	0,98 cB	0,56 aB	0,46 bB
16-18	0,85 aA	1,35 cA	0,98 cA	0,58 aB	0,44 bB
18-20	0,84 aB	1,38 cA	1,01 cA	0,61 aB	0,45 bB
20-25	0,83 aB	1,34 cA	0,97 cA	0,60 aB	0,44 bB
25-30	0,82 aA	1,33 cA	0,98 cA	0,58 aB	0,41 bB
30-35	0,75 aA	0,96 dA	0,96 cA	0,56 aA	0,41 bA
35-40	0,75 aA	0,80 dA	0,95 cA	0,53 aA	0,41 bA
40-50	0,74 aA	0,78 dA	0,81 cA	0,55 aA	0,38 bA
50-60	0,62 aA	0,72 dA	0,68 cA	0,58 aA	0,38 bA
60-70	0,58 aA	0,69 dA	0,69 cA	0,41 aA	0,36 bA

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). ⁽²⁾ Dejetto líquido de suínos; ⁽³⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁴⁾ Dejetto líquido de bovinos; ⁽⁵⁾ Adubação mineral.

O aumento do Ca e Mg em profundidade pode ter ocorrido por causa da migração de compostos orgânicos hidrossolúveis e a manutenção dos bioporos, canais formados pelo crescimento e deterioração das raízes das culturas, sob sistema plantio direto (Kaminski et al., 2005). A mobilidade do Ca e do Mg em profundidade favorece o desenvolvimento radicular das plantas (Stone & Silveira, 2001), permitindo maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo (Pavan, 1999), podendo se refletir em melhor estado nutricional das plantas e até incremento de produtividade.

Com relação a MOS, os resultados evidenciaram que as fontes orgânicas tiveram um efeito muito semelhante quanto ao incremento nos teores, especialmente CSS e DLS, pois se destacaram até 30-35 cm, quando comparado com o uso de NPK e ao tratamento controle, onde não foi aplicado nutrientes (Tabela 4). Os maiores incrementos nos teores de MOS ocorreram na camada de 0-2 cm, com as aplicações do DLS, CSS e DLB, sendo estes 1,74, 1,69 e 1,64 vezes maior que o observado no solo sem a aplicação de dejetos (Tabela 4). Isso pode ter acontecido por causa da produção de MS da parte aérea da aveia preta (46,5% de C) ao longo de quatro anos de cultivo, onde foi acumulado em média um total de 1883 (4,05), 1715 (3,69) e 1604 (3,45) kg ha⁻¹ de C, nos tratamentos onde foram aplicados DLS, CSS e DLB, respectivamente, mais os resíduos de outras culturas, como o milho e/ou feijoeiro remanescente na superfície do solo, depois da colheita dos grãos, uma vez que o manejo foi no SPD.

A menor taxa de decomposição pode estimular a acumulação de COT no solo, que pode refletir no teor de MOS (Falleiro et al., 2003; Jantalia et al., 2007; Leite et al., 2010; Brunetto et al., 2012). Mas, além disso, a própria aplicação dos resíduos na superfície do solo, uma vez que, assumindo-se que o teor médio de COT dos DLS, CSS e DLB foi de 28, 29 e 26% na matéria seca (dados não apresentados), respectivamente, e considerando 12 aplicações dos dejetos, a quantidade total de COT adicionada foi de 340, 2011 e 779 kg ha⁻¹, nos tratamentos DLS, CSS e DLB, respectivamente. O incremento do teor de MOS nas camadas mais superficiais do solo, concordam com os resultados obtidos por Brunetto et al. (2012), em um experimento sob SPD em um Argissolo Vermelho, depois de 114 meses de aplicação de doses de DLS e CSS.

O aumento do teor de COT no perfil do solo e, por consequência, de MOS pode acontecer por causa da saturação dos grupos funcionais das partículas reativas localizadas na superfície do solo por compostos orgânicos, especialmente porque a textura do solo é arenosa e/ou pelo recobrimento dos agregados do solo por partículas orgânicas (Brunetto et al., 2012). Resultados semelhantes foram obtidos por Lourenzi et al. (2011), que em um solo Argissolo

Vermelho, submetido a aplicação de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos ao longo de 100 meses, observaram incremento de COT até a profundidade de 60 cm, em solo com características semelhantes.

A adição de DLS e CSS aumentou a CTC_{pH7.0} 1,24 e 1,25 vezes, respectivamente, em relação ao tratamento sem a aplicação de fertilizantes até a profundidade de 4-6 cm (Tabela 4). Um dos aspectos relevantes da MOS é a sua importância nas características coloidais, afetando os atributos químicos do solo como a CTC. Entretanto, o incremento de MOS atingiu maiores profundidades do que o da CTC_{pH7.0} e isso pode estar relacionado às baixas concentrações de grupos carboxílicos e fenólicos nas substâncias húmicas do dejetos (Hernandez et al., 2006). Além disso, esses autores observaram redução na concentração de grupos carboxílicos e fenólicos em solo com aplicação de dejetos, atribuindo esse fato a formação de complexos organometálicos dos grupos funcionais com metais pesados, como o Cu e Zn, adicionados via dejetos.

Os teores de P disponível foram incrementados no solo, especialmente quando do uso de CSS, que apresentou teor muito expressivo e diferenciado na camada de 0-2 cm e superou a situação de uso de DLS e NPK até a camada de 12-14 cm, mas teve resposta semelhante ao do uso de DLB até a camada de 2-4 cm, tendo acréscimo abaixo desta camada e até 30-35 cm (Tabela 4). Isso tudo é perfeitamente justificável uma vez que nas 12 aplicações, durante os 114 meses, com o uso de CSS foram aplicados 1102 kg ha⁻¹ de P, ou seja, 141, 121 e 152% a mais do que com o uso de DLS, DLB e NPK, respectivamente (Tabela 1). As quantidades próximas de P aplicadas com DLB (498 kg ha⁻¹) e com NPK (437 kg ha⁻¹) justificam o fato de ambas as fontes terem proporcionado acréscimo nos teores de P até a camada de 8-10 cm e 10-12 cm de profundidade, respectivamente.

Tabela 4 Teores de MOS, valores de CTC_{pH7,0} e P disponível em camadas de solo submetido a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Camada, cm	Controle	DLS ⁽²⁾	CSS ⁽³⁾	DLB ⁽⁴⁾	NPK ⁽⁵⁾
-----MOS, g kg ⁻¹ -----					
0-2	23,47 a ¹ B	40,92 aA	39,70 aA	38,45 aA	22,69 aB
2-4	17,11 bB	26,14 bA	25,36 bA	23,71 bA	12,06 bC
4-6	10,50 cC	16,56 cB	21,35 cA	16,88 cB	9,62 cC
6-8	6,99 dD	13,57 dB	19,68 cA	11,15 dC	7,64 dD
8-10	6,97 dB	10,72 eA	13,90 dA	9,65 dA	7,28 dB
10-12	7,65 dB	10,30 eA	9,90 eA	10,25 dA	5,50 eC
12-14	6,47 dB	9,95 eA	10,01 eA	9,93 dA	4,62 eB
14-16	7,14 dB	9,44 eA	10,14 eA	9,45 dA	4,60 eC
16-18	7,43 dA	9,05 eA	9,05 eA	6,62 eB	4,90 eB
18-20	6,34 dB	9,66 eA	9,62 eA	9,59 dA	4,62 eB
20-25	6,09 dB	9,75 eA	8,69 eA	10,09 dA	5,25 eB
25-30	6,84 dB	8,54 eA	9,78 eA	9,52 dA	4,86 eB
30-35	6,39 dB	6,92 fA	8,95 eA	6,32 eB	4,48 eB
35-40	5,21 dB	6,39 fA	7,44 eA	5,96 eA	3,87 eB
40-50	3,67 eA	4,65 gA	4,89 fA	4,61 eA	1,91 fB
50-60	1,68 eA	2,68 gA	3,87 fA	3,63 fA	1,72 fA
60-70	1,69 eA	1,57 gA	3,21 fA	2,76 fA	0,89 fA
-----CTC _{pH7,0} , cmol _c dm ⁻³ -----					
0-2	8,50 aC	12,18 aA	12,69 aA	10,90 aB	10,75 aB
2-4	8,55 aB	11,32 aA	11,10 bA	8,57 bB	9,91 aA
4-6	7,82 aB	9,68 bA	9,75 bA	7,71 bB	9,68 aA
6-8	7,43 aA	8,34 cA	8,92 cA	7,73 bA	8,39 aA
8-10	6,90 aB	8,41 cA	8,29 cA	7,21 bB	9,73 aA
10-12	7,02 aA	8,14 cA	7,74 cA	6,91 bA	6,91 bA
12-14	6,31 aA	7,00 cA	7,78 cA	6,93 bA	7,48 bA
14-16	7,77 aA	7,11 cA	7,50 cA	6,82 bA	7,55 bA
16-18	8,27 aA	7,36 cA	7,98 cA	6,64 bA	7,67 bA
18-20	6,50 aA	7,70 cA	7,65 cA	8,49 bA	7,99 bA
20-25	8,17 aA	7,84 cA	8,55 cA	7,81 bA	7,96 bA
25-30	7,48 aA	8,21 cA	8,84 cA	7,75 bA	7,92 bA
30-35	8,59 aA	7,18 cA	7,59 cA	8,17 bA	7,47 bA
35-40	7,77 aA	7,01 cA	7,62 cA	7,01 bA	6,77 bA
40-50	6,74 aA	5,22 dA	5,40 dA	6,62 bA	6,01 bA
50-60	6,85 aA	6,17 dA	5,37 dA	6,26 bA	5,96 bA
60-70	6,94 aA	5,54 dA	5,70 dA	6,38 bA	5,74 bA
-----P disponível, mg dm ⁻³ -----					
0-2	15,19aD	52,95 aB	72,23 aA	58,43 aB	43,97 aC
2-4	9,60 aC	42,16 bB	56,67 bA	58,06 aA	37,21 aB
4-6	8,65 aD	33,30 cB	56,16 bA	38,68 bB	26,64 bC
6-8	5,84 aC	27,33 cB	55,13 bA	21,95 cB	24,15 bB
8-10	5,55 aC	22,29 dB	38,61 cA	15,63 cB	15,16 cB
10-12	5,79 aC	22,67 dB	41,20 cA	7,27 dC	18,27 cB
12-14	5,28 aC	17,44 dB	28,83 dA	7,26 dC	9,17 dC
14-16	5,18 aB	17,14 dA	21,87 dA	7,08 dB	14,64 cA
16-18	4,42 aB	17,11 dA	18,02 dA	6,91 dB	15,65 cA
18-20	3,59 aB	16,66 dA	20,80 dA	6,75 dB	7,67 dA
20-25	5,82 aB	12,94 dA	19,03 dA	6,42 dB	7,23 dB
25-30	3,38 aB	12,82 dA	18,29 dA	4,94 dB	6,19 dB
30-35	3,42 aB	11,99 dA	17,63 dA	4,83 dB	4,71 dB
35-40	3,26 aA	9,28 eA	13,53 eA	4,70 dA	4,63 dA
40-50	2,88 aA	4,02 eA	8,04 eA	4,46 dA	4,01 dA
50-60	2,92 aA	3,79 eA	6,46 eA	3,41 dA	2,84 dA
60-70	2,83 aA	2,42 eA	3,81 eA	2,58 dA	2,82 dA

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). ⁽²⁾ Dejetto líquido de suínos; ⁽³⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁴⁾ Dejetto líquido de bovinos; ⁽⁵⁾ Adubação mineral.

Chama a atenção o fato de que com o uso de DLS, embora tenha sido aplicada a quantidade acumulada de 457 kg ha⁻¹ de P, ao longo dos 114 meses, ou seja, a menor quantidade dentre as fontes orgânicas, o incremento foi até a camada de 30-35 cm, em relação a testemunha sem aplicação de fertilizantes. A aplicação das diferentes fontes de nutrientes promoveu incremento nos teores de P disponível no solo, principalmente nas camadas superficiais (Tabela 4). Os maiores teores de P disponível foram observados até 35 cm no solo com a aplicação de DLS e CSS. Os maiores teores de P disponível foram observados na camada 0-2 cm, com incrementos de 232, 351, 252 e 211%, para o DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, em relação ao solo sem aplicação de dejetos. Em áreas de sistema de plantio direto, o não revolvimento do solo, favorece o acúmulo de P nas camadas superficiais do solo, uma vez que, no solo, o P pode ser adsorvido aos grupos funcionais de superfície de partículas reativas, formando, normalmente, complexos de esfera interna (adsorção específica) (Barrow, 1999). Como os sítios de adsorção das partículas reativas do solo são finitos e possuem diferentes graus de afinidade pelo íon fosfato (Rheinheimer et al. 2000), o P é adsorvido inicialmente naqueles sítios com maior afeição pelo íon fosfato (Barrow et al., 1998), podendo diminuir os teores de P disponíveis no solo ao longo do tempo, especialmente em solos com baixos teores de P (Lourenzi et al., 2014a). Mas, a adição de altas quantidades de P no solo diminui a energia de ligação entre o fosfato e as partículas reativas do solo (Barrow et al., 1998), possibilitando com que o P permaneça solúvel ou retido com menor energia de ligação, tornando-se disponível mais facilmente (Parfitt, 1989). Assim, o P pode migrar no perfil do solo, promovendo o incremento do seu teor disponível nas camadas mais profundas do solo (Tabela 4).

O teor de K, à semelhança do P, também teve expressivo acúmulo na camada 0-2 cm do solo, com as aplicações de DLS, CSS, DLB e NPK ao final de 114 meses e 12 aplicações (Tabela 5). Contudo, com o uso de CSS, a quantidade aplicada acumulada foi de 1656 kg ha⁻¹, bem superior as demais fontes e, por isso, foi o destaque, porque proporcionou incremento no teor de K até a camada 30-35 cm, em relação ao DLS, DLB, NPK e testemunha sem aplicação de fertilizante, respectivamente. Observa-se a coerência entre o uso de DLS e NPK, que tendo aplicado a mesma quantidade acumulada (580 kg ha⁻¹), não diferiram quanto aos teores no solo até a maior profundidade amostrada, que foi de 60-70 cm.

A maior mobilidade de K no perfil foi observada após sucessivas aplicações de CSS (Tabela 5), uma das explicações para estes resultados pode estar nas características do solo, uma vez que o mesmo apresenta baixos teores de argila (55 g kg⁻¹), alta intemperização e a presença de argilominerais 2:1 é pequena. Isso significa que o solo apresentava baixa

capacidade de adsorção de K com maior energia e justifica o fato do K disponível ter apresentado incremento até a profundidade de 35 cm com a aplicação de CSS, com percentuais de incremento muito altos (269%).

De acordo com as tabelas de interpretação propostas para os solos dos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CQFS-RS/SC, 2004), considera teores ideais de K disponível quando eles são maiores de 60 mg kg^{-1} em solos com CTC_{pH7} entre 5 e $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Por sua vez, todas as áreas que receberam dejetos de animais apresentam na profundidade até 10 cm valores bem acima do limite de 60 mg dm^{-3} de K, estabelecido como teor alto para essas classes de solo. Isso mostra que excessivas aplicações de K, principalmente proveniente de dejetos de animais, podem resultar em acúmulo de grande quantidade do nutriente na camada superficial do solo, aumentando o potencial de perda desse elemento por escoamento superficial (Basso, 2003).

Com relação ao Cu, o destaque foi quando do uso de DLS, pois proporcionou maior incremento no solo do que com CSS, DLB e NPK, até a camada de 2-4 cm, de 8-10 cm e 10-12 cm, respectivamente, bem como até 10-12 cm, em relação a testemunha sem aplicação de fertilizante. É importante observar que o uso de NPK proporcionou acréscimo de Cu no solo apenas na camada de 0-2cm. Da mesma maneira para o Zn, também se destacou o DLS, até a camada de 4-6 cm, mas diferente do Cu os teores de Zn diminuíram da camada de 6-8 cm até 25-30 cm com o uso de DLS, em relação a CSS (Tabela 5). Ficou evidenciado que, até a camada de 4-6 cm, os teores de Zn obedeceram a sequência: DLS>CSS>DLB>NPK>testemunha sem uso de fertilizante.

A adição de DLS e CSS proporcionou incrementos nos teores de Cu de 1525 e 961 % e nos teores de Zn de 568 e 526 % na camada de 0-2 cm de profundidade, respectivamente. A adição de CSS proporcionou incremento de Zn até 25-30 cm de profundidade. Os suplementos minerais contendo Cu e Zn, comumente incluídos na ração para suínos, resultam no enriquecimento do dejetos com esses elementos e quando aplicados ao solo favorece o incremento destes nutrientes na camada superficial, podendo atingir níveis tóxicos as plantas e animais (Giroto et al. 2013b). Os DLB são provenientes de um sistema onde os animais ruminantes consomem basicamente forragens e apenas são suplementados com rações e minerais. Neste caso, a concentração de metais dos dejetos gerados, dentre eles Cu e Zn, é baixa.

