

AUGUSTO FRIEDERICHS

**EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO E
UREIA COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós- graduação em
Ciência do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da
Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do
Solo.

Orientador: Prof^o: Álvaro Luiz Mafra

LAGES, SC 2017

Friederichs, Augusto

Emissão de co2 do solo pela aplicação de dejetos líquido suíno e ureia com inibidor de nitrificação / Augusto Friederichs ; orientador, Álvaro Luiz Mafra - Lages, SC, 2017. 61 p.

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Bibliografia: p. 54-61

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. injeção 2. adubo orgânico . 3. matéria orgânica.

I. Friederichs, Augusto . II. Mafra, Álvaro Luiz. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno

AUGUSTO FRIEDERICHS

EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO PELA APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO SUÍNO E UREIA COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Banca Examinadora

Orientador: _____

Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra - Universidade do Estado de Santa Catarina-
UDESC

Membro: _____

Dr. Jaqueline Dalla Rosa - Universidade Federal do Piauí – UFPI

Membro: _____

Dr. Andréia Patrícia Andrade - Universidade do Estado de Santa Catarina-
UDESC

Dedico este trabalho a minha família, que sempre me incentivou e apoiou nas minhas escolhas!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, que sempre me incentivaram a buscar estudo e conhecimento. Mesmo não tendo a mesma oportunidade que eu tive, souberam me ensinar que a busca do conhecimento é a conquista mais gratificante e imensurável. Estendo meus agradecimentos aos meus irmãos Gustavo e Edel pela partilha destes princípios em suas carreiras profissionais.

À minha namorada e companheira Hayana, que tanto me apoia e incentiva em minhas decisões. Ao seu lado não temos conquistas individuais, apenas conjuntas.

Ao professor Álvaro Luiz Mafra, que já acompanha minha trajetória acadêmica desde a graduação. Será sempre um espelho de boa conduta ética e profissionalismo, além de uma grande pessoa.

Aos meus amigos que ajudaram com seu trabalho, tempo e amizade na elaboração deste trabalho, Diego e Walter. Estendo estes agradecimentos aos bolsistas que também foram essenciais neste projeto e aos colegas da Udesc de Chapecó que auxiliaram nas análises.

Aos colegas do laboratório de Física e Manejo do Solo, que compartilharam vários momentos de alegria e trabalho, vocês fazem o ambiente mais alegre de se trabalhar.

Aos professores da banca, Andréia e Jaqueline, pelo tempo dedicado a este trabalho e sugestões de melhorias.

Aos amigos de república que foram uma família por grande parte deste período, Maiquiel, Gustavo, e colegas de graduação Eduardo, Bilk e Alisson.

À UDESC pelo excelente ensino, ótimo curso e a grande turma de grandes professores que participam da trajetória acadêmica de centenas de profissionais.

À Capes pelo auxílio financeiro neste período do mestrado.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

RESUMO

FRIEDERICHS, Augusto. **Emissão de CO₂ do Solo pela Aplicação de Dejeto Líquido Suíno e Ureia com Inibidor de Nitrificação**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área: Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017

A atividade suinícola tem grande importância no Brasil, com destacada participação na balança comercial. No entanto, a produção é concentrada em algumas regiões, o que gera grande volume de dejetos líquidos suínos (DLS), com potencial poluidor da água, atmosfera e solo. Seu uso como fertilizante agrícola pode melhorar a capacidade produtiva do solo e a qualidade ambiental. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de fertilizantes (orgânicos e minerais) e o modo de distribuição sobre as propriedades da matéria orgânica do solo e estoque de nutrientes em experimento realizado a campo e quantificar as emissões de CO₂ em ambiente controlado. No experimento a campo, conduzido em um Cambissolo Húmico com aplicações de DLS, ureia e utilização de DCD, aplicados em superfície e injetados, avaliaram-se as frações físicas do carbono e os teores de nutrientes no solo. No trabalho realizado em ambiente controlado foram testados os mesmos tratamentos, no entanto com um fator adicional, o uso de palha de milho sobre a superfície do solo. Avaliaram-se as emissões diárias e acumuladas de CO₂ e nutrientes do solo. Para o experimento realizado a campo, as frações físicas e o teor total de carbono orgânico foram semelhantes entre os tratamentos. A adição de DLS por três anos aumentaram os teores de P e K quando comparados à testemunha. As formas de aplicação dos fertilizantes no solo foram semelhantes entre si para os atributos relacionados ao carbono orgânico e do solo e suas frações e nitrogênio total. Não houve efeito da adição de DCD nas propriedades químicas avaliadas no experimento a campo. Os teores Ca e Mg na solução do solo foram semelhantes nos tratamentos incubados em laboratório com fertilizantes orgânicos ou minerais e com uso de palha. Houve aumento nos teores de K da solução do solo pela utilização de palha de milho. Os nutrientes da fase sólida do solo foram semelhantes nos tratamentos incubados com DLS ou fertilizantes minerais. As emissões diárias de CO₂ se diferenciaram nos tratamentos com a utilização de DLS, não havendo diferença pelo modo de aplicação dos fertilizantes. A utilização de palhada aumentou as emissões de CO₂. As emissões acumuladas de CO₂ sofreram interação nos tratamentos com a utilização de palha, sendo que os tratamentos com DLS e uso de palha foram os que tiveram as maiores emissões.

Palavras-Chave: injeção, adubo orgânico, matéria orgânica.

ABSTRACT

FRIEDERICHS, Augusto. **CO₂ emission from soil by the application of swine slurry and urea with nitrification inhibitor**. 2017. 61 f. Master's thesis in Soil Science. Area: Soil Management – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2017

The swine production is very important in Brazil, with a significant participation in the trade balance. However, production is concentrated in some regions, which generates a large volume of swine slurry (DLS), with the potential to pollute water, atmosphere and soil. If it is used in agriculture fields, can improve the soil quality and the productive of the system. This study aim to evaluate the effects of fertilizer application and way of distribution on a field experiment, evaluating the soil organic matter and nutrient stock, and CO₂ emissions in a controlled environment. In field experiment, carried on in a Humic Dystrucept with applications of DLS, urea and the use of DCD, surface applied and injected, the carbon granulometric fractioned and nutrient contents in the soil were evaluated. In the work carried out in a controlled environment, the same treatments were applied, however was include an additional factor, the use of maize straw. Daily and accumulated emissions of CO₂ and soil nutrients were measured. For the field experiment, the physical fractions and the total organic carbon content were similar among the treatments. The addition of DLS for three years increased P and K concentrations when compared to the control. There was no effect of DCD addition on the chemical properties evaluated in the field experiment. The Ca and Mg contents in the soil solution were similar in treatments incubated with organic or mineral fertilizers and with corn straw. There was an increase in the K contents of the soil solution by the use of corn straw. Soil solid phase nutrients were similar in treatments incubated with DLS or mineral fertilizers. The daily emissions of CO₂ differed in the treatments with the use of DLS, and there was no difference in the way the fertilizers were applied. The use of straw increased CO₂ emissions. The accumulated emissions of CO₂ were interacted in the treatments with the use of straw, and the treatments with DLS and straw use were those that had the highest emissions.