Tabela 5 Teores de K trocável extraído por Mehlich 1 e valores de Cu e Zn em camadas de solo submetido a aplicações de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Camada, cm	Controle	DLS ⁽²⁾	CSS ⁽³⁾	DLB ⁽⁴⁾	NPK ⁽⁵⁾
-----K, mg dm ⁻³ -----					
0-2	86,50a ¹ C	122,00 aB	143,00 aA	139,50 aA	120,50 aB
2-4	60,16 bC	63,25 bC	132,00 bA	91,00 bB	60,00 bC
4-6	22,00 cC	51,25 cB	96,00 cA	56,00 cB	49,50 cB
6-8	18,75 cC	45,50 dB	85,00 dA	50,00 cB	46,00 cB
8-10	17,25 cC	45,00 dB	71,00 eA	47,65 cB	45,50 cB
10-12	15,25 cD	43,50 dB	63,50 eA	46,50 cB	26,00 dC
12-14	16,50 cC	32,65 eB	52,00 fA	35,00 dB	23,50 dC
14-16	14,75 cC	28,50 fB	50,00 fA	31,00 eB	21,50 dC
16-18	12,50 dC	21,00 fC	48,50 fA	28,00 eB	18,00 dC
18-20	8,75 dB	16,50 gB	42,50 fA	24,00 eB	16,00 dB
20-25	8,75 dB	12,75 gB	42,00 fA	18,50 fB	11,50 eB
25-30	7,25 dB	13,50 gB	30,00 gA	14,50 fB	10,00 eB
30-35	7,25 dB	10,00 gB	26,75 gA	17,00 fB	10,00 eB
35-40	7,50 dA	7,75 gA	20,00 hA	12,50 fA	10,00 eA
40-50	7,25 dA	7,50 gA	15,25 hA	14,50 fA	7,50 eA
50-60	6,75 dA	7,75 gA	15,00 hA	12,00 fA	7,00 eA
60-70	6,50 dB	7,75 gB	19,00 hA	19,00 fA	6,50 aB
-----Cu, mg kg ⁻¹ -----					
0-2	1,67 aE	27,14 aA	17,73 aB	12,45 aC	4,57 aD
2-4	2,03 aD	20,01 bA	17,74 aB	6,49 bC	3,12 bD
4-6	2,15 aC	12,40 cA	12,75 bA	5,66 bB	3,07 bC
6-8	2,10 aC	7,27 dA	6,69 cA	3,95 cB	3,30 cB
8-10	2,23 aC	4,71 eA	5,31 dA	3,64 cB	2,48 cC
10-12	2,27 aB	3,71 eA	3,71 eA	3,46 cA	2,37 cB
12-14	2,28 aA	3,40 eA	3,24 eA	3,30 cA	2,49 cA
14-16	2,26 aB	3,44 eA	3,55 eA	3,24 cA	2,28 cB
16-18	2,33 aA	3,64 eA	3,42 eA	3,02 cA	2,46 cA
18-20	2,72 aA	3,26 eA	3,86 eA	3,06 cA	2,49 cA
20-25	2,68 aA	3,17 eA	3,59 eA	3,06 cA	2,31 cA
25-30	2,46 aA	3,13 eA	3,42 eA	2,84 cA	2,54 cA
30-35	2,32 aA	3,26 eA	3,06 eA	2,97 cA	2,54 cA
35-40	2,56 aA	3,44 eA	2,62 eA	2,93 cA	2,54 cA
40-50	2,55 aA	3,13 eA	2,35 eA	2,88 cA	1,97 cA
50-60	2,77 aA	3,17 eA	2,17 eA	2,80 cA	1,54 cA
60-70	2,72 aA	2,95 eA	2,39 eA	2,93 cA	1,54 cA
-----Zn, mg kg ⁻¹ -----					
0-2	9,75 aE	65,20aA	61,07 aB	43,04 aC	15,30 aD
2-4	5,49 bE	49,57bA	43,30 bB	29,44 bC	14,15 aD
4-6	3,33 cE	31,91cA	21,17 cB	16,77 cC	7,16 bD
6-8	2,61 cC	18,35dA	18,44 dA	8,34 dB	6,41 bB
8-10	1,90 cD	7,47eB	19,02 dA	4,78 eC	5,10 cC
10-12	1,66 cB	3,43fB	8,42 eA	3,27 eB	3,47 cB
12-14	1,30 dB	1,86fB	7,09 eA	2,05 fB	3,02 dB
14-16	0,89 dB	1,56fB	6,23 eA	2,19 fB	2,24 dB
16-18	0,83 dB	2,07fB	6,29 eA	1,47 fB	1,92 dB
18-20	0,74 dB	0,75gB	5,95 eA	0,88 fB	1,55 dB
20-25	0,47 dB	0,75gB	6,15 eA	0,79 fB	0,53 eB
25-30	0,38 dB	0,21gB	5,46 eA	0,68 fB	0,16 eB
30-35	0,44 dA	0,24gA	1,49 fA	0,48 fA	0,20 eA
35-40	0,27 dA	0,63gA	1,20 fA	0,48 fA	0,24 eA
40-50	0,71 dA	0,24gA	1,19 fA	0,52 fA	0,24 eA
50-60	0,50 dA	0,32gA	0,63 fA	0,59 fA	0,16 eA
60-70	0,56 dA	0,27gA	0,85 fA	0,67 fA	0,16 eA

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). ⁽²⁾ Dejetto líquido de suínos; ⁽³⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁴⁾ Dejetto líquido de bovinos; ⁽⁵⁾ Adubação mineral.

O mesmo não ocorre nos resíduos gerados pela suinocultura, os DLS e a CSS. Neste sistema, a alimentação dos animais consiste na sua totalidade de rações enriquecidas com Cu e Zn; que, devido sua baixa absorção no intestino dos animais, acabam por enriquecer seus dejetos (Mattias, 2006). Já quantidade de Cu e Zn adicionada ao solo via adubação mineral depende do grau de contaminação dos adubos. Em geral, os adubos químicos não representam um grande potencial de aporte de Cu e Zn para os solos.

Contudo, os dados apresentados na tabela 5, mostram que o teor Cu foi maior nas camadas superficiais no tratamento com DLS do que no adubado com CSS. Cabe lembrar que, devido ao processo de compostagem, a CSS pode, potencialmente, apresentar maior concentração de metais. Porém, observa-se também que a menor disponibilidade de Cu está relacionada aos maiores teores de matéria orgânica do solo (MOS) do tratamento com aplicação de CSS como observado na tabela 4. Isto ocorre porque a CSS apresenta maior quantidade material orgânico por unidade de nitrogênio aplicado. O carbono proveniente tanto da concentração da matéria seca dos dejetos como do substrato orgânico utilizado como base da CSS, quando adicionado ao solo pode aumentar os teores originais de MOS. Maiores teores de MOS representam maior quantidade de sítios de ligação para o Cu, que apresenta alta afinidade para grupos funcionais orgânicos (Croué et al., 2003). O resultado disto é a menor disponibilidade de Cu no solo, como observada na camada superficial do solo adubado com CSS.

Os teores de Zn disponível no solo foram maiores que os teores de Cu, em todos com tratamentos com adubação. Estes dados concordam com os reportados por e Basso et al. (2012) e ocorre porque o teor de Zn dos dejetos suínos é geralmente maior que o teor de Cu (Giroto, 2007). Em adição, os teores de Zn também foram maiores que os de Cu quando utilizado o DLS e CSS como fontes de nutrientes. Além da quantidade adicionada, outro fator que resulta na maior disponibilidade de Zn é a sua menor afinidade com os grupos funcionais da matéria orgânica, se comparado ao Cu, e preferência por formas trocáveis, que são mais móveis no solo (Lair; Gerzabek; Haberhauer, 2007). Isto explica a diferença nos teores de Zn observados entre o tratamento com CSS e DLS, pois a maior quantidade adicionada pela primeira, reflete em maiores teores disponíveis, visto que o aumento da MOS não resulta na maior sorção deste metal. Contudo, mesmo com menor energia de ligação se comparado ao Cu, parte do Zn adicionado ao solo fica sorvido na MOS (Fernández & Calviño et al., 2012).

Os teores de Cu e Zn disponíveis no solo após 8 anos já são muito maiores que os necessários para a nutrição das plantas que é de 0,4 mg kg⁻¹ para Cu e 0,5 mg kg⁻¹ para o Zn (CQFS RS/SC, 2004). Assim, o acúmulo destes metais no solo, especialmente na camada

superficial, onde crescem a maior parte das raízes das plantas, representa um problema para a produtividade das culturas. Maior atenção deve ser dada ao uso de DLS e CSS pois estas aportam maior quantidade de Cu e Zn ao solo. Dependendo da frequência e das quantidade utilizadas, em poucos anos os teores destes metais nos solos podem provocar algum tipo de alteração fisiológicas nas plantas, como já demonstrado por Girotto et al. (2013b).

4.5.2 Produtividade de grãos, de matéria seca e acúmulo de nutrientes em milho e feijoeiro

As maiores produtividades de grãos de milho, nas safras 2009/10, 2010/11 e 2011/12 e de feijão preto na safra de 2012/13 foram obtidas no solo com a aplicação de CSS (Figura 1). Deve-se ressaltar que as fontes orgânicas possibilitaram maior produtividade de grãos de milho nas safras 2009-2010, 2010-2011 e 2011-2012 e de feijão em 2012-2013, em relação ao uso da adubação mineral usual para estas culturas. A produtividade de grãos de milho variou de 2960 a 6283 kg ha⁻¹, na safra 2009/10, de 4838 a 9065 kg ha⁻¹, na safra 2010/11 e de 599 a 7569 kg ha⁻¹ na safra 2011/12, estando dentro da média de produção do estado do RS (CONAB, 2010).

A aplicação de CSS proporcionou incrementos na produtividade de grãos de 13, 42 e 95%, em relação ao solo com NPK nas safras 2009/10, 2010/11 e 2011/12, respectivamente. Na cultura do feijoeiro, os incrementos na produção foram de 319 e 173% em relação ao tratamento sem a aplicação de fertilizantes e com o uso de NPK, respectivamente. As maiores produtividades das duas culturas no solo com a aplicação de CSS pode ser atribuído, provavelmente, as maiores quantidades de nutrientes adicionados, especialmente P e K (Tabela 1), que se reflete em incremento dos teores de P disponível e K disponível no perfil do solo (Tabela 4 e 5). Além disso, a lenta mineralização do resíduo sólido adicionado ao solo, via CSS estimula a liberação gradativa dos nutrientes ao longo do ciclo das culturas (Giacomini et al., 2013). Somado a isso, a aplicação de resíduos orgânicos ao longo do tempo melhora os parâmetros relacionados à acidez (Chantigny et al., 2004; Lourenzi et al., 2011) e aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo (Adeli et al., 2008; Scherer et al., 2010; Lourenzi et al., 2013), favorecendo o desenvolvimento das culturas.

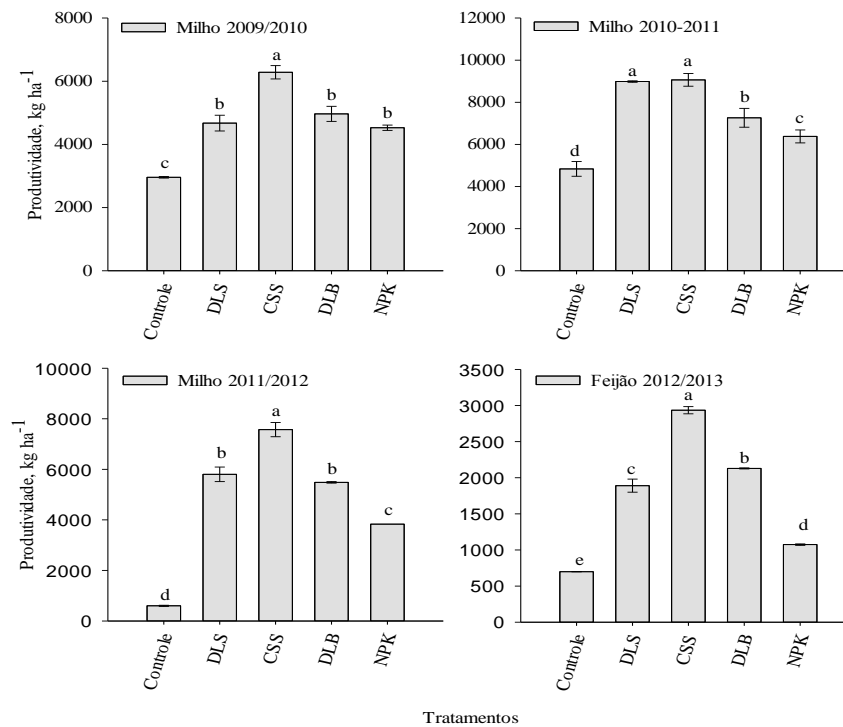


Figura 1 Produtividade de grãos das culturas de feijão e milho submetidos à adubação orgânica e mineral. Letras iguais indicam médias de um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5 % de probabilidade de erro.

As diferenças de produtividade entre as fontes orgânicas e o NPK durante os anos agrícolas, podem ser relacionados a uma melhoria na fertilidade do solo (Ceretta et al., 2003; Berwanger et al., 2008; Lourenzi et al., 2014b), além de aumentar a capacidade do solo em reter água, reduzindo erosão, melhorando a aeração e criando uma melhor ambiente para o desenvolvimento de microbiota do solo através da adição de matéria orgânica ao solo, especialmente em SPD (Alves et al., 2008). Os parâmetros MOS, P, K, Ca, Mg e V correlacionaram-se positivamente com a produtividade das culturas ($r:0,63$; $p<0,05$; $r:0,56$; $p<0,05$; $r:0,62$; $p<0,05$; $r:0,63$; $p<0,05$; $r:0,63$; $p<0,05$; $r:0,63$; $p<0,05$; $r:0,62$; $p<0,05$).

A produção de matéria seca das culturas mostrou a coerência entre produtividade de grãos e a matéria seca, pois quando do uso de CSS está esteve entre as maiores produções em cinco dos oito cultivos conduzidos de 2009 a 2013 (Tabela 6). As maiores produções de matéria seca (MS) de milho nas safras de 2009/10, 2010/11 e 2011/12 foram observadas no solo com a aplicação de CSS, que proporcionou incrementos de 27, 7 e 83%, em relação ao tratamento NPK. Cabe ressaltar que a aplicação de DLS na safra 2010/11 na cultura do milho aumentou a produção de MS em 34% em relação a testemunha. Na cultura do feijoeiro, a

adição da CSS promoveu o incremento de MS da parte aérea em 163 e 315%, em relação ao solo, tratamento NPK e sem aplicação de dejetos, respectivamente.

Os teores de N, P e K na parte aérea das plantas de milho e feijoeiro se destacaram com a aplicação de CSS sobre o solo. A aplicação de CSS, DLS, DLB e NPK ao longo de 2009/10, 2010/11, 2011/12 e 2012/13 favoreceu a produção de MS e acúmulo de N, P e K na parte aérea da aveia preta usada como cobertura de solo (Tabela 6). A adição de CSS proporcionou incrementos na produção de matéria seca de 80, 75, 71 e 127% em relação a testemunha nas safras 2009/10; 2010/11, 2011/12 e 2012/13, respectivamente.

Os incrementos na produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de nutrientes no tecido foram basicamente resultado da melhoria da fertilidade do solo devido as aplicações das fontes orgânicas ao solo (Basso et al., 2005; Assmann et al., 2007; Berwanger et al., 2008). Observou-se também um aumento nos teores de MOS, P disponível; K, Ca e Mg trocáveis acumulados no solo. Em estudo realizado por Shen & Shen (2001), avaliando a aplicação de dejetos de suínos na cultura do feijoeiro comum o aumento da produção de matéria seca foi atribuída à maior concentração de P e K na matéria seca da parte aérea.

4.5.3 Recuperação aparente de N, P e K pelas plantas

Na grande maioria dos cultivos, as plantas sob aplicação de DLS, CSS e DLB apresentaram maior recuperação aparente de N, P e K, em relação as plantas do solo com a aplicação de NPK (Tabela 6). As maiores recuperações independente da fonte de nutriente utilizada ocorreram para o N e para o K. A maior recuperação de N pelo milho e feijoeiro no solo com a aplicação de CSS pode ocorrer porque grande parte do nutriente contido neste resíduo é encontrado na forma orgânica, sendo mineralizado de forma gradativa aumentando a eficiência de absorção de N ao longo do ciclo da cultura (Giacomini et al., 2013). Os baixos valores de recuperação aparente obtidos para o P em relação ao N e ao K (Tabela 6), podem ser explicados, em parte, pela baixa exigência pelas culturas do milho e feijoeiro pelo nutriente (Ceretta et al., 2003). Lourenzi et al. (2014b) observaram recuperação aparente de P, em média, de 23, 21 e 18% para as doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de DLS, respectivamente, aplicadas em SPD e esses percentuais, em média, se aproximam dos obtidos no presente trabalho.

Tabela 6 Produção de matéria seca e quantidade acumulada de N, P e K no tecido das culturas submetidas à aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Tratamentos	Produção de matéria seca e acúmulo de nutriente										
	Primeiro ano agrícola (2009/2010)										
	Milho				Aveia preta				Rec. Aparente ²		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			%		
Controle	2,36 c ¹	23,97 c	5,10 c	33,71 d	1,89 c	53,04 c	7,36 d	38,00 c	-	-	-
DLS ³	5,34 a	89,82 b	14,10 a	83,09 b	3,27 b	61,00 b	9,50 b	53,76 b	32	18	94
CSS ⁴	5,18 a	94,73 a	14,40 a	105,04 a	3,41 a	79,90 a	10,39 a	59,88 a	37	15	53
DLB ⁵	3,79 b	52,55 b	9,51 b	68,57 c	3,33 a	83,90 a	8,80 c	54,68 b	23	17	48
NPK ⁶	4,05 b	52,36 b	8,75 a	57,62 c	2,95 b	57,39 b	8,47 c	55,14 b	29	25	30
	Segundo ano agrícola (2010/2011)										
	Milho				Aveia preta				Rec. Aparente ¹		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			%		
Controle	10,00 c	93,26 c	15,94 d	6,45 c	2,60 c	33,29 e	7,88 d	36,07 c	-	-	-
DLS	19,67 a	215,43 a	38,23 b	19,74 b	5,31 a	89,52 a	18,39 a	74,39 a	107	26	31
CSS	15,69 b	185,43 b	42,32 a	26,85 a	4,56 b	45,38 d	17,64 a	70,26 a	46	29	13
DLB	15,97 b	214,75 a	35,74 b	20,27 b	4,91 a	70,67 b	16,64 b	68,27 a	69	35	20
NPK	14,63 b	181,77 b	29,23 c	16,58 b	3,97 b	50,41 c	13,50 c	60,00 a	-8	-5	76
	Terceiro ano agrícola (2011/2012)										
	Milho				Aveia preta				Rec. Aparente ¹		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			%		
Controle	5,10 e	42,53 e	13,23 d	33,25 d	1,77 c	26,96 c	3,98 d	22,27 c	-	-	-
DLS	12,63 b	196,47 b	29,78 b	85,25 b	4,69 a	118,98 a	23,07 a	75,61 a	146	74	111
CSS	14,10 a	257,0 a	38,51 a	127,90 a	4,80 a	135,54 a	17,91 b	63,90 a	145	91	157
DLB	10,44 c	155,02 c	29,63 b	81,75 b	3,61 b	66,39 b	14,17 c	56,83 a	66	42	103
NPK	7,71 d	89,71 d	21,20 c	60,80 c	3,35 b	73,88 b	10,08 c	45,83 b	35	12	61
	Quarto ano agrícola (2012/2013)										
	Feijão Preto				Aveia preta				Rec. Aparente ¹		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			%		
Controle	1,30 c	12,79 d	4,55 c	5,40 c	0,88 c	10,62 c	2,36 d	8,57 c	-	-	-
DLS	4,25 b	79,62 b	24,33 a	33,66 b	2,94 a	31,18 a	8,71 a	18,17 b	87	36	69
CSS	5,40 a	146,17 a	29,53 a	61,40 a	2,00 b	18,26 b	6,50 b	21,95 a	275	27	67
DLB	4,02 b	73,98 b	25,90 a	35,03 b	1,89 b	18,02 b	5,70 c	21,80 a	51	23	36
NPK	2,05 c	45,83 c	13,18 b	12,46 c	1,42 b	16,40 b	4,94 c	18,30 b	116	40	57

(¹) Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$). (²) Recuperação aparente = [(quantidade de nutriente absorvido na dose - quantidade de nutriente absorvido no tratamento sem dejetos)/quantidade de nutriente adicionado via dejetos]x100; e letras iguais indicam médias de um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. (³) Dejetos líquidos de suínos; (⁴) Cama sobreposta de suínos; (⁵) Dejetos líquidos de bovinos; (⁶) Adubação mineral

Os maiores valores de recuperação aparente pelas plantas para o K foram observados quando houve a aplicação de DLS e CSS (Tabela 7). Para o K foram observados os maiores valores de recuperação aparente pelas culturas em relação ao P, especialmente para o milho e aveia preta nas safras 2009/2010 2011/2012. Isso acontece porque a maior parte do K presente nos dejetos é encontrada na forma mineral (Kayser & Isselstein, 2005), prontamente disponível para as plantas. Dessa forma, ocorre aumento do teor do nutriente na fração trocável, que pode ser absorvido pelas plantas inclusive acima da sua necessidade (Kaminski et al., 2007). Isso explica valores de recuperação aparente de K em alguns casos acima de 100% (Tabela 7), significando que as plantas absorveram, além do K aplicado via dejetos, o K trocável presente no solo, como observado por Ceretta et al. (2003) e Lourenzi et al. (2013).

4.5.4 ACP

Considerando as diferentes fontes de nutrientes, a análise de componentes principais (ACP) explicou 72,91 % da variabilidade dos dados. Desse total 59,08 é explicado pelo eixo 1 e 13,83 pelo eixo 2. Verificou-se uma correlação negativa entre a saturação por alumínio, os teores de alumínio no solo e a acidez potencial do solo com as outras variáveis analisadas (Figura 2). Os teores de MOS e a saturação de bases apresentaram alta correlação positiva com a produção de matéria seca da parte aérea e com a produtividade das culturas. Entre as variáveis químicas avaliadas, o aumento nos teores de Ca, Mg, P, K e MOS e o aumento na saturação de bases no solo, são as variáveis que mais favoreceram o aumento da produtividade de grãos das culturas. Há uma tendência dos dados onde houve a aplicação de DLS e DLB se localizarem mais no centro dos gráficos, mostrando uma baixa influência dos teores das variáveis analisadas (Figura 2).

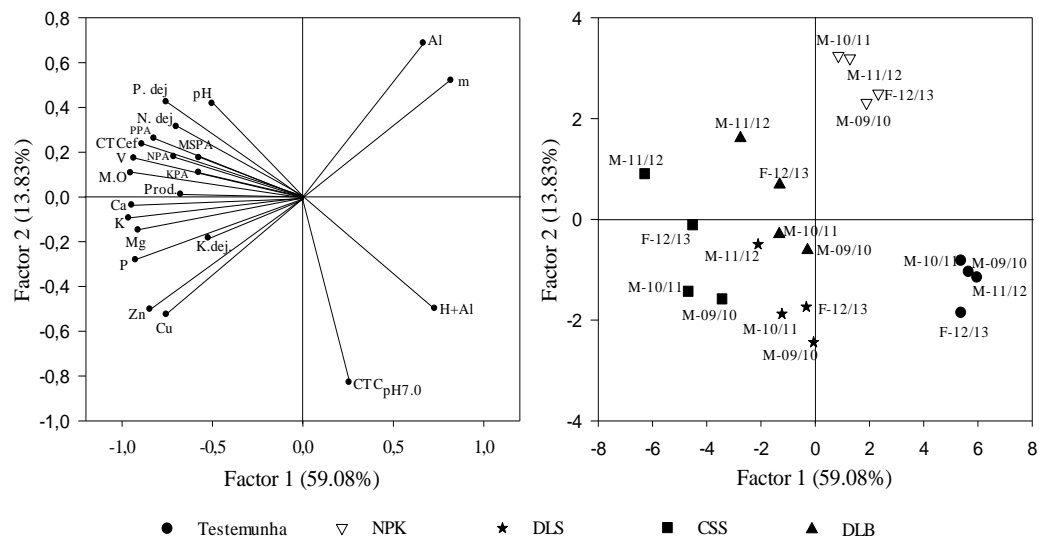


Figura 2. Análise dos componentes principais (ACP) - matéria seca da parte aérea (MSPA), produtividade (Prod.), teor de N na parte aérea (NPA), teor de P na parte aérea (PPA), teor de K na parte aérea (KPA), pH em H₂O, Ca, Mg, K, P, Cu, Zn e Al no solo, saturação por alumínio, saturação de bases, CTC efetiva (CTC_{ef}), CTC_{pH7.0}, acidez potencial (H+Al) no solo com a aplicação das diferentes fontes de nutriente.

4.6 Conclusões

A utilização de fontes orgânicas, por maiores períodos de tempo, ao mesmo tempo em que permite um aumento no pH do solo, podendo tornar não necessária a calagem, também proporciona incrementos em atributos importantes do solo como matéria orgânica, P, K, Ca e Mg disponíveis no solo, em relação ao uso da adubação mineral tradicional.

Em relação ao dejetos líquido de bovinos e de suínos, se destacou a cama sobreposta de suínos, pelo incremento, tanto na produtividade de grãos, quanto de matéria seca, acúmulo e recuperação aparente de N, P e K das culturas.

4.7 Agradecimentos

Ao CNPq e a FAPERGS, pela disponibilidade de recursos financeiros que possibilitaram a realização do experimento.

4.8 Literatura Citada

ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E.; MCLAUGHLIN, M.R.; BRINK, G.E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. *Soil Sci.* 173:223-235, 2008.

- ANAMI, M.H.; SAMPAIO, S.C.; SUSZEK, M.; DAMASCENO, S.; QUEIROZ, M.M.F. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de água residuária da suinocultura em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.1, p.75-80, 2008.
- ASSMANN, T.S.; ASSMANN, J.M.; CASSOL, L.C.; DIEHL, R.C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E.C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*. 31:1515-1523, 2007.
- ASSMANNI, J.M.; BRAIDA, J.A.; CASSOL, L.C.; MAGIERO, E.C.; MANTELI, C.; GRIZ, E. 2009. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. *Ciência Rural* 39: 2408-2416.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS. 2012. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acesso em 10 de setembro de 2014.
- BARROW, N.J.; BOLLAND, M.D.A.; ALLEN, D.G. Effect of previous additions of superphosphate on sorption of phosphate. *Aust. J. Soil Res.*, 36:359-372, 1998.
- BARROW, N.J. The four laws of soil chemistry: the Leeper lecture 1998. *Aust. J. Soil Res.*, 37:787-829, 1999.
- BASSO, C. J. Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos. 2003. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2003.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II - Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35: 1305-1312, 2005.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; FLORES, É. M. DE M.; GIROTTO, E. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejeito líquido de suínos. *Ciência Rural*, v.42, p.653-659, 2012.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. & MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:599-607, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431p. (Boletim Técnico 30).
- 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.
- BRUNETTO, G.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B.S.; MORAES, M.P.; GATIBONI, L.C.; LOVATO, P.E. & CERETTA,

- C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in a Sandy Typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. R. Bras. Ci. Solo, 36: 1620-1628, 2012.
- CABRAL, J.R. et al. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. Rev. bras. eng. agríc. ambient. 2011, vol.15, n.8, pp. 823-831.
- CASSOL, P.C.; COSTA, A.C. da; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C.M.; ERNANI, P.R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1911-1923, 2012.
- 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. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. Ciência Rural, Santa Maria, RS, v. 35, n. 6, p. 1287 – 1295, 2005.
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; DE 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, 2010a.
- CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. Agric. Ecosyst. Environ., 139:689-699, 2010b.
- CIANCIO, N.R et al. Crop response to organic fertilization with supplementary mineral nitrogen. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 3, p. 912-922, 2014.
- CHANTIGNY, M.H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; MASSE, D.; COTE, D. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:306-312, 2004.
- CHANTIGNY, M.;H.; ANGERS, D.A.; BÉLANGER, G.; ROCHETTE, P.; HAMEL, N.E.; BITTMAN, S.; BUCKLEY, K.; MASSÉ, D. & GASSER, M.O. Yield and nutrient export of grain corn fertilized with raw and treated liquid swine manure. Agron. J., 100:1303-1309, 2008.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira – Grãos. Quarto levantamento, 2010.
- CROUÉ, J. P.; BENEDETTI, M. F.; VIOLLEAU, D. et al., Characterization and copper binding of humic and nonhumic organic matter isolated from the south platte river:

- Evidence for the presence of nitrogenous binding site. *Environmental Science & Technology*, v.37, p.328-336, 2003.
- DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J. & GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1714-1723, 2012.
- DURIGON, R.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R. & PAVINATO, P.S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suíno. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:983-992, 2002.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA SOLOS. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília-DF, 2013, 3 ed. 353p.
- 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.
- FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *R. Symposium*, 6:36-41, 2008.
- FERREIRA, D. F. SISVAR 4,6 - programa de análise estatística. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. 1 CD-ROM.
- FRANCHINI, J.C.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, A. Organic composition of green manure during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.34, p.2045-2058, 2003.
- FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; PATEIRO-MOURE, M.; NÓVOA-MUÑOZ, J. C. et al. M. Zinc distribution and acid-base mobilization in vineyard soil and sediments. *Science of the Total Environment*, v.414, p.470-479, 2012.
- GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1753-1761, 2008.
- GEBRIM, F.O et al. Lixiviação de cátions favorecida pela presença de ânions inorgânicos e ácidos orgânicos de baixa massa molecular em solos adubados com camas de aviário. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, Dec. 2008.
- GIACOMINI, S.J. et al. "Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48.2 (2013): 211-219.

- GIROTTTO, E. Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos. 2007. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D.R. dos; SILVA, L.S. da; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R.C.B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.955-965, 2010.
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C.A.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; TRENTIN, G.; BASSO, C.J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 95:115-131, 2013a.
- GIROTTTO, E.; CERETTA, C. A.; ROSSATO, L. V. et al. Triggered antioxidant defense mechanism in maize grown in soil with accumulation of Cu and Zn due to intensive application of pig slurry. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.03.021, 2013b.
- GUILLOU, C.L.; ANGERS, D.A.; MARON, P.A.; LETERME, P.; MENASSERI-AUBRY, S. Linking microbial community to soil water-stable aggregation during crop residue decomposition. *Soil Biol. and Biochemistry*, 50:126-133, 2012.
- HERNÁNDEZ, D.; PLAZA, C.; SENESI, N.; POLO, A. Detection of copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy. *Environ. Poll.*, 143:212-220, 2006.
- 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. Indicadores IBGE – Estatística da Produção Pecuária. Rio de Janeiro, 2011. 24p.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil & Tillage Research*, v.95, n.1, p.97-109, 2007.
- KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L.S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.573-580, 2005.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *R. Bras. Ci. Solo*. 31:1003-1010, 2007.
- KAYSER, M. & ISSELSTEIN, J. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass Forage Sci.*, 60:213-224, 2005.

- LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; HOLANDA NETO, M. R.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1273- 1280, 2010
- LAIR, G. J.; GERZABEK, M. H.; HABERHAUER, G. Sorption of heavy metals on organic and inorganic soil constituents. *Environmental Chemistry Letters*, v.5, p.23-27, 2007.
- LOURENZI, C. R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1827-1836, 2011.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:157-167, 2013.
- LOURENZI, C. R., CERETTA, C. A., CERINI, J. B., FERREIRA, P. A. A., LORENSINI, F., GIROTTO, E., & LUIS, T. Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a typic hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources. *Bras. Ci. Solo*, 38:544-556, 2014a.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; CANCIAN, A. & FERREIRA, P.A.A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:949-958, 2014b.
- MATTIAS, J. L. Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina. 2006. 165f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- McDOWELL, R.; SHARPLEY, A.; FOLMAR, G. Phosphorus export from an agricultural watershed: Linking source and transport mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 30:1587-1595, 2001.
- MITCHELL, W.W. & TEEL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.*, 69:569-573, 1977.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A Modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27:31-36, 1962.
- PARFITT, R.L. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *J. Soil Sci.*, 40:359-369, 1989.
- PAUL, J. W.; BEAUCHAMP, E. G. Relationship between volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries. *Biol. Wastes*, 29:313-318, 1989.
- PAVAN, M.A. Mobilização orgânica do calcário no solo através de adubo verde. In: PAULETTI, V. & SEGANFREDO, R. *Plantio direto: Atualizações tecnológicas*. Castro, Fundação Cargill, 1999. p.45-52.

- PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Effects of organic compounds produced by plants on soil nutrient availability. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.911-920, 2008
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:345-354, 2000.
- SARTOR, L. R. et al. Effect of swine residue rates on corn, common bean, soybean and wheat yield. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 661-669, 2012.
- 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.
- STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:395-401, 2001.
- SEIDEL, E.P.; GONÇALVES JUNIOR, A.C.; VANIN, J.P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. *Revista Acta Scientiarum Technology*. Maringá, v.32, n.2, p.113-117, 2010.
- SCHERER, E.E.; NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1375-1383, 2010.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. *CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination*. New York, 1998.352p. (version 4.5)
- TIECHER, T.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A.; COMIN, J.J.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; MORAES, M.P.; BENEDETT, L.; FERREIRA, P.A.A.; LOURENZI, C.R. & COUTO, R.R. Forms and accumulation of copper and zinc in a sandy typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep litter. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:812- 824, 2013.
- VEIGA, M.; PANDOLFO, C. M.; BALBINOT JUNIOR, A. A; SPAGNOLLO, E. Chemical attributes of a Hapludox soil after nine years of pig slurry application. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.12, p.1766- 1773, 2012.
- WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:962-966, 2000.

5 ESTUDO II - FORMAS DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA SOLUÇÃO ESCOADA E PERCOLADA EM ARGISSOLO COM APLICAÇÕES DE FONTES ORGÂNICA E MINERAL DE NUTRIENTES²

5.1 Resumo

A aplicação de fontes orgânica e mineral de nutrientes de maneira contínua e/ou em excesso sobre uma mesma área pode promover o acúmulo de nutrientes em solos cultivados. Dessa forma, pode ocorrer o transporte de elementos como o nitrogênio (N) e fósforo (P) para ambientes aquáticos por meio do escoamento superficial e percolação, causando desequilíbrios ambientais. Nesse sentido, o presente estudo visou avaliar as transferências de formas de N e P pela solução escoada e percolada em um Argissolo Vermelho submetido a aplicações sucessivas de fontes orgânica e mineral de nutrientes e manejado sob sistema plantio direto. O estudo foi desenvolvido na área experimental pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico e os tratamentos utilizados foram: dejetos líquidos de suínos (DLS), cama sobreposta de suínos (CSS), dejetos líquidos de bovinos (DLB), adubação mineral (NPK) e um tratamento sem aplicação de nutrientes. A dose de cada fonte a ser aplicada foi determinada em função da recomendação de N para as culturas. Durante os anos agrícolas de 2009 a 2012 foi cultivado a sucessão de aveia preta e milho. Durante os anos de 2012 a 2013 foi implantada a sucessão aveia preta e feijão preto. Após cada evento de chuva com volume suficiente para provocar escoamento e/ou percolação, foram realizadas coletas da solução escoada e percolada, quantificado o volume e analisado o teor de N mineral e os teores de P solúvel, total e particulado. Os resultados obtidos demonstraram que as aplicações de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes, ao longo dos anos, proporcionaram maiores transferências de N mineral, por escoamento superficial e percolação, no solo submetido à aplicação de DLS e CSS, enquanto que as maiores transferências das formas de P foram observadas nos tratamentos com aplicação de DLS, DLB e CSS, tanto para a solução escoada quanto para a percolada.

Termos para indexação: resíduos de animais, transferências de nutrientes, contaminação ambiental

² Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (Anexo A)

5.2 Summary

The application of mineral and organic nutrient sources continuously and / or excess on an area can promote the accumulation of nutrients in soils. Thus, there may be transport elements such as nitrogen (N) and phosphorus (P) to aquatic environments through runoff and percolation, causing environmental imbalances. In this sense, the present study aimed to evaluate the transfer of forms of N and P by the drained solution and percolated in a submitted Typic Paleudalf the successive applications of organic and mineral nutrient sources and managed under no-tillage system. The study was conducted in an experimental area of the Department of Soil Science, Federal University of Santa Maria. The soil was classified a Typic Hapludalf and the treatments were: pig slurry applications (PS), cattle slurry (CS), pig deep-litter (PL) and mineral fertilizers (NPK) and a non-application treatment nutrients. The dose of each source to be applied was determined according to the demand of N cultures. During the growing seasons from 2009 to 2012 was grown succession of black oats and corn. During the years 2012-2013 was implemented oat succession and black beans. After each rain event with sufficient volume to cause flow and / or percolation, collections of drained and leached solution were made, quantified the volume and analyzing the mineral N content and soluble P concentrations, and total particulate. The data show that the application of different organic and mineral nutrient sources over the years provided greater transfer of mineral N, surface runoff and percolation in the soil under the application of DLS and CSS. The largest transfers of P were observed in treatments with application of DLS, DLB and CSS in drained and leached solution.