Keywords: injection, organic fertilizer, organic matter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Efeito simples dos diferentes tipos de fertilizantes aplicados ao solo sobre as emissões de CO ₂	35
Figura 2: Efeito simples da adição de palha em superfície sobre as emissões de CO ₂ do solo.....	37
Figura 3: Efeito de interação entre a forma de aplicação e tipo de fertilizante nas emissões acumuladas de CO ₂	38
Figura 4: Efeito da adição de palha em superfície sobre as emissões acumuladas de CO ₂ do solo.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Contrastes dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo coletado após a colheita da cultura do milho, em solo com três anos consecutivos de aplicação dos tratamentos.....	29
Tabela 2: Tabela 2: Nutrientes do solo coletado após a colheita da cultura do milho solo coletado após a colheita da cultura do milho, em solo com três anos consecutivos de aplicação dos tratamentos.....	31
Tabela 3: Nutrientes na solução do solo após 40 dias de incubação dos tratamentos ao solo mantido em ambiente controlado	33
Tabela 4: Nutrientes trocáveis do solo após 40 dias de incubação dos tratamentos ao solo mantido em ambiente controlado	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CQFS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

FATMA – Fundação do Meio Ambiente

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

Al – Alumínio

C – Carbono

C/N – Relação carbono nitrogênio

Ca – Cálcio

cm – Centímetro

cmol_c – Centimol de carga

CO₂ – Dióxido de carbono

COAM – Carbono orgânico associado aos minerais

COP – Carbono orgânico particulado

COT – Carbono orgânico total

Cu – Cobre

DCD – Dicianodiamida

DLS – Dejeito líquido suíno

g – Grama

H₂O – Água

ha – Hectare

K – Potássio

kg – Quilograma

m - Metro

M.O – Matéria orgânica

m³ – Metro cúbico

Mg – Magnésio

mg – Miligrama

mm – Milímetro

N – Nitrogênio

N_2O – Óxido nitroso

NH_4^+ - Amônia

NO_3^- - Nitrato

NPK – Nitrogênio, fósforo e potássio

$^\circ\text{C}$ – Grau centrígrado

P – Fósforo

pH – Potencial de hidrogênio

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	27
1.1 HIPÓTESES	28
1.2 OBJETIVOS	29
2 REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 CENÁRIO DA SUINOCULTURA BRASILEIRA E CATARINENSE	29
2.2 USO DE DEJETO DE SUÍNOS NA AGRICULTURA	30
2.3 POTENCIAL POLUENTE DO DEJETO LÍQUIDO SUÍNO	31
2.4 DINÂMICA DO DEJETO LÍQUIDO SUINO NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 EXPERIMENTO A CAMPO	36
3.2 EXPERIMENTO EM AMBIENTE CONTROLADO	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 EXPERIMENTO A CAMPO	40
4.1.1 Atributos relacionados à matéria orgânica	40
4.1.2 Atributos químicos do solo	43
4.2 EXPERIMENTO EM AMBIENTE CONTROLADO	45
4.2.1 Nutrientes na solução do solo	45
4.2.2 Emissões de CO ₂	47
5 CONCLUSÃO	53
6 BIBLIOGRAFIA	54

1 INTRODUÇÃO GERAL

A suinocultura é uma das principais atividades pecuárias desenvolvidas no Brasil com importância socioeconômica, notadamente em Santa Catarina, como fonte de renda e trabalho para comunidades rurais e urbanas. A atividade está em expansão, prevê-se crescimento de 31,7% na produção de carne suína até o ano de 2024 (AGE/MAPA, 2014). Entretanto, a produção de suínos gera expressivo volume de dejetos com alto potencial poluente, concentrando-se em poucas regiões, onde há excedentes do resíduo em relação às necessidades nutricionais das plantas e à capacidade de suporte dos solos (OLIVEIRA et al., 2001, BERTO, 2004). Nesse contexto, a mitigação dos impactos negativos do descarte final do dejetos líquido suíno (DLS) ao ambiente demanda novos processos, práticas e tecnologias, que tornem esse material um fertilizante orgânico seguro para o uso na agricultura, com base no princípio da sustentabilidade.

A forma usual da aplicação do DLS é sua distribuição superficial, a qual apresenta menor custo operacional, e adequa-se ao sistema de plantio direto. Essa aplicação sobre os resíduos das culturas favorece o acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo (Cassol et al., 2011; Veiga et al., 2012), mas pode potencializar perdas de nutrientes efeitos negativos na qualidade da água e do ar, além de afetar o suprimento de nutrientes para as plantas (KUNZ et al., 2009). Entre as tecnologias para mitigar os efeitos poluidores e melhorar o aproveitamento agrônômico dos dejetos animais, tem se avaliado a injeção ao solo, o que tem sido uma alternativa adotada a campo em países de clima temperado, mostrando-se eficiente para reduzir a volatilização de amônia (DELL et al., 2012; POTE; MEISINGER, 2014).

A injeção de dejetos ao solo permite maior contato com as partículas do solo, promovendo retenção de amônio NH_4^+ (DELL et al., 2011). A combinação da injeção de DLS no solo com o carbono de fácil metabolização pode aumentar a atividade microbiana, e estimular a respiração microbiana (WULF et al., 2002; WEBB et al., 2010). Dosch; Gutser, (1996) e Giacomini (2008), também encontram maiores emissões de CO_2 quando o DLS foi injetado no solo. Da mesma forma, CHANTIGNY et al. (2001) encontraram mineralização significativamente maior do carbono quando o DLS foi aplicado incorporado ao solo. Contraditoriamente Dendooven et al. (1998) não encontraram diferença na emissão de CO_2 quando injetado ou aplicado em superfície. Estes autores justificam o fato pela decomposição do DLS ocorrer primeiramente por microrganismos provenientes do próprio dejetos, os quais

permanecem altamente viáveis (OPPERMAN et al., 1989). Adicionalmente, como destacado por Dendooven et al. (1998) a aplicação injetada pode trazer benefícios ambientais.

Uma estratégia que vem sendo estudada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina é a utilização de inibidores de nitrificação (IN), com destaque para a dicianodiamida (DCD). Este inibidor age retardando a passagem do amônio para nitrito, conseqüentemente há maior estabilização do amônio no solo e menores perdas pelas formas de nitrato via lixiviação ou desnitrificação. Essa inibição temporária ocorre por alguns dias, em torno de 15 dias após a aplicação dos fertilizantes. Rauber (2015) verificou a eficiência do DCD em retardar as perdas de nitrogênio (N), permitindo maior permanência do amônio no solo. Em caso de maior estabilidade do nitrogênio no solo, ocorreria maior utilização do mesmo pelos microrganismos do solo, aumentando a atividade microbiana.

A incorporação ao solo de materiais orgânicos pode afetar a atividade microbiana e a disponibilidade de nutrientes, em especial o nitrogênio. Materiais com alta concentração de carbono, mas pouco nitrogênio (alta relação C/N), geralmente são lentamente mineralizados e induzem à deficiência de nitrogênio às plantas, pois os microrganismos absorvem grande parte do N disponível, o qual só volta a ser disponibilizado após a decomposição do material (MIELNICZUK, 1999). Dessa maneira, o DLS, pela baixa relação C/N, pode aumentar a atividade microbiana. A medição da respiração microbiana é uma forma de estimar o nível de atividade dos microrganismos do solo, a qual reflete a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo ou de algum material a ele adicionado.

A eficácia do DLS em relação à alteração da matéria orgânica (MO) é variável. Alguns autores afirmam que a aplicação de DLS aumenta os teores de carbono orgânico do solo (STEINER, 2011), seja via o efeito direto da adubação orgânica ou pelo efeito indireto no desenvolvimento das culturas neste sistema, que por sua vez adicionam mais resíduos vegetais ao solo (LOSS et al., 2009).

Do ponto de vista agrícola, a aplicação de DLS ao solo pode ser considerada tão eficiente quanto à utilização de fertilizantes minerais solúveis. Fato que contribui para o manejo da adubação em propriedades produtoras de suínos, diminuindo a dependência externa de insumos.

1.1 HIPÓTESES

A adição de DLS ao solo promove a decomposição da matéria orgânica do solo quando comparado à aplicação de fertilizantes minerais solúveis e aumenta a emissão de CO₂. A aplicação de fertilizantes injetados após três anos consecutivos proporciona maiores estoques de nutrientes no solo.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo foi avaliar a eficiência dos fertilizantes e modo de aplicação, sobre as formas de carbono e nutrientes no solo em um trabalho realizado a campo. Em ambiente controlado, avaliar, as emissões de CO₂ do solo submetido à aplicação superficial e incorporada de fertilizante mineral solúvel (ureia) e orgânico (dejeito líquido suíno), com uso de DCD.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CENÁRIO DA SUINOCULTURA BRASILEIRA E CATARINENSE

O Brasil ocupa a quarta posição na produção e exportação mundial de carne suína. Alguns elementos como sanidade, nutrição, bom manejo da granja, produção integrada e, principalmente, aprimoramento gerencial dos produtores, contribuíram para aumentar a oferta interna e colocar o país em destaque no cenário mundial. Consequência de investimento, a produção vem crescendo em torno de 4% ao ano, sendo os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul os principais produtores de suínos do País. Essas regiões representam mais de 65% dos abates nacionais de suínos (IBGE, 2016). Atualmente, o Brasil participa com 10% do volume exportado de carne suína no mundo, chegando a lucrar mais de US\$ 1 bilhão por ano (MAPA, 2016). Santa Catarina é o estado brasileiro que mais produz e exporta carne suína (ABIPECS, 2015), sendo responsável por aproximadamente 27 % da produção brasileira de suínos.

A cadeia produtiva da suinocultura gera mais de 635 mil empregos diretos e indiretos (Miele e Machado, 2010). Adicionalmente, a distribuição geográfica desse montante de produção apresenta concentração em poucos municípios, o que gera grande volume de dejetos nesses locais.

2.2 USO DE DEJETO DE SUÍNOS NA AGRICULTURA

O alto custo dos fertilizantes manufaturados, as restrições atualmente impostas pelos órgãos ambientais e o teor elevado de nutrientes do dejetos líquido suíno (DLS) fazem com que o seu principal destino seja o uso agrícola, como fertilizante das culturas comerciais (SCHIRMANN et al., 2013).

Devido aos teores de M.O e nutrientes, principalmente N e P, o DLS pode melhorar atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que possibilita seu aproveitamento na agricultura como fornecedor de nutrientes e elementos benéficos ao desenvolvimento e à produção das culturas (SCHERER et al., 2007; SERPA FILHO et al., 2013). Somavilla et al. (2015) em um experimento envolvendo aplicação de DLS em milho, verificaram incremento linear no teor de nitrogênio do tecido foliar em relação às doses aplicadas.

Mafrá et al. (2014) constataram que a aplicação de dejetos líquidos suínos como fertilizante em cultivos sucessivos de milho e aveia preta, em plantio direto, em doses a partir de 50 m³ ha⁻¹ por ano, aumentou a taxa de fixação de carbono no solo comparativamente à adubação mineral. Ceretta et al. (2003); Lourenzi et al. (2011); e Brunetto et al. (2012) afirmam que além do incremento de nutrientes na camada superficial do solo, o DLS pode diminuir a saturação de alumínio e aumentar o pH do solo, o que torna o ambiente mais adequado para o crescimento de plantas, principalmente aquelas mais sensíveis à acidez. Com isso, há melhoria no ambiente químico do solo para o crescimento de raízes, devido ao aumento da saturação por bases.

Grohskopf et al. (2016) em um experimento de longa duração com aplicação anual de DLS, nas doses de 50 m³ ha⁻¹ em plantio direto, com sistema de rotação de culturas, observaram níveis de nitrato, fósforo e potássio semelhantes aos tratamentos com fertilização com adubos minerais solúveis.

Entre as culturas agrícolas com maior resposta à aplicação de DLS, o milho tem se mostrado responsivo a mudanças de fertilidade do solo, com incremento linear às doses de dejetos (LOURENZI et al., 2014). Adicionalmente, afirmam que o aumento da dose de DLS aplicada ao longo de anos aumentou a disponibilidade de nutrientes, notadamente de P, mas também de nutrientes que podem ser potencialmente tóxicos às plantas, especialmente cobre (Cu) e zinco (Zn). Medeiros et al. (2007) observaram que a aplicação de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DLS pode substituir a aplicação de adubação mineral em pastagem de *Brachiaria brizantha*.

Em estudo conduzido em um Nitossolo Vermelho eutrófico em Concordia-SC, Rauber et al. (2012), avaliaram propriedades físicas do solo e carbono orgânico em áreas submetidas à aplicação de dejetos suínos, e constataram que o uso deste fertilizante orgânico melhorou a estrutura do solo, com decréscimo na densidade e resistência à penetração, aspecto também observado por Zhao et al. (2009). No entanto, Arruda et al. (2010) não encontraram alterações na estrutura física do solo e nos teores de carbono orgânico em um solo após cinco anos de aplicação de DLS, em doses até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Embora ainda existam algumas dúvidas sobre os efeitos do uso de DLS na agricultura, esse material pode ser uma opção econômica de fertilização, pois aproveitam-se materiais presentes na propriedade rural além disso pode ser menos agressiva ao meio ambiente; desde que utilizados racionalmente (MEDEIROS et al., 2007).

2.3 POTENCIAL POLUENTE DO DEJETO LÍQUIDO SUÍNO

A produção suínica gera expressivo volume de dejetos, com alto potencial poluente quando aplicados de forma concentrada ao solo, excedendo sua capacidade de suporte (OLIVEIRA et al., 2001; BERTO, 2004). Nesse contexto, a mitigação dos impactos negativos do descarte final do DLS ao ambiente demanda novos processos, práticas e tecnologias, que tornem esse resíduo um fertilizante orgânico seguro para uso na agricultura. A legislação até então utilizada para reger o uso agrícola deste resíduo não levava em conta as diferenças entre solos presentes nas regiões agrícolas (IN nº 11-FATMA, de 13/12/2004). Recentemente foi publicado um boletim técnico sugerindo que cada solo possui uma capacidade de suporte para receber essas aplicações (GATIBONI et al., 2014).

O grande problema atual associado ao uso de dejetos suíno na agricultura é seu uso excessivo nas mesmas áreas. Devido ao fato da distribuição geográfica da produção suínica ser concentrada, ocorrem aplicações sucessivas e concentradas nas proximidades das granjas.

A forma usual da aplicação dos dejetos suínos é seu espalhamento superficial, o qual atualmente apresenta menor custo operacional, sendo também condicionada pelo sistema de plantio direto, que preconiza o revolvimento mínimo do solo. Apesar dos vários benefícios da utilização de DLS, essa condição de aplicação superficial pode potencializar as perdas de nutrientes e efeitos negativos na qualidade da água e do ar, além de afetar sua contribuição no suprimento de nutrientes para as plantas. Outro fator que poder ser associado a efeitos negativos da aplicação superficial de DLS é o escoamento superficial, que além de carregar sedimentos, arrasta nutrientes que se concentram na superfície do solo nesse sistema de aplicação (CASSOL et al., 2012). Essa forma de transporte de nutrientes do sistema é importante especialmente para o fósforo, que tem grande atração pelas partículas de solo e elevada energia de ligação, além de ter grande potencial para causar eutrofização das águas superficiais (BERTOL et al., 2010). Este fenômeno é comum em regiões de relevo acidentado e solos manejados sem práticas conservacionistas para redução do escoamento superficial Shigaki et al. (2006), como se observa em algumas regiões de produção de suínos no Estado de Santa Catarina.