Index terms: *animal waste, transfers nutrients, environmental contamination.*

5.3 Introdução

Na região sul do Brasil, a bovinocultura e a suinocultura estão entre as principais atividades agropecuárias, alavancando o crescimento e o desenvolvimento, principalmente, de pequenos produtores rurais. A região sul é responsável por 32% da produção leiteira nacional, com aproximadamente, 22,44 milhões de cabeças (EMBRAPA, 2009) e o rebanho suíno conta com, aproximadamente, 39,3 milhões de cabeças, sendo responsável por mais de 54 % dos suínos no Brasil (EMBRAPA, 2012).

Essas atividades geram grandes volumes de dejetos líquidos e sólidos os quais, por possuírem grandes quantidades de nutrientes na sua composição, tornam-se uma fonte de nutrientes viável técnica e economicamente para os produtores utilizarem em lavouras com

culturas anuais e/ou pastagens (Basso et al., 2005a; Ceretta et al., 2005a; Higarashi et al., 2008; Pandolfo et al., 2008; Lourenzi et al., 2014a; Ciancio et al., 2014).

Diferentes estudos demonstram que o uso contínuo de dejetos de animais promove incremento nos teores de nutrientes no solo (Assmann et al., 2007; Adeli et al., 2008; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013) e aumento na produtividade de grãos e matéria seca pelas culturas (Ceretta et al., 2005a; Ciancio et al. 2014; Lourenzi et al., 2014a), favorecendo a ciclagem de nutrientes e minimizando os custos dentro da própria unidade de produção. Nesse sentido, em estudo avaliando os efeitos de sucessivas aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos em um Argissolo no sul do Brasil, Lourenzi et al. (2013) observaram incrementos nos teores totais de N e P e nos teores disponíveis de P e K no solo. Nesse mesmo experimento, Lourenzi et al. (2014a) observaram que as maiores doses de dejetos de suínos proporcionaram maior rendimento de grãos para as culturas de feijão preto e milho, além do aumento na produção de matéria seca de culturas de cobertura como a aveia-preta, crotalária, ervilhaca e nabo forrageiro.

O acúmulo excessivo de nutrientes no solo pode potencializar a transferência dos mesmos por escoamento superficial e/ou percolação, especialmente N e P. Logo após as aplicações do dejetos ao solo, aumentam as transferências de N nas formas amoniacais (N-NH₄⁺ e N-NH₃) em função de que a maior parte do N mineral presente nos dejetos encontra-se nessa forma, em virtude dos dejetos serem armazenados em reservatórios anaeróbios. Posteriormente, em função do processo de nitrificação, aumentam as transferências de N pela solução escoada e percolada na forma de nitrato (N-NO₃⁻) (Aita et al., 2007; Diez et al., 2001; Payet et al., 2009). O nitrato representa a forma mais móvel do N no perfil do solo podendo ser transferido por percolação (Aita; Giacominni, 2003; Bakhsh et al., 1999; Basso et al., 2005b). Isso ocorre devido a sua baixa capacidade de interação e retenção às partículas reativas do solo (Sharpley et al., 1993). Nesse sentido, Giroto et al. (2013) observaram transferências de N na solução percolada em estudo realizado com a aplicação de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos durante cinco anos em sistema de plantio direto.

Para o P, as aplicações sucessivas de dejetos em uma mesma área ocasionam acúmulo desse elemento, especialmente, nas camadas superficiais do solo (Ceretta et al., 2003; Ceretta et al., 2010a, Adeli et al., 2008; Giroto et al., 2010; Scherer et al., 2010; Lourenzi et al., 2013). A adição de P em quantidades superiores as exigidas pelas plantas promove incrementos nos teores disponíveis desse elemento no solo, potencializando as transferências de fósforo por escoamento superficial (Ceretta et al., 2010b; Gessel et al., 2004; Lourenzi et

al., 2014b; Vadas et al., 2011) e percolação (Aronsson et al., 2007; Basso et al., 2005b; Girotto et al., 2013; Kang et al., 2011; Piovesan et al., 2009).

As transferências de P por escoamento superficial e percolação ocorrem nas formas solúvel e particulada que, segundo Haygarth & Sharpley (2000), o fósforo solúvel (ou dissolvido) é obtido em solução filtrada a $<0.45 \mu\text{m}$ e o fósforo particulado obtido pela diferença entre o fósforo total da amostra não filtrada e o fósforo solúvel (filtrado a $<0.45 \mu\text{m}$). Em estudo desenvolvido na Suíça, Hahn et al. (2012) encontraram altos níveis de P em solos com histórico de aplicações de dejetos bovinos e suínos e, por consequência, maiores transferências de P pela solução escoada. Nesse mesmo sentido, em estudo desenvolvido no sul do Brasil, Ceretta et al. (2010) verificaram que as transferências de P pela solução escoada em um Argissolo com aplicações de 0, 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suíno estava relacionada a quantidade de nutrientes adicionados via dejetos.

Desta maneira, a transferência de N e P pela solução escoada e percolada tem sido tema de trabalhos em tradicionais países criadores de suínos e bovinos do Mundo e também no Brasil (Basso et al., 2005b; Carneiro et al. 2012; Ceretta et al., 2005b; Ceretta et al. 2010b; Daverede et al., 2004; Girotto et al., 2013; Kleinman et al., 2009; Mori et al., 2009; Sorensen; Rubæk, 2012; Timofiecsyk et al.; 2012; Sweeney et al., 2012; Silveira et al., 2011; Vadas et al., 2011; Wang et al., 2013; Withers et al., 2000). Os principais resultados obtidos por esses autores evidenciam que as quantidades transferidas desses elementos são dependentes, especialmente, da quantidade do nutriente adicionado ao solo através dos dejetos, do tipo de solo, do teor do elemento no solo, da frequência e do volume de água das precipitações, bem como do sistema de cultivo e da capacidade de exportação das plantas (Ceretta et al., 2010b; Daverede et al., 2004; Hart et al., 2004;). Por isso, torna-se necessária a realização de experimentos regionais de campo em solos com históricos de aplicações de fontes orgânicas e mineral de nutrientes com o intuito de verificar o potencial poluente dessa prática amplamente adotada na região sul do Brasil.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a transferência de formas de N e P na solução escoada e percolada em um Argissolo Vermelho submetido a aplicações sucessivas de fontes orgânica e mineral de nutrientes e manejado sob sistema plantio direto.

5.4 Material e Métodos

5.4.1 Caracterização da área experimental

O presente estudo foi desenvolvido em área experimental pertencente ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizado na

região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa 2 segundo classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,3°C, precipitação média anual de 1561 mm e umidade relativa de 82%. O solo foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2013), pertencente à Unidade de Mapeamento São Pedro (Brasil, 1973), com as seguintes características na camada de 0-10 cm antes da implantação do experimento: 56 g kg⁻¹ de argila; 316 g kg⁻¹ de silte; 628 g kg⁻¹ de areia; 22 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 4,65; 24 mg kg⁻¹ de P e 32 mg kg⁻¹ de K (ambos extraídos por Mehlich⁻¹); 0,3 cmol_c dm⁻³ de Al, 0,65 cmol_c dm⁻³ de Ca e 0,38 cmol_c dm⁻³ de Mg (ambos extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); 2,72 cmol_c kg⁻¹ de H+Al; 1,41 cmol_c kg⁻¹ de Capacidade de Troca de Cátions (CTC_{efetiva}); 4,13 cmol_c kg⁻¹ de CTC_{pH 7,0}; saturação por Al de 21,27% e saturação por bases 9,37%.

O experimento foi instalado no ano de 2004 em área sob sistema de plantio direto utilizando a sucessão de culturas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) e milho (*Zea mays* L.). Os tratamentos foram aplicados anualmente, sempre antes da implantação da cultura do milho até o ano agrícola 2009/2010, quando optou-se pela aplicação dos tratamentos antecedendo ambas as culturas da sucessão. Os tratamentos consistiram da aplicação de dejetos líquido de suínos (DLS), cama sobreposta de suínos (CSS), dejetos líquido de bovino (DLB), adubação mineral (ureia + superfosfato triplo + cloreto de potássio) e um tratamento testemunha sem aplicação de nutrientes. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensões de 5 X 5 m (25 m²). O período de avaliação do experimento para o presente estudo foi de novembro de 2009 a outubro de 2013. Nos anos agrícolas de 2009/2010 a 2011/2012 foi utilizada a sucessão milho (*Zea mays* L.) e aveia preta (*Avena strigosa*), enquanto que no ano agrícola 2012/2013 optou-se pela sucessão feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) e aveia preta (*Avena strigosa*).

5.4.2 Caracterização dos dejetos aplicados durante a condução do experimento.

O DLS aplicado foi proveniente de reservatórios anaeróbicos de propriedades suinícolas próximos a UFSM, sendo composto por fezes, urina, restos alimentares e água da lavagem das instalações. A CSS foi proveniente do setor de suinocultura da UFSM, sendo composta por resíduos de beneficiamento de arroz, fezes, urina e restos alimentares. O DLB foi proveniente de reservatórios anaeróbicos do setor de bovinocultura da UFSM, sendo composto por fezes, urina, restos alimentares e água da lavagem das instalações. Para análise da composição química do DLS, CSS e DLB foi coletada uma amostra de cada dejetos após a retirada dos mesmos dos reservatórios seguida de uma homogeneização.

A dose de dejetos a ser aplicada antes da implantação de cada cultura foi determinada com base na exigência de N pela cultura, conforme recomendação da CQFS – RS/SC (2004). Para isso, realizou-se uma digestão ácida e foram determinados os teores de N nos dejetos, em base úmida, conforme Tedesco et al. (1995). Também foram determinados os teores de P (Murphy and Riley, 1962) e K (espectrofotômetro de chama -B262 Micronal). Para a determinação dos teores de matéria seca (MS), as amostras de dejetos foram quantificadas e secas a 65°C em estufa com circulação de ar forçada até atingir massa constante.

Após a quantificação do N nas amostras de dejetos, calculou-se a quantidade de dejetos a ser aplicada para suprir a demanda de N pelas culturas, considerando o índice de eficiência de cada dejetos, de acordo com a recomendação da CQFS – RS/SC (2004). As características dos dejetos e as quantidades totais de nutrientes aplicados em cada cultura são apresentadas na tabela 1.

A aplicação das fontes de nutrientes foi realizada na superfície do solo antes da semeadura das culturas. Desde o início do experimento até o ano agrícola de 2012/2013 foram aplicados 1151,8 kg ha⁻¹ de N, 457,2 kg ha⁻¹ de P e 580,1 kg ha⁻¹ de K via DLS; 1689,8 kg ha⁻¹ de N, 1102,1 kg ha⁻¹ de P e 1656,3 kg ha⁻¹ de K via CSS; 1695,8 kg ha⁻¹ de N, 497,8 kg ha⁻¹ de P e 1276 kg ha⁻¹ de K via DLB e 920 kg ha⁻¹ de N, 436,5 kg ha⁻¹ de P e 562 kg ha⁻¹ de K via fertilizante mineral.

Tabela 1 Características das diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura durante a condução do experimento.

Características dos dejetos	Nutrientes aplicados													
	Primeiro ano agrícola (2009/2010)													
	Milho				Aveia preta									
	DLS ⁽¹⁾	CSS ⁽²⁾	DLB ⁽³⁾	NPK ⁽⁴⁾	DLS	CSS	DLB	NPK						
Matéria seca (%)	1,76	38,77	9,7		4,12	66,22	3,66							
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹		
N total	0,14	131	1,22	203	0,21	203	105	0,39	100	1,07	59	0,22	59	30
P total	0,03	29	0,33	55	0,04	27	26	0,14	34	0,52	27	0,04	8	13
	Segundo ano agrícola (2010/2011)													
	Milho				Aveia preta									
	DLS	CSS	DLB	NPK	DLS	CSS	DLB	NPK						
Matéria seca (%)	2,83	56,31	5,48		3,19	53,58	3,84							
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
N total	0,16	129	0,8	206	0,18	210	105	0,43	38	1,32	20	0,02	20	30
P total	0,1	106	0,4	102	0,04	49	26	0,15	19	1,5	24	0,03	32	13
	Terceiro ano agrícola (2011/2012)													
	Milho				Aveia preta									
	DLS	CSS	DLB	NPK	DLS	CSS	DLB	NPK						
Matéria seca (%)	2,09	71,89	1,8		1,03	78,94	4,37							
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
N total	0,3	131	1,38	203	0,16	203	105	0,16	38	0,98	20	0,03	26	30
P total	0,04	32	0,05	35	0,03	54	26	0,07	16	0,41	8	0,01	9	13
	Quarto ano agrícola (2012/2013)													
	Feijão preto				Aveia preta									
	DLS	CSS	DLB	NPK	DLS	CSS	DLB	NPK						
Matéria seca (%)	4,52	73,21	4,27		3,19	67,01	2,24							
	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	
N total	0,3	63	0,44	92	0,08	92	50	0,48	38	1,19	42	0,07	42	30
P total	0,13	43	0,27	68	0,03	48	11	0,37	29	1,32	39	0,06	34	13

⁽¹⁾ Dejeito líquido de suínos; ⁽²⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽³⁾ Dejeito líquido de bovinos; ⁽⁴⁾ Adubação mineral.

5.4.3 Coleta e análise da solução escoada e percolada

Para a avaliação da solução escoada foram instalados, em julho de 2008, calhas coletores confeccionadas a partir de placas de PVC com espessura de 4,0 mm. As calhas possuem dimensões de 75 x 50 cm e estão ligados por mangueiras a recipientes com capacidade de 25 litros para armazenagem da solução escoada (Figura 1). Em cada unidade experimental foi instalada uma calha, sendo a declividade da área experimental em torno de 3%. Igualmente em julho de 2008, para a avaliação da solução percolada, foram instalados lisímetros de tensão zero a 70 cm de profundidade no solo. Estes lisímetros possuem dimensões de 60 X 40 cm e foram confeccionados utilizando-se chapas de PVC com espessura de 4,0 mm (Figura 2). Em cada unidade experimental foram instalados dois lisímetros, os quais foram conectados por uma mangueira a um recipiente de armazenagem, cuja capacidade é de 5 litros. Esses lisímetros trabalham em condições de estrutura de solo

indeformada, amostrando a solução que é conduzida através do espaço poroso do solo. O procedimento geral de instalação seguiu o descrito por Jemison; Fox (1992).

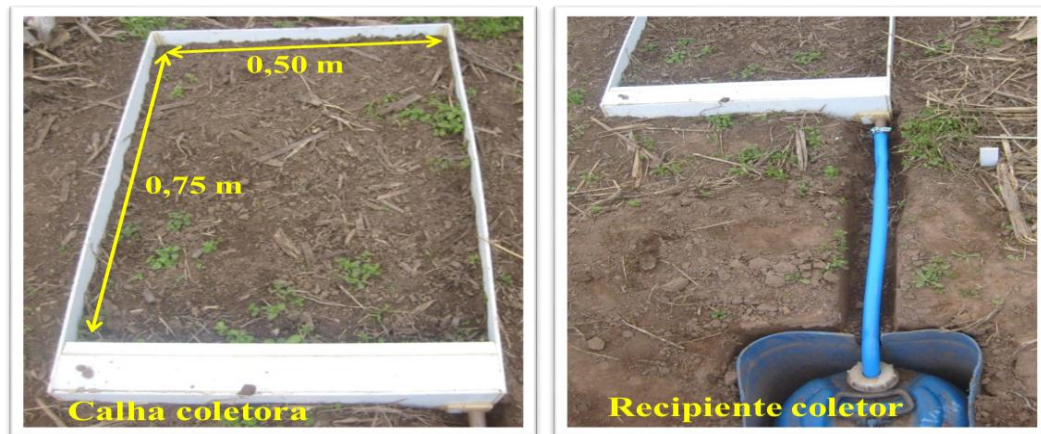


Figura 1 Imagem da calha (esquerda) e calha ligada ao galão para armazenagem da solução escoada superficialmente (direita).

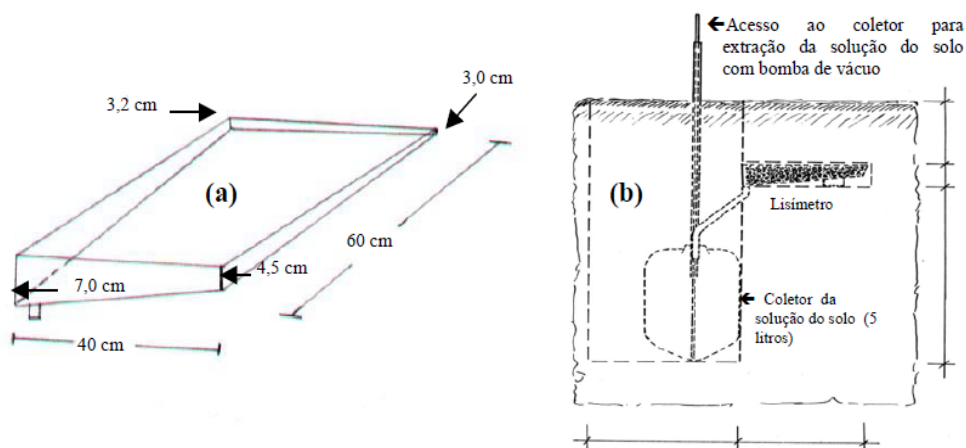


Figura 2 Desenho do lisímetro (a) e esquema da instalação dos lisímetros (b) para coleta da solução do solo.

Após cada evento (chuva + escoamento superficial e/ou percolação) a solução foi coletada, mensurada e uma alíquota de 500 ml foi levada ao laboratório para posterior análise. Para a determinação das concentrações de N mineral nas amostras, 20 ml da solução foram acondicionados em tubos de destilação e, posteriormente, adicionou-se 0,2 g de MgO para a determinação dos teores de amônio (N-NH_4^+) em destilador de arraste de vapor semi-micro Kjeldahl, sendo o destilado recolhido em ácido bórico e, posteriormente, titulado com H_2SO_4 0,005N (Tedesco et al., 1995). No mesmo tubo utilizado para a determinação dos teores de N-NH_4^+ , adicionou-se 0,2 g de liga de Devarda para determinação dos teores de nitrato (N-NO_3^-

), também em destilador de arraste de vapor semi-micro Kjeldahl, sendo o destilado recolhido em ácido bórico e, posteriormente, titulado com H_2SO_4 0,005N (Tedesco et al., 1995). O N-mineral foi determinado através da soma dos teores de $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$.