Entre as tecnologias para mitigarem os efeitos poluidores e melhorar aproveitamento agrônomico, a injeção dos dejetos ao solo, tem sido uma alternativa adotada a campo em países de clima temperado, mostrando-se eficiente para reduzir a volatilização de NH_3 (DELL et al., 2012; POTE e MEISINGER, 2014). A injeção de dejetos no solo pode reduzir em até 90% as perdas de N por volatilização de NH_3 (DAMASCENO, 2010; GONZATTO et al., 2012). A incorporação ao solo pode reduzir as perdas de NH_3 por diminuir a exposição dos dejetos ao ar (Huijsmans et al., 2003) e aumentar a imobilização de amônio nas cargas negativas do solo, pelo maior contato com o solo (DELL et al., 2011). Outros autores como Aita et al. (2014) avaliando a injeção de DLS no solo, verificaram que as emissões de NH_3 foram significativamente menores que a aplicação usual em superfície, fato também observado por RAUBER (2015). Adicionalmente, a injeção do DLS aumentou os teores de NH_4^+ do solo em relação à distribuição em superfície, garantindo maior permanência do N no solo e maior disponibilidade para as plantas. No entanto, os mesmos autores evidenciaram emissões de N_2O superiores nos tratamentos com injeção, o que representa efeito ambiental

negativo dessa prática. Esses resultados demonstram necessidade de maiores ajustes nas práticas de manejo do DLS.

Outra tecnologia associada à mitigação do potencial poluente do DLS é a utilização de inibidores de nitrificação. A dicianodiamida (DCD) é um dos produtos indicados para essa finalidade, buscando maior eficiência para os fertilizantes nitrogenados. Gonzatto et al. (2016) verificaram no primeiro mês após a aplicação dos dejetos, redução na formação de $N-NO_3^-$ no solo pelo uso de DCD, mantendo o N na forma amoniacal por mais tempo no solo. Outro benefício encontrado com o uso de DCD foi a redução da emissão de N_2O pela aplicação de dejetos de suínos (AITA, et al., 2015). Autores como Schirmann, et al. (2013), verificaram que o DCD pode ter sido efetivo para a maior preservação do NH_4^+ do DLS ao solo, promovendo maior absorção deste nutriente para a cultura do milho.

2.4 DINÂMICA DO DEJETO LÍQUIDO SUINO NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Muito tem se discutido sobre os efeitos da aplicação de DLS ao solo em relação à matéria orgânica do solo. O efeito da aplicação desse tipo de resíduo em aumentar, manter ou reduzir os níveis de MOS é dependente cada situação específica. Andrade et al. (2016) em um experimento avaliando aplicações de DLS por longo prazo, em diferentes sistemas de manejo, observaram manutenção dos teores de carbono orgânico total pela utilização desse resíduo. Contraditoriamente, Steiner et al. (2012) apresentam que a aplicação de resíduos da produção animal podem aumentar os teores de carbono do solo, o que segundo Loss et al. (2009) ocorre de forma indireta, pelo benefício proporcionado pela maior produção de biomassa vegetal e entrada de carbono no sistema

Estudos têm sido desenvolvidos para avaliar o efeito da injeção do DLS ao solo como uma maneira de melhorar o aproveitamento do resíduo. A combinação da injeção de DLS no solo com aporte de carbono de fácil metabolização, pode aumentar a atividade microbiana (WULF et al., 2002; WEBB et al., 2010). Maiores emissões de CO_2 quando o DLS foi injetado no solo (DOSCH e GUTSER, 1996 e GIACOMINI 2008). Corroborando com a afirmação anterior, Chantigny et al. (2001) encontraram mineralização significativamente maior do carbono quando o DLS foi incorporado ao solo. Contraditoriamente a estas afirmações anteriores Dendooven et al. (1998) não encontraram diferença na emissão de CO_2

quando o DLS foi injetado ou aplicado em superfície. Estes autores justificam o resultado pelo fato que o DLS é decomposto primeiramente por microrganismos que já vem com o próprio dejetos, os quais ainda estão altamente viáveis (OPPERMAN et al., 1998).

A incorporação ao solo de materiais orgânicos afeta a dinâmica populacional dos microrganismos e também a disponibilidade de alguns nutrientes, em especial do N. Materiais com alta concentração de carbono, mas pouco nitrogênio (alta relação C/N) geralmente são lentamente mineralizados e induzem à deficiência de nitrogênio às plantas, pois os microrganismos absorvem grande parte do N disponível, o qual só volta a ser disponibilizado após a decomposição do material adicionado (MIELNICZUK, 1999). Dessa maneira, a adição de DLS, em função da baixa relação C/N, pode aumentar a atividade microbiana.

Suleiman et al. (2016) apresentam que o DLS quando aplicado no solo reduz temporariamente a diversidade de microrganismos do solo, a qual é, no entanto, rapidamente recuperada após 50 dias de sua aplicação. Corroborando com estas informações Williams et al. (2013) afirmam que aplicações de fertilizantes minerais alteram pouco a estrutura da comunidade microbiológica do solo. Por outro lado, quando aplicados fertilizantes orgânicos são encontradas grandes alterações na biologia do solo. Tal fato é atribuído às alterações na matéria orgânica do solo, constatadas pela aplicação de fertilizantes orgânicos durante 55 anos.

A medição da respiração microbiana é uma forma de estimar o nível de atividade dos microrganismos do solo, a qual reflete a velocidade de decomposição da matéria orgânica do solo ou de algum material a ele adicionado. Assim, a avaliação da quantidade de CO₂ liberada pela respiração dos microrganismos (também denominada C prontamente mineralizável ou respiração basal) é um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo (ANDERSON, 1982; ZIBILSKA, 1994). Da mesma forma que outras atividades metabólicas, a respiração depende do estado fisiológico das células e é influenciada por diferentes fatores, tais como: umidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes. Alta taxa de respiração pode ser interpretada como uma característica desejável, quando se considera que a decomposição irá disponibilizar nutrientes para as plantas. No entanto, alta atividade respiratória também pode resultar em decomposição intensa da matéria orgânica estável, na fração húmica, o que pode comprometer processos químicos e físicos, como agregação, capacidade de troca catiônica e retenção de água, podendo ocorrer, também perda de nutrientes. Portanto, como afirmado por

Islam e Weil (2000), taxas de respiração mais elevadas podem indicar tanto distúrbio, como alto nível de produtividade do sistema, devendo ser analisadas em cada contexto.

Em relação a respiração microbiana, uma população mais eficiente é aquela que perde menos C na forma de CO₂, e incorporaria mais C nos tecidos microbianos. Assim de acordo com Anderson e Domsch (1993), usando o quociente metabólico de CO₂ (qCO₂) como indicativo dessa dinâmica, afirmam que elevados índices representariam população em crescimento, mais ativa, ou presença de estresse metabólico advindo de alteração ambiental. Levando em conta essa consideração anterior, a adição de DLS pode promover crescimento da população microbiana, assim proporcionando maior respiração e conseqüentemente, maior liberação de CO₂.