Para a determinação dos teores de fósforo solúvel (P_{sol}), uma alíquota de 40 a 50 ml da solução coletada foi filtrada em membrana de 0,45 μm , segundo metodologia proposta por Silva et al. (1999). Os teores de fósforo total (P_{total}) foram determinados através de digestão nitroperclórica das amostras, segundo metodologia APHA (2005). Os teores de P-solúvel e P-total nas soluções foram determinados por colorimetria (Murphy & Riley, 1962) e os teores de fósforo particulado (P_{part}) foram obtidos pela diferença entre o P_{total} e P_{sol} , conforme metodologia descrita por Haygarth & Sharpley (2000).

5.5 Análise estatística

Os dados obtidos referentes as transferências de solução e das formas de nitrogênio e fósforo por escoamento superficial e percolação foram submetidos à análise de variância, empregando-se o sistema de análise estatística Sisvar, versão 4,0 (Ferreira, 2008). Quando os efeitos foram significativos, foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade de erro. Posteriormente, realizou-se análise de Correlação de Pearson entre a quantidade de fósforo aplicado, fósforo disponível, volume da solução escoada e as diferentes formas de nitrogênio e fósforo transferidos pela solução escoada e percolada.

5.6 Resultados e Discussão

5.6.1 Transferência de solução por escoamento superficial

As transferências de solução por escoamento superficial foram maiores no tratamento controle, sem aplicação de nutrientes, em todos os cultivos avaliados (Tabela 2). Para a cultura da aveia (2010), o volume transferido foi de 3719 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, o que correspondeu a 55,2% do volume total das precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura (Tabela 2). Em contrapartida, os menores volumes de solução escoada foram observados nos tratamentos que receberam aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes. Considerando os três anos agrícolas da cultura do milho, as transferências de solução escoada foram, em média, de 30,0; 21,5; 14,9; 17,4; e 16,4% para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Para a cultura do feijoeiro e da aveia preta as aplicações de fontes de nutrientes também proporcionaram reduções na transferência de solução por escoamento superficial. Em média, a transferência de solução escoada foi de 33,0; 16,2; 13,0; 16,2 e 14 %

do volume total precipitado para os tratamentos controle, DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Nesse sentido, Wortmann & Walters (2006) observaram redução de até 41% na transferência da solução escoada no solo que recebeu três anos de aplicação de dejetos bovinos.

Este comportamento semelhante observado para as três culturas em diferentes anos agrícolas pode ser atribuído a dois fatores: 1) elevação dos teores de matéria orgânica no solo, e 2) manejo conservacionista do solo. Isso porque a aplicação de resíduos orgânicos ao solo proporciona maior aporte de nutrientes para as plantas, resultando em maior produção de matéria seca pelas culturas (Ceretta et al., 2005a; Lourenzi et al., 2014a; Ciancio et al., 2014). Como consequência, há aumento nos teores de matéria orgânica do solo (Lourenzi et al., 2011), que propicia melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, conduzindo a melhor estruturação, infiltração de água e redução da transferência de solução via escoamento superficial (Ceretta et al., 2010b; Krutz et al., 2009; Mellek et al., 2010; Spargo et al., 2006).

Além disso, a adoção do sistema plantio direto com rotação de culturas em longo prazo favorece a manutenção dos resíduos na superfície do solo, que dissipa a energia do impacto das gotas da chuva na superfície do solo (McDowell et al. 2001) e proporciona maior eficiência na redução da transferência de solução por escoamento superficial (Bertol et al., 2007; Wortmann & Walters, 2006). Jiao et al. (2011), trabalhando com diferentes rotações de culturas, observaram até 50% de redução no volume da solução escoada e, conseqüentemente, obtiveram aumentos na filtração de água no solo.

Tabela 2. Precipitação total e transferência de solução, N-mineral, P-solúvel, P-particulado e P total por escoamento superficial nos cultivos de aveia preta, milho e feijão preto em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Tratamentos	Quantidades transferidas						Perdas percentuais ⁽²⁾				
	Solução ----- m ³ ha ⁻¹ -----	Precipitação	N _{mineral}	P _{sol.}	P _{part.}	P _{total}	Solução	N _{mineral}	P _{sol.}	P _{part.}	P _{total}
			-----kg ha ⁻¹ -----				-----%-----				
Milho 2009/2010											
Controle	1908	10959	2,76b ¹	0,53c	0,02a	0,55c	17,4				
DLS ⁽³⁾	1346	10959	6,87a	2,11b	1,39a	3,50b	12,2	3,14	5,45	4,72	10,17
CSS ⁽⁴⁾	1568	10959	3,17b	3,24a	1,72a	4,96a	14,3	0,20	4,93	3,09	8,02
DLB ⁽⁵⁾	1050	10959	2,99b	2,13b	1,83a	3,96b	9,5	0,11	5,93	6,70	12,63
NPK ⁽⁶⁾	1796	10959	6,54a	1,88b	1,56a	3,44b	16,3	3,60	5,15	5,88	11,03
Aveia 2010											
Controle	3719	6738	2,90a	0,32d	0,22c	0,54d	55,2				
DLS	2129	6738	3,57a	2,51a	2,52a	4,44a	31,6	0,67	6,44	6,76	11,47
CSS	2012	6738	3,34a	2,63a	0,44b	3,26b	29,9	0,75	8,56	0,81	10,07
DLB	2251	6738	2,88a	1,62b	0,67b	2,30c	33,4	0,00	16,25	5,63	22,00
NPK	1417	6738	2,38a	0,96c	0,26c	1,22d	21,0	0,00	4,89	0,31	5,19
Milho 2010/2011											
Controle	1933	4516	2,00a	0,58c	0,43b	1,01d	42,8				
DLS	1419	4516	4,23a	3,39b	0,77a	4,17b	31,4	1,73	2,65	0,32	2,98
CSS	912	4516	3,37a	5,60a	0,61a	6,21a	20,2	0,67	4,92	0,18	5,10
DLB	1271	4516	2,61a	3,05b	0,23c	3,27c	28,1	0,29	5,04	0,00	4,61
NPK	986	4516	2,39a	0,90c	0,13c	1,03d	21,8	0,37	1,22	0,00	0,08
Aveia 2011											
Controle	2693	7015	1,07b	0,95b	0,08c	1,03b	38,3				
DLS	1385	7015	2,69a	2,82a	0,37b	3,20a	19,7	4,26	9,84	1,53	11,42
CSS	641	7015	1,48b	2,64a	0,68a	3,33a	9,1	2,05	7,04	2,50	9,58
DLB	1194	7015	2,41a	1,51b	0,46b	1,97b	17,0	6,70	1,75	1,19	2,94
NPK	1733	7015	1,64b	1,50b	0,47b	1,97b	24,7	1,90	4,20	2,98	7,18
Milho 2011/2012											
Controle	1217	4103	1,37d	0,45c	0,23b	0,68c	29,6				
DLS	848	4103	3,23a	1,77b	1,56a	3,34a	20,6	1,42	4,13	4,16	8,31
CSS	415	4103	1,94c	3,11a	0,60b	3,72a	10,1	0,28	7,60	1,06	8,69
DLB	599	4103	2,35b	1,36b	0,40b	1,76b	14,6	0,48	1,69	0,31	2,00
NPK	455	4103	1,50d	0,75c	0,32b	1,07c	11,1	0,12	1,15	0,34	1,49
Aveia 2012											
Controle	2992	8586	1,18b	1,08b	1,31a	2,40b	34,8				
DLS	1270	8596	3,84a	3,24a	1,35a	4,59b	14,7	7,00	13,50	0,25	13,69
CSS	822	8596	4,20a	3,66a	2,26a	5,92a	9,5	15,10	32,25	11,88	44,00
DLB	1309	8596	2,57b	2,92a	2,28a	5,20a	15,2	5,35	20,44	10,78	31,11
NPK	1031	8596	1,69b	1,56b	1,44a	3,01b	12,0	1,70	3,66	0,99	4,66
Feijão 2012/2013											
Controle	2405	10252	1,70b	0,20c	0,62a	0,82c	23,4				
DLS	1045	10252	3,35a	2,68a	0,95a	3,64a	10,1	2,62	5,77	0,77	6,56
CSS	1142	10252	2,64a	3,00a	0,70a	3,70a	11,1	1,02	2,71	0,12	4,24
DLB	1023	10252	3,26a	1,60b	1,74a	3,34a	9,9	1,70	1,18	2,33	5,25
NPK	1050	10252	2,14b	0,90c	0,65a	1,90b	10,2	0,88	0,00	0,27	9,82
Aveia 2013											
Controle	1313	9920	0,90b	0,60b	0,13a	0,73c	13,2				
DLS	487	9920	1,73a	1,69a	0,67a	2,36a	4,9	2,18	3,76	1,86	5,62
CSS	528	9920	2,14a	0,77b	0,49a	1,26b	5,3	2,95	0,44	0,92	1,36
DLB	567	9920	1,31b	1,15a	0,37a	1,53b	5,7	0,98	1,62	0,71	2,35
NPK	188	9920	1,10b	0,66b	0,29a	0,95c	1,9	0,67	0,46	1,22	1,68

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro; ⁽²⁾ Representa a percentagem de solução transferida em relação a precipitação total ocorrida no período e a percentagem de nitrogênio e fósforo, transferidos em relação ao total aplicado, descontando a quantidade transferida no tratamento sem aplicação; ⁽³⁾ Dejetos líquidos de suínos; ⁽⁴⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁵⁾ Dejetos líquidos de bovinos; ⁽⁶⁾ Adubação mineral.

5.6.2 Transferências de N mineral na solução escoada.

A aplicação de diferentes fontes de nutrientes apresentou efeito sobre a transferência de N-mineral por escoamento superficial, sendo que, para a maioria dos cultivos avaliados, as

maiores transferências foram observadas com a aplicação de DLS (Tabela 2). Isso ocorre pelo fato de que o N é um dos principais constituintes do DLS, sendo que, aproximadamente, 50% de sua totalidade é encontrado em formas amoniacais (N-NH_4^+ e N-NH_3) (Joshi et al., 1994; Aita et al., 2006; Scherer et al., 2007; SCHIRMANN et al., 2013). Além disso, são resíduos que apresentam baixos teores de matéria seca (Lourenzi et al., 2013) e baixa relação C/N (Aita et al., 2006), o que facilita a decomposição e reduz a taxa de imobilização desse elemento pelos microrganismos do solo, facilitando as transferências por escoamento superficial.

Considerando os diferentes tipos de fontes de nutrientes utilizadas (sólidas e líquidas) observou-se comportamento diferenciado das fontes líquidas (DLS e DLB) em relação às sólidas (CSS e NPK), sendo que as maiores transferências de N-mineral foram observadas nas fontes líquidas durante a cultura de milho e feijão preto (Tabela 2). Esses resultados são semelhantes aos observados por Roberts; Clanton (2000); Oliveira et al. (2000); Smith et al. (2001a); Bertol et al. (2005) e Guadagnin et al. (2005). Nesse sentido, Silveira et al. (2011) encontraram maiores perdas de N via escoamento superficial com a aplicação de dejetos líquidos e atribuíram esses resultados ao selamento superficial provocado pelas pequenas partículas presentes nos dejetos líquidos de suínos e bovinos. Os resultados obtidos no presente estudo permitem inferir que a aplicação de diferentes fontes orgânicas e mineral, em longo prazo, podem interagir com o sistema solo de diferentes maneiras, sendo essas interações dependentes das condições edafoclimáticas e da composição química das fontes de nutrientes aplicadas (Giacomini et al., 2009).

As transferências de N-mineral por escoamento superficial foram, em média, de 2,23; 0,54; 0,65 e 1,24% do N aplicado com o DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, para os cultivos de primavera/verão (milho e feijão). Já para a cultura de outono/inverno (aveia) as transferências foram, em média, de 3,53; 5,21; 3,26 e 1,07% do N aplicado com o DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Esse comportamento está associado ao período do ano predominante em cada cultivo. No caso da aveia preta, o cultivo ocorreu em um período onde, normalmente, são observadas menores temperaturas (Figura 3), mantendo maior umidade no solo. Nessas condições, há menor infiltração de água no solo e menor atividade microbiana, o que reduz a mineralização do N dos dejetos e a absorção pelas plantas, além de menores perdas de N por volatilização (Basso et al., 2004). Isso tudo favorece o acúmulo de N na superfície do solo e aumenta a transferência de N-mineral pela solução escoada superficialmente (Gilles et al., 2009; Sweeney et al., 2012).

Nesse sentido, Miller et al. (2006) observaram, no Sul de Alberta - Canadá, que em áreas com aplicação de dejetos animais, as perdas de N pela solução escoada são dependentes da estação do ano, sendo maiores no outono/inverno. Da mesma maneira, Udawatta et al. (2006) encontraram maiores perdas de N-total no período que o solo se encontrava com maior umidade. Já no Sul do Brasil, Ceretta et al. (2005b) observaram, em estudo avaliando a transferência nutrientes por escoamento superficial em Argissolo Vermelho Distrófico arênico com aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de DLS, maiores transferências de N-mineral no período outono/inverno.

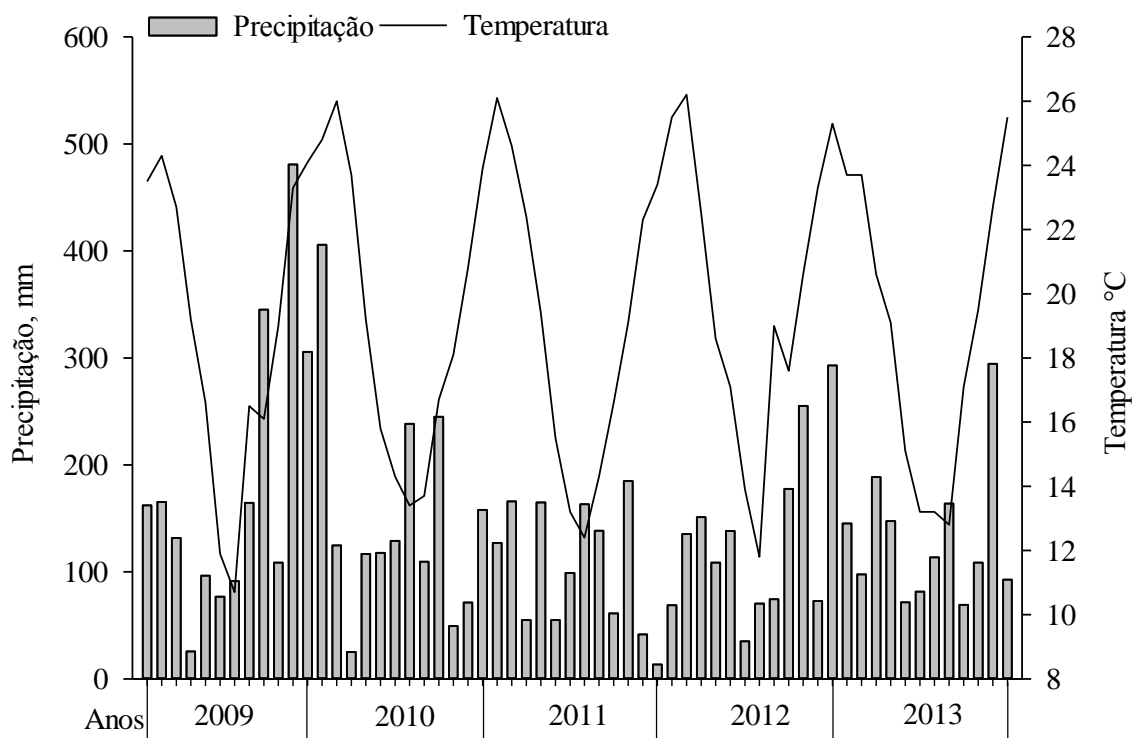


Figura 3. Valores médios de temperatura e precipitação pluviométrica durante 8 períodos agrícolas.

5.6.3 Transferências de formas de fósforo na solução escoada

As maiores transferências de P_{sol} , P_{part} e P_{total} por escoamento superficial ocorreram nos tratamentos que receberam as fontes orgânicas de nutrientes (DLS, CSS e DLB) (Tabela 2). Isso ocorreu pelo fato de que nesses tratamentos foram aplicadas as maiores quantidades de P (Tabela 1), sendo que as quantidades de P aplicadas apresentaram correlação com as transferências de P por escoamento superficial (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Hahn et al. (2012) em região produtora de suínos e bovinos na Suíça. Esses autores verificaram altos teores de P em solos que receberam aplicações em longo prazo de dejetos de suíno e, por consequência, encontraram maior transferência de P pela solução escoada. Em estudo avaliando as transferências de nutrientes por escoamento superficial em um Argissolo Vermelho com 19 aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, Ceretta et al. (2010b) também observaram estreita correlação entre as quantidades de P aplicadas via dejetos e as quantidades de P transferidas por escoamento superficial. Trabalhos desenvolvidos por Yu et al. (2006), McDowell et al. (2011), Sweeney et al. (2012) e Wang et al. (2013) observaram que as transferências de P por escoamento superficial são influenciadas pela taxa de fertilização, pela quantidade de P lábil no solo, pela topografia, temperatura, uso do solo e precipitação (intensidade e duração).

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as quantidades de P aplicadas, teores de P disponível na camada 0-10 cm do solo, quantidades de solução e de P solúvel, P particulado e P total transferidos por escoamento superficial e percolação em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Variáveis	Escoado				Percolado					
	P_{disp}	P_{sol}	P_{part}	P_{total}	Solução	P_{disp}	P_{sol}	P_{part}	P_{total}	Solução
P_{aplicado}^1	0,59*	0,66*	ns	0,55*	-0,44*	0,59*	ns	ns	ns	ns
P_{disp}^2		0,75*	ns	0,69*	-0,41*		0,66*	0,35*	0,63*	ns
P_{sol}			0,42*	0,93*	ns			ns	0,66*	ns
P_{part}				0,72*	ns				0,83*	ns
P_{total}					ns					ns

¹Quantidade de P aplicado ao solo nos diferentes tratamentos desde o ano 2009; ²Teor de P disponível na camada 0-10 cm do solo após 12 aplicações; * significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste t; ns= não significativo.