Do ponto de vista ambiental, busca-se reduzir a emissão de CO₂ por meio de práticas de manejo do DLS (ROBERTSON et al., 2000). Porém, destaca-se que solos de regiões tropicais têm biomassa microbiana mais ativa, ou seja, a matéria orgânica apresenta maior dinâmica, quando comparada aos solos de regiões de clima temperado (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Por outro lado, se destaca a insuficiente compreensão da dinâmica do carbono nos solos em ambiente tropical, onde a injeção de DLS ainda está em fase de estudos.

Ressalta-se que o efeito físico da máquina de injeção também deve ser considerado como um alterante no solo. Balesdent et al. (2000) mostraram aumento na ciclagem de C e N com o aumento da intensidade de mobilização do solo, pela redução na proteção física da M.O. Contrariando essa informação, Grave et al. (2015) avaliando aplicação superficial e injetada de DLS ao solo, não encontraram interação entre revolvimento do solo e tipo de fertilizante. Aita et al. (2012) trabalhando com a incorporação de DLS ao solo e seus efeitos sobre a palhada, sugerem que a injeção dos fertilizantes minimiza as emissões de CO₂.

Entretanto, devido ao manejo inadequado dos dejetos e das altas doses que vêm sendo aplicadas pelos produtores, esses resíduos podem comprometer a qualidade e a funcionalidade do ambiente (ROBOREDO et al., 2012; GUARDINI et al., 2012; MAFRA et al., 2015). Desse modo, o uso dos dejetos suínos na adubação deve ocorrer em quantidade e modo adequados, para potencializar os benefícios dessa prática, sem comprometer a qualidade edáfica (CASSOL et al., 2012).

Assim, busca-se conhecer o comportamento dessas variáveis pela de injeção de DLS ao solo isoladamente ou com o uso de DCD e em condições de solo indeformado, associado ao sistema de plantio direto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO A CAMPO

O experimento foi conduzido na Universidade do Estado de Santa Catarina, no Centro de Ciências Agroveterinárias. O clima da região é mesotérmico úmido, caracterizado por verões amenos (Cfb segundo a classificação de Köppen). As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1483 mm e 15,6°C, respectivamente (INMET, 2014). As coordenadas geográficas da área experimental são 27°47'08,31'' de latitude Sul e 50°18'09,70'' de longitude Oeste, com altitude média de 892m. O solo da área experimental é um Cambissolo Húmico Alumínico (Embrapa, 2013). A área experimental vem sendo mantida sob os mesmos tratamentos desde as safras 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015. Nas suas condições naturais o solo mantém as seguintes características químicas e físicas na camada de 0-20 cm: pH (H₂O): 5,4; SMP: 5,9; Al: 5,1 cmolc kg⁻¹; Ca: 5,6 cmolc kg⁻¹; Mg: 1,9 cmolc kg⁻¹; P: 3,1 mg dm⁻³; K: 92 mg dm⁻³; argila: 455 g kg⁻¹; matéria orgânica: 46 g kg⁻¹.

Os tratamentos foram dispostos em fatorial 2 x 5, onde o fator "A" é forma de aplicação de fertilizantes: 1-incorporado; 2- superfície, e o fator "B" são tipos de fertilizantes com cinco níveis: 1- Testemunha; 2- Ureia; 3- Ureia + inibidor da nitrificação (Dicianodiamida-DCD); 4- dejetos líquidos suínos (DLS); 5- DLS+DCD. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições, em parcelas de 33,6 m².

A área encontrava-se em pousio há 10 anos até iniciar a implantação do experimento. No inverno de 2012 a área foi corrigida com calcário e posteriormente foi cultivado trigo. Nos anos seguintes o sistema de cultivo foi aveia preta sucedida de milho para produção de grãos no verão. Para preparo da área para plantio de milho, a área era dessecada um mês antes, mantendo os resíduos culturais no local. O sistema de manejo desde a aplicação de calcário foi plantio direto.

As recomendações de fertilizantes foram baseadas nas indicações da CQFS-RS/SC (2004). Nas safras 2012/2013, 2013/2014 considerou-se a estimativa de produção de oito toneladas de grãos de milho por hectare. Já na safra de 2014/2015 as recomendações passaram para estimativa de produção de 10 toneladas por hectare. Os fertilizantes minerais utilizados foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio. Os fertilizantes após a pesagem foram

misturados e aplicados nas parcelas. As doses de DLS foram baseadas nas concentrações de nitrogênio mineral, amostrado e analisado a cada aplicação, junto com a recomendação de N para a cultura do milho.

No DLS, o DCD foi aplicado dentro de uma caixa de fibra onde continha o dejetos e realizado sua homogeneização. Para os tratamentos com fertilizantes minerais solúveis, o DCD foi pulverizado sobre os grânulos. A dose do inibidor utilizado foi de 10 kg ha⁻¹ do produto comercial Agrotain Plus®.

Para realizar a injeção do DLS ao solo, utilizou-se equipamento desenvolvido pela empresa MEPEL, composto de um tanque de 4000 L, acoplado com um conjunto de linhas de injeção fixadas ao chassi do equipamento. A profundidade de injeção dos dejetos é de aproximadamente 8 cm e a faixa de solo mobilizado na superfície do sulco de 10 a 12 cm. Os tratamentos com fertilizante mineral solúvel com incorporação houve abertura dos sulcos com o equipamento injetor, distribuição do fertilizante e posterior cobertura com enxada, simulando o efeito da semeadora.

A coleta de solo para análise química foi realizada após a colheita do milho, nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm. Cada amostra por parcela era composta de seis subamostradas retiradas com trado holandês. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de malha de dois milímetros. As determinações químicas de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K), foram realizadas segundo as metodologias propostas em Tedesco et al. (1995). A determinação de carbono orgânico total (COT), carbono particulado (COP) e associado aos minerais (COAM) seguiu a metodologia proposta por Cambardella e Elliott, (1992). As determinações de carbono e nitrogênio total foram realizadas por analisador elementar, por combustão seca.

Os resultados foram testados pela análise de variância e teste de comparação de médias por contrastes, comparando-se tipos de fertilizantes e modo de aplicação. Utilizou-se o programa SAS® para realizar as análises estatísticas.

3.2 EXPERIMENTO EM AMBIENTE CONTROLADO

O experimento foi conduzido em câmara de incubação do tipo BOD, com temperatura de 25°C e umidade de 50% constantes durante todo o período de condução. Os tratamentos

consistiram de um fatorial 2x2x5, com quatro repetições. O primeiro fator foi a utilização e ausência de palha, o segundo fator a injeção do DLS ou aplicação superficial. O terceiro fator foi o tipo de fertilizante utilizado: DLS, DLS+DCD, uréia, ureia+DCD e tratamento controle sem fertilizantes.

Como unidade experimental foram utilizados cilindros de solo indeformado coletados na área do experimento a campo, em local que não tinha recebido aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais, apenas realizada a calagem do solo. O solo foi coletado de 0-15 cm com um cilindro de PVC com 7,5 cm de diâmetro e em seguida coberto com papel alumínio para manter a integridade do solo.

Os tratamentos que receberam aplicação superficial de fertilizantes tiveram a sua aplicação sobre a superfície do solo nos anéis. Nos tratamentos em que houve a injeção dos fertilizantes, houve vertical do solo no cilindro, a mesma foi injetada de forma similar ao efeito da injeção provocado pela máquina de injeção utilizada no campo.

O dejetto utilizado para a aplicação foi proveniente de uma granja de terminação de suínos. O teor de matéria seca do DLS era 12,4%, o teor de nitrogênio era 2,9 kg m⁻³ e apresentava 40,6% de carbono (base seca). A dose de dejetto líquido de suínos foi baseada na recomendação da CQFS-RS/SC (2004), para aporte de 160 kg de N ha⁻¹. Para fins de cálculo utilizou-se eficiência de 80% do nitrogênio do DLS, totalizando 69 m³ ha⁻¹. A dose de ureia foi equivalente ao total de N adicionado na forma de DLS. Os teores de superfosfato triplo e cloreto de potássio aplicados aos tratamentos com uréia foram equivalentes aos respectivos teores de P e K adicionados pelo DLS. Nos tratamentos que tiveram uso de DCD no dejetto, este foi aplicado na dose de 10kg ha⁻¹ e homogeneizado. Nos tratamentos em que a ureia teve adição de DCD, este foi pulverizado sobre os grânulos do adubo para melhor aderência.

A palhada aplicada aos tratamentos consistiu de plantas inteiras de milho, que foram moídas e peneiradas em malha de 3 mm. Utilizou-se a quantidade correspondente a 10 Mg ha⁻¹ de massa seca de palha, que foi espalhada sobre a superfície das amostras nos anéis.

A umidade inicial do solo foi padronizada, todos os anéis receberam 25ml de água. Após a aplicação dos tratamentos, os cilindros foram acomodados dentro de potes plásticos. No interior dos potes havia um tubo falcon com solução de NaOH para realizar a captura do CO₂ emitido. Conforme a metodologia proposta por Stotzky (1965). Os recipientes eram

completamente vedados. Para capturar o CO₂ do ambiente, oito potes foram utilizados como controle, estes contendo apenas o tubo falcon como solução de NaOH.

As coletas foram realizadas diariamente nos primeiros dez dias, após 24 horas da incubação. A partir do décimo dia as coletas foram realizadas a cada 48 horas. Ao total foram procedidas 25 coletas, até que as emissões se comparassem com as testemunhas. Nos momentos das coletas os potes permaneciam abertos por 15 minutos para permitir re-oxigenação do solo. A solução de NaOH dos tubos Falcon era aspirada e acomodada em copos contendo cloreto de bário (BaCl), o qual paralisa a reação de alcalinização do CO₂ atmosférico. Na sequência cada amostra era titulada para quantificar os teores de CO₂ emitidos no período de coleta.

Embora o volume de solo dos anéis fosse o mais semelhante possível, cada cilindro foi pesado e determinada a massa de solo seco, com uma média de umidade de 35%. Os teores de CO₂ emitidos apresentados nos resultados foram ajustados à mesma massa de solo seco.

Para as análises químicas dos nutrientes (N, P, K, P, Mg e Ca) o solo foi seco ao ar e moído. As análises de carbono e nitrogênio foram realizadas em analisador elementar por combustão seca. Os demais nutrientes (P, K, Ca e Mg) no solo foram analisados segundo metodologias propostas por Tedesco et al. (1995). Adicionalmente, foram determinados os teores de K, Ca e Mg na solução do solo. Para extração da solução do solo utilizou-se 15g de amostra com umidade na capacidade de campo (aproximadamente 30%), alocada em tubos falcons, os quais continham um filtro que permitia a passagem de solução para o fundo do tubo. Os tubos foram centrifugados por 40 minutos em 2000rpm. O líquido que passava pelo filtro era coletado e realizado a leitura direta após as diluições no espectrofotômetro de absorção atômica (Ca e Mg) e em fotômetro de chama (K).

Os resultados foram testados pela análise de variância, comparando-se os fatores principais e suas interações. Para comparação de médias utilizou-se o teste de Tukey. Utilizou-se o programa SAS[®] para realizar as análises estatísticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO A CAMPO

4.1.1 Atributos relacionados à matéria orgânica

Para os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM) e nitrogênio total (NT) não houve interação entre os fatores, nas três profundidades estudadas (0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm) (Tabela 1). A análise por contrastes evidenciou semelhança entre tratamentos para essas variáveis. A adição de DLS ou ureia não alterou as frações de carbono analisadas. Não houve alterações nas frações orgânicas em resposta ao modo de adição dos fertilizantes. Andrade et al. (2016) também evidenciaram semelhança nos teores de carbono orgânico total entre tratamentos com adição de DLS por vários anos consecutivos em um Nitossolo Vermelho eutroférico na dose de 50 m³ em diferentes sistemas de manejo do solo. Estes autores, corroborando com Gerzabek et al. (1997), afirmam que a adição de DLS ao solo estimula a população microbiana, pela intensa mineralização da matéria orgânica, condicionada pela alta disponibilidade de nitrogênio. Comin et al. (2013) também não encontraram alterações nos teores de carbono orgânico total após oito anos de aplicação de DLS. Trabalhos evidenciam que a aplicação de dejetos de animais apenas mantém os teores de carbono do solo, ou mesmo, pode até diminuir esses teores (FRANZLUEBBERS et al., (2001). Angers et al. (2010) verificaram efeito positivo da aplicação de DLS sobre propriedades químicas do solo como fósforo e nitrogênio, no entanto, não encontraram alterações nos teores de COT do solo, o que foi atribuído à rápida decomposição do dejetos e ao estímulo à população microbiana, que decompõe a matéria orgânica nativa do solo.

Contraditoriamente a estes resultados, Steiner et al. (2012) e Lourenzi et al. (2014) reportam que a adição de DLS pode aumentar os teores de COT do solo. Loss et al. (2009) também encontraram incremento nos teores de COT e NT no solo, atribuídos à maior produção de biomassa vegetal. Mafra et al. (2015) encontraram que os teores de COT aumentaram nas camadas até 10 cm de profundidade com a aplicação de DLS ao solo na dose de 50 m³ ha ano⁻¹. No entanto, nas camadas de 10-40 cm do solo não houve alteração nos teores de COT provindos da adição de fertilizantes. DA SILVA et al. (2016) encontraram aumento nos teores de N do solo com aplicação de DLS, o que também foi devido ao

incremento em biomassa vegetal, que ao se decompor, incorpora nitrogênio no solo, sendo esse nutriente é um dos mais limitantes aos sistemas produtivos. Adicionalmente estes autores também encontraram alterações no carbono orgânico do solo, sendo atribuído ao fornecimento de nutrientes pelo fertilizante orgânico, beneficiando as culturas.

Em uma revisão sobre o assunto, Angers (2010) reportou que solos que receberam dejetos animais aumentaram seus estoques de carbono do solo em $9,4 \pm 4,1 \text{ Mg ha}^{-1}$. Na China, após 22 anos de aplicação superficial de dejetos de animais, houve maior acúmulo de carbono na camada de 0-15 cm do que na área com aplicação de fertilizantes minerais (Huang et al., 2010).

O carbono orgânico particulado (COP), que é uma fração composta por resíduos vegetais ainda preservados, mostra-se sensível às variações advindas do manejo (Conceição et al., 2005). No entanto, no período avaliado no presente estudo houve semelhança entre os tratamentos (Tabela 1).

O COAM representa 88% das frações orgânicas do solo e foi semelhante entre os tratamentos, sugerindo que não houve tempo suficiente para alterar tal compartimento da matéria orgânica do solo. O COAM é fração mais estável da matéria orgânica do solo e representa a maior parte do carbono do solo. Mafra et al. (2015) destacam em seu trabalho sobre avaliação de frações orgânicas no solo, que na média 92% da carbono do solo é proveniente das frações associadas aos minerais. Estes autores não encontraram diferença no teor de COAM em tratamentos envolvendo fertilizantes minerais e DLS nas doses até $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aplicadas em um Latossolo Vermelho, o qual é mais argiloso que o solo do presente trabalho.