Cabe ressaltar que as transferências de formas de P por escoamento superficial também apresentaram estreita correlação com os teores de P disponível no solo (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados Sweeney et al. (2012), os quais verificaram correlação entre as transferências de P disponível por escoamento superficial com os teores

disponíveis de P no solo. Esse pode ser considerado um dos fatores de maior importância para explicar os resultados do presente trabalho, uma vez que os teores de P-disponível nos solos com aplicação de DLS e CSS foram maiores em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Isso pode ser atribuído ao fato que a maioria do P presente nos dejetos encontra-se nas formas inorgânicas, ou seja, a forma prontamente disponível às plantas e também a principal forma de acumulação na superfície do solo (Chardon et al., 2007, Ceretta et al., 2010a; Gatiboni et al., 2008). Cassol et al. (2001) ao avaliarem dejetos de animais como fonte de P para as culturas obtiveram que mais de 60% deste elemento encontra-se em formas inorgânicas antes de sua aplicação, favorecendo o acúmulo dessas formas de fósforo em solos com aplicações sucessivas de dejetos de suínos, como observado em estudos desenvolvidos por Gatiboni et al. (2008), Ceretta et al. (2010a), Guardini et al. (2012) e Lourenzi et al. (2013).

Tabela 4. Características químicas do solo na camada de 0-10 cm após 12 aplicações de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

	Controle	DLS ⁽¹⁾	CSS ⁽²⁾	DLB ⁽³⁾	NPK ⁽⁴⁾
pH em H ₂ O	4,8	5,2	5,6	5,2	4,9
SMP	5,8	5,8	6,2	6,1	6,1
MO g kg ⁻¹	13,5	21,1	27,2	22,8	20,9
P mg dm ⁻³	15,5	65,3	116,1	62,1	28,8
K mg dm ⁻³	24,5	61,5	70,4	66,2	47,5
Cu mg dm ⁻³	1,81	5,56	7,88	2,44	1,01
Zn mg dm ⁻³	0,68	1,68	2,28	1,33	0,51
m %	1,89	2,9	0,97	3,21	13,83
V %	29,2	44,9	57,1	50,9	46,00
Ca cmol _c dm ⁻³	1,55	2,9	3,35	3,00	2,33
Mg cmol _c dm ⁻³	0,69	1,24	1,3	1,04	0,99
Al cmol _c dm ⁻³	0,31	0,11	0,04	0,14	0,52
H+Al cmol _c dm ⁻³	5,77	5,23	3,51	4,04	3,94
CTC _{ef} cmol _c dm ⁻³	3,2	3,7	4,4	4,2	3,9
CTC _{pH7} cmol _c dm ⁻³	8,7	8,8	7,9	8,1	7,3

⁽¹⁾ Dejeito líquido de suínos; ⁽²⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽³⁾ Dejeito líquido de bovinos; ⁽⁴⁾ Adubação mineral.

Além disso, isso ocorre devido ao fato que, com as sucessivas aplicações de nutrientes, há uma tendência de saturação dos sítios de adsorção das partículas reativas do solo. Assim, o P adicionado subsequentemente ficará na solução do solo ou será adsorvido em sítios de menor afinidade, aumentando a concentração de P em frações mais lábeis no solo, como observado por Ceretta et al. (2010b); Guardini et al. (2012) e Scherer et al. (2010). Dessa forma, estará mais suscetível a migração no perfil (Lourenzi et al., 2013) ou será transferido

pela solução escoada na superfície do solo (Smith et al., 2001b; Ceretta et al., 2010; Lourenzi et al., 2014b).

Para o P_{sol} foram transferidos 4,7; 20,2; 24,6; 15,3 e 9,1 kg ha⁻¹ por escoamento superficial durante os oitos cultivos avaliados para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente (Tabela 2). Isso representa a transferência média de 4,75; 4,52; 4,18 e 2,02 % do P aplicado com os tratamentos DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Já para o P_{part} foram transferidos 3,0; 9,6; 7,5; 8,0 e 5,1 kg ha⁻¹ por escoamento superficial durante os oitos cultivos avaliados para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, o que representa a transferência média de 2,52; 1,09; 2,09 e 1,23 % do P aplicado com os tratamentos DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente (Tabela 2).

Considerando que, para o P_{total} , foram transferidos 7,7; 29,2; 32,3; 23,3 e 14,5 kg ha⁻¹ por escoamento superficial durante os oito cultivos, pode-se considerar que são valores pouco expressivos do ponto de vista nutricional das plantas (Sharpley et al., 2001). Esses resultados, são semelhantes ao obtidos por Bertol et al. (2010) que encontraram transferências de P por escoamento superficial menor a 15% do total de P aplicado via DLS. Entretanto, cabe ressaltar que aplicações sucessivas ou em doses excessivas de fontes de nutrientes ao longo do tempo numa mesma área, acarretam em aplicação de nutrientes acima da demanda das culturas, podendo promover o acúmulo de P na superfície do solo, como verificado em trabalhos realizados por Adeli et al. (2008), Berwanger et al. (2008), Scherer et al. (2010), Ceretta et al. (2010b), Guardini et al. (2012) e Lourenzi et al. (2013). Esse acúmulo de P na superfície do solo ocorre, predominantemente, em frações mais lábeis, como observado por Ceretta et al. (2010a) e Guardini et al. (2012), o que pode favorecer as transferências por escoamento superficial (Smith et al., 2001b; Ceretta et al., 2010b).

5.6.4 Transferências de solução por percolação

As transferências de solução percolada no perfil do solo foram variáveis durante o período avaliado. Essas variações foram de 39 m³ ha⁻¹, no tratamento DLS do milho 2011/2012, até 1431 m³ ha⁻¹, no tratamento NPK da aveia 2010 (Tabela 5). Esses resultados podem estar associados ao volume total precipitado durante os cultivos, pois no milho 2011/2012 houve uma precipitação de 4103 m³ ha⁻¹, enquanto que na aveia 2010 o volume total precipitado foi de 6738 m³ ha⁻¹.

Cabe destacar que sobre condições de chuvas naturais, a intensidade das precipitações também é um fator importante que governa a infiltração de água no solo e, conseqüentemente,

o volume de solução percolada (Kleinman & Sharpley, 2003; Mori et al., 2009; Mellek et al., 2010; Piovesan et al., 2009). Isso pode ser observado quando comparados os cultivos do milho 2009/2010 e do milho 2010/2011, onde foram observados volumes semelhantes de solução percolada, mas com volume de precipitação no milho 2009/2010 superior em, aproximadamente, 100% em relação ao milho 2010/2011 (Tabela 5).

Durante o período avaliado, a transferência de solução percolada foi pouco expressiva. Para as culturas de primavera/verão (milho e feijão), a porcentagem de solução percolada foi de 1,94; 1,12; 4,53; 2,89 e 3,42% do volume total precipitado para os tratamentos controle, DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, enquanto que para a cultura de outono/inverno (aveia preta), as porcentagens de transferências de solução percolada foram de 4,51; 3,97; 6,70; 3,35 e 7,50% do volume total precipitado para os tratamentos controle, DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Esses resultados mostram uma grande diferença na transferência de solução por percolação entre os períodos do ano, onde as menores transferências ocorreram nos períodos mais quentes e estão relacionadas à maior evapotranspiração da água do solo e também a maior absorção pelas culturas (Figura 1).

Tabela 5. Precipitação total e transferência de solução, N-mineral, P-solúvel, P-particulado e P total por percolação nos cultivos de aveia preta, milho e feijão preto, em um Argissolo Vermelho submetido a aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Tratamentos	Quantidades transferidas						Perdas percentuais ⁽²⁾				
	Solução	Precipitação	N _{mineral}	P _{sol.}	P _{part.}	P _{total}	Solução	N _{mineral}	P _{sol.}	P _{part.}	P _{total}
	----- m ³ ha ⁻¹ -----		-----kg ha ⁻¹ -----				-----%-----				
Milho 2009/2010											
Controle	233	10959	1,16c ¹	0,01c	0,04b	0,05b	2,1				
DLS ⁽³⁾	68	10959	2,09b	0,12a	0,23b	0,36b	0,6	0,71	0,38	0,66	1,07
CSS ⁽⁴⁾	202	10959	3,31a	0,08b	0,62a	0,71a	1,8	1,06	0,13	1,05	1,20
DLB ⁽⁵⁾	143	10959	2,29b	0,03c	0,10b	0,14b	1,3	0,56	0,07	0,22	0,33
NPK ⁽⁶⁾	218	10959	1,81c	0,03c	0,09b	0,13b	1,9	0,62	0,08	0,19	0,31
Aveia 2010											
Controle	744	6738	2,24a	0,017b	0,047c	0,064c	11,0				
DLS	682	6738	2,44a	0,010b	0,044c	0,054c	10,1	0,20	0,00	0,00	0,00
CSS	1101	6738	4,51a	0,219a	0,126b	0,345a	16,3	3,85	0,75	0,29	1,04
DLB	722	6738	2,27a	0,022b	0,069c	0,091c	10,7	0,05	0,06	0,28	0,34
NPK	1431	6738	2,88a	0,024b	0,158a	0,183b	21,2	2,13	0,05	0,85	0,91
Milho 2010/2011											
Controle	81	4516	0,73b	0,002c	0,020a	0,022c	1,7				
DLS	43	4516	1,34b	0,004c	0,014a	0,018c	0,9	0,47	0,00	0,00	0,00
CSS	542	4516	6,16a	0,193a	0,011b	0,205a	12,0	2,64	0,19	0,00	0,18
DLB	213	4516	3,10b	0,022b	0,019a	0,041b	4,7	1,13	0,04	0,00	0,04
NPK	190	4516	2,69b	0,002c	0,004c	0,005d	4,2	1,87	0,00	0,00	0,00
Aveia 2011											
Controle	212	7015	0,19b	0,00b	0,08a	0,08b	3,0				
DLS	204	7015	0,69b	0,06b	0,22a	0,28b	2,9	1,32	0,32	0,74	1,05
CSS	404	7015	1,64a	0,34a	0,50a	0,85a	5,8	7,35	1,42	1,75	3,21
DLB	212	7015	0,50b	0,02b	0,61a	0,64a	3,0	1,55	0,06	1,66	1,75
NPK	278	7015	0,64b	0,01b	0,36a	0,37b	4,0	1,50	0,08	2,14	2,21
Milho 2011/2012											
Controle	57	4103	0,08b	0,00c	0,03c	0,03c	1,3				
DLS	39	4103	0,25a	0,06a	0,19b	0,26b	0,9	0,13	0,19	0,50	0,72
CSS	71	4103	0,36a	0,08a	0,24a	0,32a	1,7	0,14	0,23	0,60	0,83
DLB	65	4103	0,33a	0,02b	0,06c	0,08c	1,5	0,12	0,04	0,06	0,09
NPK	125	4103	0,12b	0,02b	0,03c	0,05c	3,0	0,04	0,08	0,00	0,08
Aveia 2012											
Controle	117	8586	0,14c	0,02d	0,03a	0,05d	1,3				
DLS	81	8596	0,39b	0,29b	0,07a	0,36b	0,9	0,66	1,69	0,25	1,94
CSS	187	8596	0,69a	0,44a	0,04a	0,48a	2,1	2,75	5,25	0,13	5,38
DLB	147	8596	0,68a	0,14c	0,04a	0,18c	1,7	2,08	1,33	0,11	1,44
NPK	236	8596	0,54a	0,06d	0,05a	0,08d	2,7	1,33	0,31	0,15	0,23
Feijão 2012/2013											
Controle	253	10252	1,16b	0,04b	0,04b	0,08b	2,4				
DLS	200	10252	2,78a	0,36a	0,11b	0,48a	1,9	2,57	0,74	0,16	0,93
CSS	262	10252	2,82a	0,38a	0,06b	0,45a	2,5	1,80	0,50	0,03	0,54
DLB	405	10252	2,80a	0,17b	0,34a	0,52a	3,9	1,78	0,27	0,63	0,92
NPK	453	10252	1,95b	0,06b	0,05b	0,11b	4,4	1,58	0,08	0,09	0,27
Aveia 2013											
Controle	261	9920	0,75a	0,03a	0,03a	0,06a	2,6				
DLS	188	9920	3,28a	0,04a	0,07a	0,11a	1,9	6,66	0,03	0,14	0,17
CSS	251	9920	3,69a	0,09a	0,07a	0,16a	2,5	7,00	0,15	0,10	0,26
DLB	195	9920	2,72a	0,04a	0,09a	0,13a	1,9	4,69	0,03	0,18	0,21
NPK	203	9920	3,69a	0,03a	0,03a	0,06a	2,0	9,80	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ⁽²⁾ Representa a percentagem de solução transferida por percolação em relação a precipitação total ocorrida no período e a percentagem de nitrogênio e fósforo transferidos em relação ao total aplicado, descontando a quantidade transferida no tratamento sem aplicação; ⁽³⁾ Dejetos líquidos de suínos; ⁽⁴⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁵⁾ Dejetos líquidos de bovinos; ⁽⁶⁾ Adubação mineral.

5.6.5 Transferências de N mineral na solução percolada.

A aplicação de diferentes fontes de nutrientes incrementou as transferências de N-mineral por percolação, sendo que, para a maioria dos cultivos avaliados, as maiores

transferências foram observadas com a aplicação de CSS (Tabela 5). Nos cultivos da aveia 2010 e do milho 2010/2011 foram observadas as maiores transferências de N-mineral no solo submetido à aplicação de CSS, atingindo valores de 4,51 e 6,16 kg ha⁻¹, o que representa uma transferência de 3,85 e 2,64% do N aplicado via CSS para esses cultivos, respectivamente (Tabela 5).

As maiores transferências de N-mineral observadas com a aplicação de CSS podem ser atribuídas ao alto teor de N presente nesse resíduo (Tabela 1) e, também, a maior transferência de solução percolada observada nesse tratamento, como também observado por Higarashi et al. (2008), Giacomini; Aita, (2008) e Giacomini et al. (2013). Além disso, o efeito residual proporcionado pela CSS contribuiu para maior proteção da superfície do solo, criando uma barreira física contra o transporte da solução escoada e, ao mesmo tempo, favorecendo a percolação de água no solo (Andraski et al., 2003, Burgos et al., 2006; Giacomini et al. 2013). As transferências de N-mineral por percolação foram, em média, de 0,97; 1,41; 1,04 e 1,03% do N aplicado com o DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, para os cultivos de primavera/verão (milho e feijão), enquanto que para a cultura de outono/inverno (aveia) as transferências foram, em média, de 2,2; 5,2; 2,0 e 3,6% do N aplicado com o DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Esse comportamento pode estar relacionado a manutenção de maior umidade no solo no outono/inverno, favorecendo a migração de nitrato (N-NO₃⁻) no perfil do solo, e devido a menor evaporação em função de menores temperaturas nessas estações do ano (Aita & Giacomini, 2008; Basso et al., 2005b). Nesse sentido, Carneiro et al. (2012) observaram maiores perdas de N-NO₃⁻ pela solução percolada no início do outono ao aplicar dejetos líquidos de bovino, lodo de esgoto e composto de lixo urbano em uma rotação de milho (*Zea mays* L.) e aveia preta (*Avena sativa* L.).

É importante destacar que a maior quantidade de N-mineral transferida por percolação ocorreu nos tratamentos onde foram aplicadas as fontes sólidas de nutrientes (CSS e NPK). Isso porque, a dinâmica de decomposição desses resíduos, especialmente da fonte orgânica (CSS) no solo é dependente das condições edafoclimáticas e da qualidade química e bioquímica dos dejetos, definida pelo teor de lignina e relação C/N (Sørensen & Amato, 2002; Cela et al., 2011). Além disso, as aplicações sucessivas dessas fontes promovem maior proteção da superfície do solo e melhores condições físicas para infiltração de água no solo (ANDRASKI et al., 2003). Porém, ficou evidenciado que, mesmo aplicando grandes quantidades de N via dejetos, as transferências de N pela solução percolada podem ser consideradas muito pequenas em termos agrônômicos, mas muito preocupantes em termos ambientais, pois com a utilização de CSS e NPK as transferências de N-mineral por

percolação foram maiores do que as observadas no escoamento superficial, demonstrando que, para o N, é muito importante observar o potencial que o solo que recebe as aplicações de nutrientes possui em transferir esse elemento por percolação. Chambers et al. (2000), mencionam que a transferência de N pela solução percolada pode ser reduzida quando são evitadas as aplicações de dejetos animais com elevado teor de N disponível no outono/inverno devido as limitações de temperatura para o crescimento das culturas.

5.6.6 Transferência de P pela solução percolada.

As maiores transferências de P_{sol} , P_{part} e P_{total} na solução percolada durante o período de avaliação do presente estudo foram observadas, normalmente, nos solos submetidos às aplicações de DLS e CSS. Apesar de serem esses os tratamentos que receberam as maiores quantidades de P, num total de 308 e 358 kg ha⁻¹ para o DLS e CSS, respectivamente, esse fator não apresentou correlação com as quantidades das formas de P transferidas por percolação (Tabela 3). Entretanto, as quantidades de P aplicadas apresentam correlação com os teores de P disponíveis no solo e esses com as transferências das formas de P por percolação (Tabela 3). Isso ocorre porque as aplicações sucessivas de P ao solo fazem com que ocorra um aumento nos teores de P, especialmente, em frações mais lábeis no solo, como observado por Ceretta et al. (2010a) e Guardini et al. (2012). Dessa forma, pode ocorrer a migração de P no perfil do solo, como observado por Lourenzi et al. (2013) em estudo avaliando a alteração de atributos químicos do solo após 19 aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de DLS em um Argissolo Vermelho.

Para o P_{sol} foram transferidos 0,12; 0,94; 1,82; 0,46 e 0,24 kg ha⁻¹ por percolação durante os oitos cultivos avaliados para o tratamento controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Isso representa a transferência média de 0,42; 1,08; 0,24 e 0,10 % do P aplicado com os tratamentos DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Já para o P_{part} foram transferidos 0,32; 0,95; 1,67; 1,33 e 0,77 kg ha⁻¹ durante os oitos cultivos avaliados para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente, o que representa a transferência média de 0,31; 0,49; 0,39 e 0,43 % do P aplicado com os tratamentos. Esses resultados evidenciam que no presente estudo, em termos percentuais, as maiores transferências de P ocorreram na forma solúvel, demonstrando estreita correlação entre os teores de P disponível no solo e os teores de P_{sol} transferidos por percolação (Tabela 3).