Em um estudo realizado em dois Latossolos, Denef et al. (2007) observaram que o COAM acumulou a maior parte do carbono do solo, concluindo que seja necessário observar mais esta fração do que o COP. No entanto, Six et al. (2000), enfatizam que o COP é uma fração lábil da matéria orgânica, e que o processo de estabilização do carbono não ocorre imediatamente para a fração COAM.

Lourenzi et al. (2011) e Brunetto et al. (2012) afirmam que a adição de DLS ao solo pode aumentar os teores de nitrogênio no solo, especialmente NO_3^- . No entanto esta fração de nitrogênio é facilmente perdida para o meio, por lixiviação ou desnitrificação. Estes aumentos nos teores de nitrogênio no solo são gerados apenas após alguns dias após a

aplicação de fertilizantes minerais ou DLS ao solo, devido a baixa estabilidade desse nutriente no solo. Rauber et al. (2015) nas mesmas condições ambientais deste trabalho, encontraram que adição desses compostos orgânicos ou minerais ao solo aumentou os teores de nitrogênio no solo nos primeiros 28 dias. Após este período as concentrações se igualam à testemunhas.

A adição de DCD também não alterou as variáveis estudadas, uma vez que o benefício desse inibidor também é limitado em poucas semanas após a aplicação. A injeção dos fertilizantes ao solo, que por sua vez poderia contribuir com a maior proteção dos fertilizantes contra perdas por escoamento superficial ou reações com a atmosfera, não apresentou diferença para as variáveis estudadas neste trabalho.

Tabela 1:- Contrastes dos atributos relacionados à matéria orgânica do solo coletado após a colheita da cultura do milho, em solo com três anos consecutivos de aplicação dos tratamentos.

Atributo avaliado	COT	COP	COAM	NT
Contraste	g kg ⁻¹			
Camada 0-5 cm				
Ureia x Ureia+DCD	38 x38	3,7x3,9	36x34	2,8x2,9
Orgânico x Mineral	3,6x41	3,8x4,2	35x36	2,9x3,0
DLS x DLS+DCD	40x42	3,9x4,5	36x37	3,0x3,1
DLS+DCD x Test	42x39	4,5x4,5	37x35	3,1x2,9
Test x Fertilizantes	39x40	4,2x4,0	35x36	2,9x3,0
Injet. x Superf	39x40	4,3x3,9	35x36	2,9x2,9
Ureia x Test	38x39	3,7x4,5	36x35	2,8x2,9
Ureia+DCD x Test	38x39	3,9x4,5	34x35	2,9x2,9
DLS x Test	40x39	3,9x4,5	36x35	3,0x2,9
Fertilizante Orgânico x Test	41x39	4,2x4,5	36x35	3,0x2,9
Fertilizantes Minerais x Test	38x39	3,8x4,5	35x35	2,9x2,9
Média	40	4,1	35	2,9
Camada 5-10 cm				
Ureia x Ureia+DCD	32x34	3,9x3,1	27x31	2,5x2,5
Orgânico x Mineral	33 x36	3,5x3,4	29x32	2,5x2,5
DLS x DLS+DCD	35x37	3,2x3,6	32x31	2,5x2,5
DLS+DCD x Test	37x35	3,6x2,6	31x32	2,5x2,5
Test x Fertilizantes	35x35	2,6x3,4	32x30	2,5x2,5
Injet. x Superf	35x35	3,6x3,0	30x31	2,5x2,5

Ureia x Test	32x35	3,9x2,6	27x32	2,5x2,5
Ureia+DCD x Test	34x35	3,1x2,6	31x32	2,5x2,5
DLS x Test	35x35	3,2x2,6	32x32	2,5x2,5
Fertilizante Orgânico x Test	36x35	3,4x2,6	32x32	2,5x2,5
Fertilizantes Minerais x Test	33x35	3,5x2,6	29x32	2,5x2,5
Média	35	3,3	31	2,5
Camada 10-20 cm				
Ureia x Ureia+DCD	33x33	3,8x4,5	27x29	2,5x2,3
Orgânico x Mineral	33x33	4,1x3,7	28x27	2,4x2,4
DLS x DLS+DCD	32x34	3,4x3,9	27x27	2,3x2,4
DLS+DCD x Test	34x31	3,9x4,2	27x27	2,4x2,3
Test x Fertilizantes	31x33	4,2x3,9	27x27	2,3x2,4
Injet. x Superf	32x33	2,6x3,4	29x26	2,4x2,3
Ureia x Test	33x31	3,8x4,2	27x27	2,3x2,3
Ureia+DCD x Test	33x31	4,5x4,2	29x27	2,3x2,3
DLS x Test	32x31	3,4x4,2	27x27	2,3x2,3
Fertilizante Orgânico x Test	33x31	3,7x4,2	27x27	2,4x2,3
Fertilizantes Minerais x Test	33x31	4,1x4,2	28x27	2,4x2,3
Média	33	4,0	27	2,4

Test: tratamento Testemunha; DLS: Dejeito líquido suíno; DLS+DCD: Dejeito líquido suíno mais adição de DCD; Injet: Aplicação injetada de fertilizantes; Superf: Aplicação com distribuição superficial de fertilizantes. Contrastes significativos ($P < 0,05$) são indicados pelo símbolo *

4.1.2 Atributos químicos do solo

Os teores de P do solo foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 2). Segundo CQFS (2016) são classificados como níveis altos. Comparando somente os efeitos da aplicação de DLS e ureia, houve semelhança nas camadas de 0-5 e 10-20 cm. No entanto na camada de 5-10 cm, o dejeito suíno aumentou os teores de fósforo no solo. Em todas as fontes de fertilizantes, os teores de P disponível foram maiores no solo quando comparados à testemunha. Tal fato corrobora com a afirmação de que fertilizantes orgânicos podem ser tão eficientes quanto fertilizantes minerais. Cassol et al. (2012) também encontraram tais resultados comparando adubações minerais e dejeito suíno. Ceretta et al. (2010) encontraram aumento nos teores de P no solo quando aplicados $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, durante 8 anos de

aplicação. Da mesma forma, Giroto et al. (2010), após 14 aplicações de 80 m³ ha⁻¹ de DLS encontraram aumentos dos teores de P no solo. O modo de aplicação não influenciou os teores desse elemento. Pode-se afirmar que a área experimental apresentou durante todo o período de condução do trabalho cobertura vegetal e não foram identificados sinais de erosão.

Tabela 2:- Nutrientes do solo coletado após a colheita da cultura do milho solo coletado após a colheita da cultura do milho, em solo com três anos consecutivos de aplicação dos tratamentos.