Os resultados observados no presente estudo são semelhantes aos observados por Basso et al. (2005b) que encontraram baixos valores de P transferido por percolação e

atribuíram isso a alta reatividade e acúmulo do P nas camadas superficiais do solo. No entanto, o efeito cumulativo de sucessivas aplicações de fontes de nutrientes pode favorecer a migração do P no perfil do solo e a sua transferência por percolação. Resultados semelhantes foram obtidos por Girotto et al. (2013) em trabalho realizado com aplicação de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de DLS. Esses autores salientam que as quantidades de P aplicada com os dejetos e o aumento dos teores disponíveis no solo são os principais fatores que contribuem para as transferências de P por percolação.

5.7 Conclusões

- A transferência da solução escoada foi maior no tratamento sem aplicação de nutrientes indicando que a rotação de culturas favoreceu a cobertura do solo pelo acúmulo de matéria seca, reduzindo as perdas por escoamento superficial.
- A maior transferência da solução percolada ocorreram no tratamento DLS e CSS, porém essas perdas não são significativas agronomicamente.
- As maiores transferências de N-mineral pela solução escoada ocorreram no solo submetido à aplicação de DLS, CSS e DLB. Entretanto, a CSS apresentou as maiores transferências de N-mineral pela solução percolada.
- As grandes quantidades de P aplicado em longo prazo via DLS, DLB e CSS ocasionaram aumentos significativos nos teores disponíveis no solo, resultando em transferências das diferentes formas de P pela solução escoada e percolada.

5.8 Agradecimentos

Ao CNPq e a FAPERGS, pela disponibilidade de recursos financeiros que possibilitaram a realização do experimento.

5.9 Literatura Citada

AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. Rev. Bras. de Ciência do Solo. V.27, n.4. p. 601-612. 2003.

- AITA, C.; PORT, O. & GIACOMINI, S.J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. R.Bras. Ci. Solo, 30:901-910, 2006.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 2101-2111, 2008.
- ADELI, A. et al. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. Soil Science, v. 173, p. 223-235, 2008.
- ANDRASKI, T.W., BUNDY, L.G., KILIA, K.C., 2003. Manure history and long-term tillage effects on soil properties and phosphorus losses in runoff. J. Environ. Qual. 32, 1782-1789.
- ANUALPEC – Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2012.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 21ths. Denver. CP:AWWA 2005.
- ARONSSON, H.; TORSTENSSON, G.; BERGSTRÖM, L. Leaching and crop uptake of N, P and K from organic and conventional cropping systems on a clay soil. Soil Use and Management, v. 23, n. 1, p. 71-81, 2007.
- ASSMANN, T.S. et al. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 31:1515–1523, 2007.
- BAKSH, ALLAH, RAMESH S. KANWAR, and D. L. KARLEN. "Effects of liquid swine manure applications on NO₃-N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa." Agriculture, ecosystems & environment 109.1 (2005): 118-128.
- BASSO, C.J. et al. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.6, p.1775-1780, 2004.
- BASSO, C.J. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro. Ciência Rural, Santa Maria, v.35, n.6, p.1287-1295, nov-dez, 2005a.
- BASSO, C.J. et al. Dejetos líquidos de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. Ciência Rural, Santa Maria, RS, v.35, n.6, p.1305-1312, 2005b
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431p. (Boletim Técnico 30).
- BERTOL, O.J. et al. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. Floresta, Curitiba, v. 35, n. 3, p. 429-442, 2005.

- BERTOL, OROMAR JOÃO; et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*. 2007, vol.31, n.4, pp. 781-792.
- BERTOL, O.J., RIZZI, N.E., FAVARETTO, N., LANA, M.C. 2010. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. *Sci. Agric.* 67, 71-77.
- BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2525-2532, 2008.
- BURGOS, P., MADREJÓN, E., CABRERA, F., 2006. Nitrogen mineralization and nitrate leaching of a sandy soil amended with different organic wastes. *Waste Manage. Res.*24, 175–182.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Sul. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973, 431p. (Boletim Técnico 30).
- CARNEIRO, J. P.; COUTINHO, J.; TRINDADE, H. Nitrate leaching from a maize x oats double-cropping forage system fertilized with organic residues under Mediterranean conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v. 160, p. 29-39, 2012.
- CELA S. et al. Residual effects of pig slurry and mineral nitrogen fertilizer on irrigated wheat. *European Journal of Agronomy*, v. 34. P.257–262. fev. 2011.
- CERETTA, C.A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília DF, 38:729-735, 2003.
- CERETTA, C. A. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Ciência rural*, Santa Maria, RS, v. 35, n. 6, p. 1287 – 1295, 2005a.
- CERETTA, C.A. et al. Dejetos líquidos de suínos: I-Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência rural*, Santa Maria, RS v.35, n.6, p. 1296-1304, 2005b
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; DE 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, 2010a.
- CERETTA, C.A.; GIROTTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139:689-699, 2010b.

- CIANCIO, N.R. et al. Crop response to organic fertilization with supplementary mineral nitrogen. *Rev. Bras. Ciência do Solo*. Vol.38, n.3, pp. 912-922. 2014.
- CHAMBERS, B.J.; SMITH, K.A. & PAIN, B.F. Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. *Soil Use Manag.*, 16:157-161, 2000.
- CHARDON, W.J., AALDERINK, G.H., van der SALM, C. 2007. Phosphorus leaching from cow manure patches on soil columns. *J. Environ. Qual.* 36, 17-22.
- CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: UFRGS, 2004. 400 p.
- DAVEREDE, I.C.; KRAVCHENKO, A.N.; HOEFT, R.G.; NAFZIGER, E.D.; BULLOCK, D.G.; WARREN, J.J.; GONZINI, L.C. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.*, 32: 1436-1444, 2004.
- DIEZ, J. A. et al. Evaluation of the application of pig slurry to an experimental crop using agronomic and ecotoxicological approaches. *Journal of Environmental Quality*. v. 30. p. 2165-2172. 2001.
- EMBRAPA SOLOS. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília-DF, 2013, 3 ed. 353p.
- FAO. FAO Food Outlook. Rome: FAO, 2008.
- FERREIRA, D. F. 2008. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Rev. Symposium*, 6, 36-41.
- GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1753-1761, 2008.
- GESSEL, P. D. et al. Rate of fall-applied liquid swine manure: effects on runoff transport of sediment and phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, v. 33, p. 1839-1844, 2004.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.1, p.195-205, 2008.
- GIACOMINI, S. J. et al. Imobilização do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33. p. 41-50, 2009.
- GIACOMINI, Sandro José et al. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 2, p. 211-219, 2013.

- GIROTTI, E. et al. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, v.40, n.9, p.1860-1866, 2010.
- GIROTTI, E.; CERETTA, C.A.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; TRENTIN, G.; BASSO, C.J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 95:115-131, 2013.
- GUADAGNIN, J.C.; BERTOL, I.; CASSOL, P.C. & AMARAL, A.J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:277-286, 2005.
- GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typical Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 93, p. 215-225, 2012.
- GILLES, L.; COGO, N.P.; BISSANI, C.A.; BAGATINI, T. & PORTELA, J.C. Perdas de água, solo, matéria orgânica e nutriente por erosão hídrica na cultura do milho implantada em área de campo nativo, influenciadas por métodos de preparo do solo e tipos de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1427-1440, 2009.
- HAHN, C., PRASUHN, V., STAMM, C., SCHULIN, R. 2012. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agric. Ecosyst. Environ.* 153, 65-74.
- HART, M.R. and Cornish, P.S. 2012. Available soil phosphorus, phosphorus buffering and soil cover determine most variation in phosphorus concentration in runoff from pastoral sites. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 93, 227-244.
- HAYGARTH, P. M.; SHARPLEY, A. N. Terminology for phosphorus transfer. *Journal of Environmental Quality*, v. 29, p. 10-15, 2000.
- HIGARASHI, M.M.; COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P.A.V. et al. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.3, p.311-317, 2008.
- JIAO, P., Xu, D., WANG, S., ZHANG, T. 2011. Phosphorus loss by surface runoff from agricultural field plots with different cropping systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 90, 23-32.
- JOSHI, J. R. et al. Long-term conservation tillage and liquid dairy manure effects on corn. I. Nitrogen availability. *Soil and Tillage Research*, v. 31, n. 2, p. 211-224, 1994.
- KANG, J., AMOOZEGAR, A., HESTERBERG, D., OSMOND, D.L., 2011. Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. *Geoderma* 161, 194-201.

- KLEINMAN, P.J.A.; SHARPLEY, A.N.; SAPORITO, L.S.; BUDA, A.R.; BRYANT, R.B. Application of manure to no-till soils: phosphorus losses by sub-surface and surface pathways. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 84: 215–227, 2009.
- KRUTZ, L.J., LOCKE, M.A., STEINRIEDE, R.W.Jr. 2009. Interactions of tillage and cover crop on water, sediment, and pre-emergence herbicide loss in glyphosate-resistant cotton: Implications for the control of glyphosate-resistant weed biotypes. *J. Environ. Qual.* 38, 1240-1247.
- LOURENZI, C. R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1827-1836, 2011.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *R. Bras. Ciência do Solo*, 37:157-167, 2013.
- LOURENZI, C. R. et al. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. *Rev. Bras. Ciência do Solo*. Vol.38, n.3, pp. 949-958, 2014a.
- LOURENZI, C.R et al. Available content, surface runoff and leaching of phosphorus forms in a typic hapludalf treated with organic and mineral nutrient sources. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:544-556, 2014b.
- McDOWELL, R.; SHARPLEY, A.; FOLMAR, G. Phosphorus export from an agricultural watershed: Linking source and transport mechanisms. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 1587-1595, 2001.
- McDOWELL, R.W., SHARPLEY, A.N., CRUSH, J.R., SIMMONS, T. 2011. Phosphorus in pasture plants: potential implications for phosphorus loss in surface runoff. *Plant Soil* 345, 23-35.
- MILLER, JIM J., et al. "Phosphorus and nitrogen in rainfall simulation runoff after fresh and composted beef cattle manure application." *Journal of environmental quality* 35.4 (2006): 1279-1290.
- MELLEK, J. E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 110, p. 69-76, 2010.
- MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W. L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo sob plantio direto e como chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, p. 189-198. 2009.
- MURPHY, J., RILEY, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31-36.
- OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A. & CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração

- de um solo Podzólico vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4:263-267, 2000.
- PAYET, N.; FINDELING, A.; CHOPART, J.L.; FEDER, F.; NICOLINI, E.; MACARY, H.S. & VAUCLIN, M. Modelling the fate of nitrogen following pig slurry application on a tropical cropped acid soil on the Island of Réunion (France). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 134:218-233, 2009.
- PANDOLFO, C.M. et al. Análise ambiental do uso de fontes de nutrientes associadas a sistemas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Campina Grande, PB*, v.12,n.5, p.553-550, 2008.
- PIOVESAN, R.P.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V.; REISSMANN, C.B. Perdas de nutrientes via subsuperfície em colunas de solo sob fertilização mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 33: 757-766, 2009.
- ROBERTS, R.J & CLANTON, C.J. Surface seal hydraulic conductivity as affected by livestock manure application. *American Society of Agricultural Engineers*, 43:603-613, 2000.
- SHARPLEY, A. N.; MENZEL, R. G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Advance Agronomic*, v. 41, p. 297-324, 1987.
- SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J.; BAIN, W.R. Nitrogen and phosphorus fate from long-term poultry litter applications to Oklahoma solis. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 57: p. 1131-1137, 1993.
- SHARPLEY, A.N.; MCDOWELL R.W.; KLEINMAN, P.T.A. Phosphorus loss from land to water: integrating agricultural and environmental management. *Plant and Soil*, 237: p. 287-307, 2001.
- SCHERER, E.E., NESI, C.N., MASSOTTI, Z. 2010. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34, 1375-1383.
- SCHIRMANN, J.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, D. A.; GONZATTO, R.; OLIVO, J. Inibidor de nitrificação e aplicação parcelada de dejetos de suínos nas culturas do milho e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p. 271-280, 2013.
- SILVA, F.C. (Org.). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília:Embrapa, 1999. 370 p.
- SILVEIRA, F. de M. et al. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 35, n. 5, p. 1759-1768, 2011.
- SMITH, K. A. et al. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen. *Environ Pollution, Amsterdam*, v.112, n.1, p.41-51, 2001a.

- SMITH, K. A.; JACKSON, D. R.; WITHERS, P. J. A. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manure to arable land. 2. Phosphorus. *Environmental Pollution*, v. 112, p. 53-60, 2001b.
- SØRENSEN, P.; AMATO, M. Remineralisation and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *European Journal of Agronomy*. v. 16. p. 81–95. 2002.
- SØRENSEN, P., RUBAEK, G.H.R. 2012. Leaching of nitrate and phosphorus after autumn and spring application of separated solid animal manures to winter wheat. *Soil Use Manage.* 28, 1-11.
- SPARGO, J.T.; EVANYLO, G.K.; ALLEY, M.M. Repeated compost application effects on phosphorus runoff in the Virginia Piedmont. *Journal of Environmental Quality*, v.35, p.2342-2351, 2006.
- SWEENEY, D.W., PIERZYNSKI, G.M., Barnes, P.L. 2012. Nutrient losses in field-scale surface runoff from claypan soil receiving turkey litter and fertilizer. *Agric. Ecosystem. Environ.* 150,19-26.
- TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A, BOHNEN, H., VOLKWEISS, S.J., 1995. *Analises de solo, planta e outros materiais*. 2nd. ed. (Boletim técnico, 5), Porto Alegre, Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Press.
- TIMOFIECSYK, ADRIANA et al. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 6, p. 1924-1930, 2012.
- UDAWATTA, RANJITH P. et al. Nitrogen losses in runoff from three adjacent agricultural watersheds with claypan soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 117, n. 1, p. 39-48, 2006.
- VADAS, P. A. et al. The effect of rain and runoff when assessing timing of manure application and dissolved phosphorus loss in runoff. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 47, p. 877-886, 2011.
- WANG, W., LIANG, T., WANG, L., LIU, Y., WANG, Y., ZHANG, C. 2013. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. *Environ. Earth Sci.* 68, 1313-1319.
- WITHERS, P. J. A.; CLAY, S. D.; BREEZE, V. G. Phosphorus transfer in runoff following application of fertilizer, manure, and sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 180-188, 2001.
- WORTMANN, C.S. & WALTERS. D.T.. Phosphorus runoff during four years following composted manure application. *J. Environ. Qual.*, vol. 35, n.2 March-April 2006.
- YU, S., HE, Z.L., STOFFELLA, P.J., Calvert, D.V., Yang, X.E., Banks, D.J., Baligar, V.C. 2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. *Soil Biol. Biochem.* 38, 619-628.

6 DISCUSSÃO GERAL

A proposta do presente estudo enquadra-se na linha temática de uso de fontes orgânicas à nutrição de plantas e potencial contaminante do ambiente. A justificativa para isso está no fato da tese ter como principal foco a avaliação de fontes orgânicas de nutrientes às plantas em sistemas de rotação de culturas onde foi avaliado as alterações nos atributos químicos do solo, a produtividade das culturas de grãos, produção de matéria de seca, acúmulo de nutrientes e recuperação aparente das culturas de grãos e planta de cobertura, assim como também, as transferências de elementos dos sistemas terrestres para os aquáticos. Nesse sentido, os dados do Estudo I mostraram que após sucessivas aplicações (ao longos dos 114 meses) de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes promoveram alterações nos atributos químicos do solo, sendo reflexo das altas concentrações de nutrientes presentes nas diferentes fontes. Além disso, ficou evidenciado que, ao mesmo tempo que permite um aumento no pH do solo, a aplicação de dejetos de animais proporciona incrementos em atributos como matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio disponíveis no solo, em relação ao uso da adubação mineral tradicional. Essas alterações nos atributos químicos podem proporcionar melhores condições para o desenvolvimento das culturas, e isso resultou em maiores produtividades de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas, como observado no presente estudo I. Comparando-se as diferentes fontes de nutrientes utilizadas, observou-se que a cama sobreposta de suínos destacou-se no incremento, tanto na produtividade de grãos, quanto de matéria seca, acúmulo e recuperação aparente de nitrogênio, fósforo e potássio das culturas, em relação ao dejetos líquido de bovinos, suínos e adubação mineral.

A recomendação de aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes no presente estudo foi realizado sobre o teor de N presentes nos dejetos, o que pode ter levado ao acúmulo de nutrientes no solo, em especial, o fósforo quando da aplicação dos dejetos a longo prazo. Isso geralmente leva a um incremento nos teores de fósforo no solo, excedendo, frequentemente, os níveis requeridos pelas culturas. A dinâmica do fósforo é diferente da observada para o nitrogênio, podendo levar a um acúmulo de fósforo na superfície do solo com contínua aplicação de dejetos. Dessa forma, no estudo I observou-se que as diferentes fontes orgânicas utilizadas promoveram incrementos nos teores de P e também do K disponível no solo, em especial, na camada superficial. Cassol et al. (2001) ao avaliarem dejetos de animais como fonte de fósforo obtiveram que mais de 60% deste elemento encontra-se em formas inorgânicas antes de sua aplicação, favorecendo o seu acúmulo em

solos com aplicações sucessivas de dejetos de suínos, como observado em estudos desenvolvidos por Gatiboni et al. (2008), Ceretta et al. (2010a), Guardini et al. (2012) e Lourenzi et al. (2013).

Após as aplicações do dejetos ao solo, as maiores transferências ocorrem na forma de amônio, em função das transformações dos compostos orgânicos pelo processo de amonificação. Porém essa forma de transferência diminui devido a nitrificação aumentando assim a transferências na forma de nitrato. O nitrato representa a forma mais móvel no perfil de solo podendo ser transferida por percolação (AITA; GIACOMINNI, 2003; BAKHSH et al., 1999; BASSO et al., 2005). Além das características do dejetos deve-se considerar o tipo de solo, a cultura empregada, o sistema de cultivo e, especialmente, a precipitação pluviométrica, visto que este fator influencia diretamente no volume de solução escoada e percolada (CERETTA et al., 2010b). A estimativa da quantidade e das formas de nitrogênio e fósforo na solução escoada permite inferir sobre o risco de contaminação de mananciais de águas superficiais próximos aos locais de aplicação de fontes orgânicas de nutrientes (CERETTA et al., 2005). Já a estimativa da quantidade de nitrogênio e fósforo na solução percolada pode indicar a potencial capacidade de contaminação de águas subsuperficiais (BASSO et al., 2005; HEREDIA et al., 2007; PIERZYSNSKI et al., 2000).

Considerando que a relação nitrogênio:fósforo média dos dejetos varia de 2:1 até 6:1, enquanto que a demanda das culturas fica em torno de 7:1 até 8:1 (SHARPLEY; HALVORSON, 1994; SHARPLEY et al., 1996), presume-se que grandes doses sejam utilizadas para atender as demandas de nitrogênio das plantações agrícolas e de pastagens, o que pode ser agravado pela utilização contínua das áreas cultivadas. Este fato conduz ao acúmulo de nutrientes, como o fósforo, que ao saturar os sítios de adsorção dos colóides, potencializa para que ocorram transferências por escoamento superficial (CERETTA et al., 2010a; CERETTA et al., 2010b; BERWANGER et al., 2008; ELLIOT et al., 2007; SWEENEY et al., 2012; WANG et al., 2013) e percolação (BASSO et al., 2005; GIOTTO et al., 2013). As transferências de fósforo por escoamento superficial e percolação ocorrem nas formas solúvel e particulada. Segundo HAYGARTH; SHARPLEY (2000) o fósforo solúvel (ou dissolvido) é obtido em solução filtrada a $<0.45 \mu\text{m}$ e o fósforo particulado é obtido pela diferença entre o fósforo total da amostra não filtrada e o fósforo solúvel (filtrado a $<0,45 \mu\text{m}$).

No estudo II ficou demonstrado que as menores transferências de solução por escoamento superficial ocorreram nos solos que receberam aplicação de dejetos e adubação mineral, reflexo do aumento da produção de fitomassa e por conseguinte da dissipação do

impacto das gotas da chuva reduzindo a transferência de solução via escoamento superficial. As transferências por percolação foram menores nos períodos mais quentes, ou seja, nas culturas de primavera/verão (milho e feijão) e podem estar relacionadas à maior evapotranspiração da água do solo e também a maior absorção pelas culturas.

As aplicações de diferentes fontes orgânicas e mineral de nutrientes ao longo deste estudo proporcionaram maior transferência de N mineral por escoamento superficial e percolação no solo submetido à aplicação de dejetos líquido de suíno e cama sobreposta de suíno. As transferências de nitrogênio-mineral por percolação, para a maioria dos cultivos avaliados, foram observadas com a aplicação de cama sobreposta de suíno.

Os incrementos nos teores de fósforo disponível no solo refletiram nas transferências das formas de fósforo por escoamento superficial. As maiores transferências foram obtidas na forma total, seguida pela forma solúvel e, em menor concentração, pela forma particulada. As maiores transferências ocorreram nos tratamentos com aplicação de dejetos líquido de suíno, dejetos líquido de bovinos e cama sobreposta de suínos na solução escoada e percolada. As menores proporções de transferências na forma particulada podem estar associadas ao aumento de matéria seca das plantas e pelo maior teor de matéria orgânica do solo, fatores que reduzem as transferências de partículas de solo e auxiliam no manejo e conservação do solo.

As diferentes formas de perdas de fósforo e nitrogênio pela solução escoada e percolada podem comprometer a qualidade da água devido à diminuição do oxigênio dissolvido no meio como resultado da proliferação de algas e plantas aquáticas, fenômeno este conhecido como eutrofização (SHARPLEY, 1995). No Brasil, a concentração máxima de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3) na água de consumo humano é limitada em 10 mg L^{-1} (Tundisi, 2003; USEPA, 1999). Para o fósforo, o nível crítico de P-total na água corresponde a $0,020 - 0,025$; $0,030 - 0,050$ e $0,050 - 0,075 \text{ mg L}^{-1}$, gerando classificação nas classes 1, 2 e 3, respectivamente (CONAMA 357, 2005). Na literatura encontra-se que concentrações de P na solução escoada de $0,1$ a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ são suficientes para provocar eutrofização dos recursos hídricos (SHARPLEY et al., 1996). No entanto, esse valor é inferior ao requerido para o desenvolvimento ideal das culturas, a qual se encontra entre $0,2$ a $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ (HEATHWAITE et al., 2000). Basso et al. (2005) observaram concentrações de P em soluções percoladas de aproximadamente $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ com uma única aplicação de $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos de suínos. Ceretta et al. (2005) observaram teores de até 14 mg L^{-1} de P-disponível em soluções escoadas na superfície do solo. Esse cenário mostra a alta susceptibilidade das águas superficiais e subsuperficiais para contaminação pelo fósforo e nitrogênio se aplicados indiscriminadamente.

A transferência desses dois nutrientes pela solução escoada e percolada tem sido tema de diferentes trabalhos (BASSO et al., 2005; CERETTA et al., 2005; CERETTA et al., 2010b; DAVEREDE et al., 2004; GIROTTO et al., 2013; KLEINMAN et al., 2009; MORI et al., 2009; TIMOFIECSYK et al., 2012; SWEENEY et al., 2012; SILVEIRA et al., 2011; VADAS et al., 2011; WITHERS et al., 2000). As quantidades desses elementos transferidos são dependentes, especialmente, da quantidade do nutriente aplicado ao solo; do teor no solo; da frequência e do volume das precipitações, bem como, das características do solo e do sistema de cultivo (DAVEREDE et al., 2004; HART et al., 2004; CERETTA et al., 2010b). Por isso, torna-se imprescindível o monitoramento das quantidades de fontes orgânicas e mineral adicionadas nas lavouras, assim como, das perdas de nitrogênio e fósforo ocasionadas pela aplicação em excesso e/ou na mesma área.

Para finalizar, acredito que novas frentes de trabalhos serão necessárias para avaliar os efeitos das aplicações de dejetos de animais na produtividade das culturas, alterações nos atributos químicos do solo e as transferências de diferentes formas de nutrientes em solos que apresentam diferentes mineralogias. A maior parte das pesquisas tem focado seus esforços em solos profundos e com predomínio de caulinita e óxidos de ferro, diferindo da realidade encontrada nas áreas mais declivosas do estado do Rio Grande do Sul, onde predominam solos rasos e pouco intemperizados como os Neossolos e Cambissolos. A vulnerabilidade destas áreas ocorre devido a associação de relevo altamente declivoso e solos com pequena profundidade efetiva, fatores que exigem um manejo diferenciado para evitar transferências de sedimentos aos corpos hídricos e bacias hidrográficas. Portanto, as pesquisas futuras terão a oportunidade de avaliar aspectos qualitativos e quantitativos destes ambientes, aproveitando os conhecimentos já consagrados nos solos mais evoluídos. A relevância deste conjunto de dados certamente irá fortalecer a interface produção, ambiente e economia, já que permitirão gerar mais estudos, dissertações e teses, produtos esses, que em última análise poderão auxiliar técnicos e produtores rurais a melhorar a produtividade com menor impacto ao ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C. & GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Rev. Bras. de Ciência do Solo*. V.27, n.4. p. 601-612. 2003.
- BAKSH, A.; KANWAR, R. S.; AHUJA, L. R. Imulating the effect of swine manure application on NO₃-N transport to subsurface drainage water. *Transaction ASAE, St Joseph*, v. 42, p. 657-664, 1999.
- BASSO, C.J. et al. Dejeito líquido de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural, Santa Maria, RS*, v.35, n.6, p.1305-1312, 2005.
- BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2525-2532, 2008.
- CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 635-644, 2001.
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; DE 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, 2010a
- CERETTA, C.A.; GIROTTO, E.; LOURENZI, C.R.; TRENTIN, G.; VIEIRA, R.C.B.; BRUNETTO, G. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139:689-699, 2010b.
- CERETTA, C.A. et al. Dejeito líquido de suínos: I-Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência rural, Santa Maria, RS* v.35, n.6, p. 1296-1304, 2005.
- CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO Nº 357, Março de 2005, Brasília, DF, 2005.
- DAVEREDE, I.C.; KRAVCHENKO, A.N.; HOEFT, R.G.; NAFZIGER, E.D.; BULLOCK, D.G.; WARREN, J.J.; GONZINI, L.C. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.*, 32: 1436-1444, 2004.
- ELLIOTT, H. A.; O'CONNOR, G. A. Phosphorus management for sustainable biosolids recycling in the United States. *Soil Biology & Biochemistry*. v. 39. p. 1318-1327. 2007.
- GATIBONI, L. C. et al. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejeito líquido de suínos em pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG*, v. 32, n. 4, p. 1753 – 1761, 2008.

GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 93, p. 215-225, 2012.

GIROTTI, E.; CERETTA, C.A.; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; VIEIRA, R.C.B.; TRENTIN, G.; BASSO, C.J.; MIOTTO, A.; BRUNETTO, G. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 95:115-131, 2013.

HART, M. R.; QUIN, B. F.; NGUYEN, M. L. Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: A Review. *Journal of Environmental Quality*, v. 33, p. 1954-1972, 2004.

HAYGARTH, P.M. and SHARPLEY, A.N. 2000. Terminology for phosphorus transfer. *J. Environ. Qual.* 29, 10-15.

HEATHWAITE, A.L.; SHARPLEY, A.L.; GBUREK, W.J. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scale. *J. Environ. Qual.*, 29: p. 158-166, 2000.

HEREDIA, O. S.; CIRELLI, A. F. Environmental risks of increasing phosphorus addition in relation to soil sorption capacity. *Geoderma*. v. 137. p. 426-431. 2007.

KLEINMAN, P.J.A.; SHARPLEY, A.N.; SAPORITO, L.S.; Buda, A.R.; Bryant, R.B. Application of manure to no-till soils: phosphorus losses by sub-surface and surface pathways. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 84: 215–227, 2009.

LOURENZI, C.R. et al. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *R. Bras. Ciência do Solo*, 37:157-167, 2013.

MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J.; SANTOS, W. L. Perda de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos bovino em Latossolo sob plantio direto e como chuva simulada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v.33, p. 189-198. 2009.

PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. Soil phosphorus and environmental quality. In: PIERZYNSKI, G. M.; SIMS, J. T.; VANCE, G. F. *Soil and Environmental Quality*. 2ª edição. 2000. 459p.

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.(Ed) *Soil Processes and Water Quality*. Madison. p.7-89, 1994.

SHARPLEY, A.N. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.*, 24: p. 947-951, 1995.

SHARPLEY, A.; DANIEL, T.C.; SIMS, J.T. & POTE, D.H. Determining environmentally sound soil phosphorus levels. *Journal Soil Water Conservation*. v.51, p.160-166, 1996.

SILVEIRA, F. de M. et al. Dejetos líquidos bovino em plantio direto: perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, v. 35, n. 5, p. 1759-1768, 2011.

SWEENEY, D.W., PIERZYNSKI, G.M., BARNES, P.L. 2012. Nutrient losses in field-scale surface runoff from claypan soil receiving turkey litter and fertilizer. *Agric. Ecosyst. Environ.* 150, 19-26.

TIMOFIECSYK, ADRIANA et al. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 6, p. 1924-1930, 2012.

TUNDISI, J.G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RIMA, 2002. 248p

VADAS, P.A., JOKELA, W.E, FRANKLIN, D.H., ENDALE, D.M. 2011. The effect of rain and runoff when assessing timing of manure application and dissolved phosphorus loss in runoff. *J. Am. Water Resour. As.* 47, 877-886.

WANG, W., LIANG, T., WANG, L., LIU, Y., WANG, Y., ZHANG, C. 2013. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. *Environ. Earth Sci.* 68, 1313-1319.

WITHERS, P. J. A.; CLAY, S. D.; BREEZE, V. G. Phosphorus transfer in runoff following application of fertilizer, manure, and sewage sludge. *Journal of Environmental Quality*, v. 30, p. 180-188, 2001.

ANEXO

ANEXO A. Instruções aos autores da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

A Revista Brasileira de Ciência do Solo é um periódico de divulgação científica publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Os trabalhos submetidos à publicação somente poderão ser enviados pelo site www.sbcs.org.br, e não mais em papel, e nas seguintes formas:

- Artigos ou notas científicas.
- Revisões de literatura sobre tema específico.
- Cartas ao Editor de, no máximo, quatro páginas digitadas em espaço duplo, contendo um dos seguintes temas: (a) Comunicação de matéria diretamente ligada à Ciência do Solo; (b) Comentário crítico de trabalhos publicados na Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Só serão aceitos trabalhos escritos em português ou inglês, depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados e não submetidos à publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta última limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo. O autor que encaminhar o trabalho deverá se responsabilizar pelos demais autores, quando houver, como co-responsáveis pelo conteúdo científico do trabalho.

Os trabalhos subdivididos em partes I, II..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores.

Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos e notas científicas:

1. O original deve ser encaminhado completo e revisto.
2. Deve ser enviado digitado em espaço 1,5, utilizando fonte "Times New Roman 12", formato A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda, enumerando-se todas as páginas e as linhas do texto.
3. O trabalho deve ser o mais claro e conciso possível. Somente em casos especiais serão aceitos trabalhos com número de páginas de texto superior a quinze.
4. Os artigos, notas e revisões deverão ser iniciados com o título do trabalho e, logo abaixo, os nomes completos dos autores. Como chamada de rodapé referente ao título, deve-se usar número-índice que poderá indicar se foi trabalho extraído de tese, ou

apresentado em congresso, entidades financiadoras do projeto e, necessariamente, a data (Recebido para publicação em / /) em que o trabalho foi recebido para publicação. O cargo, o local de trabalho dos autores [endereço postal e, se possível, eletrônico (E-mail)], deverão ser inseridos também no rodapé, em numeração consecutiva de chamada de números-índices colocados logo após o nome de cada autor. A condição de bolsista poderá ser incluída.

5. Os artigos deverão ser divididos, sempre que possível, em seções com cabeçalho, na seguinte ordem: RESUMO, SUMMARY (precedido da tradução do título para o inglês), INTRODUÇÃO, MATERIAL E MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS e LITERATURA CITADA. Não há necessidade dessa subdivisão para os artigos sobre educação, revisões de literatura e notas científicas, embora devam ter, obrigatoriamente, RESUMO e SUMMARY.

Tais seções devem ser constituídas de:

5.1. TÍTULO do trabalho que deve ser conciso e indicar o seu conteúdo.

5.2. RESUMO que deve apresentar, objetivamente, uma breve frase introdutória, que justifique o trabalho, o que foi feito e estudado, os mais importantes resultados e conclusões.

Será seguido da indicação dos termos de indexação, diferentes daqueles constantes do título.

A tradução do RESUMO para o inglês constituirá o SUMMARY.

5.3. INTRODUÇÃO que deve ser breve, esclarecendo o tipo de problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e finalizar com a indicação do objetivo do trabalho.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS em que devem ser reunidas informações necessárias e suficientes que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores.

5.5. RESULTADOS que devem conter uma apresentação concisa dos dados obtidos. Quadros ou figuras devem ser preparados sem dados supérfluos.

5.6. DISCUSSÃO que deve conter os resultados analisados, levando em conta a literatura, mas sem introdução de novos dados.

5.7. CONCLUSÕES que devem basear-se somente nos dados apresentados no trabalho e deverão ser numeradas.

5.8. AGRADECIMENTOS devem ser sucintos e não aparecer no texto ou em notas de rodapé.

5.9. LITERATURA CITADA, incluindo trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética e da seguinte forma:

a. Periódicos: Nome de todos os autores, Título do artigo. Título abreviado do periódico, volume: páginas inicial e final, ano de publicação. Exemplo:

FONSECA, J.A. & MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras. Ci. Solo, 21:47-50, 1997.

b. Livro: Autores. Título da publicação. Número da edição. Local, Editora, ano de publicação. Número de páginas. Exemplo:

KONHNKE, H. Soil physics. 2.ed. New York, MacGraw Hill, 1969. 224p.

c. Participação em obra coletiva: Autores. Título da parte referenciada seguida de In: Nome do editor. Título da publicação, número da edição. Local de Publicação, Editora, ano. Páginas inicial e final. Exemplos:

- Capítulo de livro: JACKSON, M.L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the soil. 2.ed. New York, Reinhold, 1964. p.71-141.

d. Trabalho em Anais: VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

e. CD-ROM: SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM

f. Internet: EL NIÑO and La Niña. Disponível em: <<http://www.stormfax.com/elnino.htm>>.

Acesso em 15 out. 2000. As abreviações de nome de revistas devem ser feitas de acordo com as usadas pelos “abstracting journals”, como dos Commonwealth Agricultural Bureaux.

6. As Referências no texto deverão ser feitas na forma: Silva & Smith (1975) ou (Silva & Smith, 1975). Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida: (Souza et al., 1975). Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor(es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).

7. Os quadros deverão ser numerados com algarismos arábicos, sempre providos de um título claro e conciso e construídos de modo a serem auto-explicativos. Não usar linhas verticais. As linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final do quadro. O quadro deve ser feito por meio de uma

tabela (MICROSOFT WORD/TABELA/INSERIR TABELA), no qual cada valor deve ser digitado em células distintas, estando centralizado e alinhado.

8. Os gráficos deverão ser preparados, utilizando-se “Softwares” compatíveis com “Microsoft Windows” (“Excel”, “Power Point”, “Sigma Plot”, etc.). Para fotos e mapas coloridos utilizar resolução de 150 a 300 DPI. Não serão aceitas figuras que repitam informações de quadros.

9. Fotos coloridas, quando imprescindíveis, a critério da Comissão Editorial, serão, também, aceitas. Os custos adicionais deverão ser cobertos pelos autores.

10. Para publicação de artigos na RBCS serão cobrados por página editorada (forma final na Revista): para sócios da SBCS (primeiro autor e, ou, autor correspondente) R\$ 25,00, até oito páginas, e R\$ 50,00 por página adicional, para não-sócios (primeiro autor e, ou, autor correspondente): R\$ 50,00 por página até oito páginas e R\$ 100,00 por página adicional.