Nutriente	P	K	Ca	Mg
Contraste		mg kg ⁻¹		cmolc kg ⁻¹
Camada 0-5 cm				
Mineral x Orgânico	14x15	43x53	20x16	4,5x4,3
Test x Fertilizantes	14x8*	21x48*	16x18	5,0x4,4
Injet. x Superf	13x13	39x47	17x18	4,4x4,6
Orgânico x Test	15x8*	53x21*	16x16	4,3x5,0
Mineral x Test	14x8*	43x21*	20x16	4,4x5,0
Média	13	43	17	4,5
Camada 5-10 cm				
Injet. x Superf	12x16*	56x49	15x14	6,6x6,4
Orgânico x Test	8x14*	33x53*	13x15	7,1x6,3
	14x15	49x48	14x15	6,7x6,3
	16x8*	49x33	14x13	6,4x7,1
Mineral x Test	12x8*	56x33*	15x13	6,6x7,1
Média	13	49	14	6,5
Camada 10-20 cm				
Mineral x Orgânico	13x15	46x57	19x13	5,7x5,4
Test x Fertilizantes	6,x14*	43x52	13x16	5,9x5,5
Injet. x Superf	13x12	53x54	15x16	5,8x5,4
Orgânico x Test	15x6*	57x43	13,89x13	5,4x5,9
Mineral x Test	13x6*	56x43	19x13	5,7x5,9
Média	12	53	16	5,6

Test: tratamento Testemunha; DLS: Dejeito líquido suíno; DLS+DCD: Dejeito líquido suíno mais adição de DCD; Injet: Aplicação injetada de fertilizantes; Superf: Aplicação com distribuição superficial de fertilizantes. Contrastes significativos (P<0,05) são indicados pelo símbolo *

Para o K também houve efeito positivo da adição de fertilizantes ao solo, tanto orgânicos quando minerais (Tabela 2). Cassol et al. (2012) também encontraram efeitos positivos da adição de DLS. Na camada de 5-10 cm o teor de K no solo foi maior no tratamento com ureia em relação ao DLS. Na camada de 10-20 cm as fontes de fertilizantes foram semelhantes para os teores de K. Solos com alta CTC proveniente da matéria orgânica têm alta capacidade de reter nutrientes catiônicos, especialmente o potássio.

O teor de Ca não apresentou resposta pela adição de fertilizantes. Mesmo que o DLS forneça Ca para o solo, esta quantidade ainda é pequena para promover alterações,

principalmente neste solo que apresenta uma média de 16,2 cmolc kg⁻¹ de Ca, teores considerados altos. Vale ressaltar que a calagem realizada na área adicionou grande quantidade de cálcio em superfície. Dessa maneira, a adição de Ca ou Mg via aplicação de DLS teria pouco efeito nos teores desses nutrientes no solo. Segundo CQFS RS/SC (2016) o DLS tem em média respectivamente 1,5 e 0,8 kg de Ca e Mg por m³. Adicionalmente, no tratamento com ureia, houve aplicação de superfosfato triplo como fonte de P, o qual tem baixo teor de Ca. Embora Cassol et al. (2012) tenham encontrado elevação dos nutrientes pela adição de DLS ao solo, os teores de Mg não sofreram alteração.

O dejetos suíno aplicado ao solo em superfície ou injetado incrementa os teores de P e K do solo, constituindo-se como uma fonte desses nutrientes.

4.2 EXPERIMENTO EM AMBIENTE CONTROLADO

4.2.1 Nutrientes na solução do solo

Os teores de Ca e Mg da solução do solo não foram afetados pelo tipo de fertilizantes e presença de palhada (Tabela 3). Este fato está associado ao baixo teor desses nutrientes no DLS e pela calagem, que adicionou e uniformizou esses elementos no solo. Os teores iniciais de Ca e Mg do solo eram considerados altos, fato que contribui para não haver alteração pela adição dos fertilizantes. Cassol et al. (2012) também não encontraram alterações nos teores de Ca e Mg do solo com aplicação de DLS em doses menores que 100 m³ ha⁻¹, o que também foi relacionado aos teores iniciais altos do solo. Scherer et al. (2007) também avaliando a adição de DLS após cinco aplicações anuais não encontraram diferença nos teores destes nutrientes no solo.

A adição de palha aumentou os teores de K na solução do solo (Tabela 3). Para os demais fatores não houve efeito significativo. Estudo realizado por Cottica et al. (1999), evidenciou redução de 92% do conteúdo de K na massa seca da palha de aveia aos 55 dias após aplicação em superfície. Corroborando com a afirmação anterior Rosolem et al. (2003) encontraram maiores concentrações de K na solução do solo após a adição de palhada de diferentes culturas. No entanto, estes aumentos de K na solução muitas vezes não representam mudanças nos teores do nutriente na fase sólida.

Tabela 3:- Nutrientes na solução do solo após 40 dias de incubação dos tratamentos ao solo mantido em ambiente controlado.

Nutriente	Cálcio	Magnésio	Potássio
		cmolc kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Tipo de fertilizante			
Test	6,6	2,5	3,0
DLS	7,0	2,3	4,5
DLS+DCD	6,6	2,8	4,2
Ureia	7,4	2,7	4,6
Ureia+DCD	7,1	2,6	4,4
Palha de milho			
Com	7,3	2,5	4,6*
Sem	6,7	2,6	3,7
Forma de aplicação			
Injetado	7,1	2,5	4,5
Superficial	6,9	2,6	3,8

Test: tratamento testemunha; DLS: Dejeito líquido suíno; DLS+DCD: Dejeito líquido suíno mais adição de DCD; Ureia; Ureia+DCD: ureia mais a adição de DCD; Com: Com adição de palha; Sem: Sem adição de palha; Injetado: Aplicação de fertilizantes injetados no solo; Superficial: Aplicação de fertilizantes distribuída em superfície. Diferenças significativos ($P < 0,05$) pelo teste de Tukey são indicados pelo símbolo *

Os teores de P, K, Ca e Mg no solo não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 4), uma vez que as adubações com P e K e a calagem foram uniformes. Esses teores semelhantes no solo se relacionam com as concentrações desses nutrientes na solução do solo, que também não foram afetadas pelos tratamentos.

Tabela 4:- Nutrientes trocáveis do solo após 40 dias de incubação dos tratamentos ao solo mantido em ambiente controlado.

Nutriente	P	K	Ca	Mg
				mg kg ⁻¹
Fator fertilizantes				
Test	5,6	104	16,5	5,4
DLS	7,8	100	14,7	5,8
DLS+DCD	6,7	101	15,2	6,4
Uréia	6,8	98	16,6	6,4
Uréia+DCD	7,5	95	14,7	6,2
Fator palhada				
Com	6,8	98	14,9	5,9
Sem	7,0	101	16,1	6,1
Fator forma de aplicação				
Injetado	6,1	101	15,8	6,4
Superficial	7,6	99	15,2	5,6

Test: tratamento testemunha; DLS: Dejeito líquido suíno; DLS+DCD: Dejeito líquido suíno mais adição de DCD; Ureia; Ureia+DCD: ureia mais a adição de DCD; Com: Com adição de palha; Sem: Sem adição de palha; Injetado: Aplicação de fertilizantes injetados no solo; Superficial: Aplicação de fertilizantes distribuída em superfície.

Adicionalmente os teores de K, Ca e Mg no solo são considerados altos e os teores de P encontram-se em níveis médios, segundo CQFS-RS/SC, (2004).

4.2.2 Emissões de CO₂

As emissões de CO₂ variaram entre os tratamentos desde a primeira coleta (Figura 1). Não houve interação entre fatores, porém houve efeito do tipo de fertilizantes e da adição de palha sobre o solo. A forma de aplicação não influenciou a respiração microbiana. Da mesma forma, Giacomini et al. (2008) também não encontraram diferenças na decomposição de resíduos orgânicos adicionados na superfície ou incorporados ao solo. Mazurana et al. (2013) observaram emissões de CO₂ semelhantes em solos indeformados e deformados. O modo de aplicação dos fertilizantes causou distúrbios na população microbiana do solo, ou até mesmo devido ao tempo de avaliação do trabalho, as variações podem não ter sido evidentes o bastante.

Na primeira coleta, as maiores emissões ocorreram no tratamento DLS+DCD, diferindo dos tratamentos com ureia. O DLS foi semelhante à ureia, no entanto, ambos fertilizantes diferiram da testemunha.

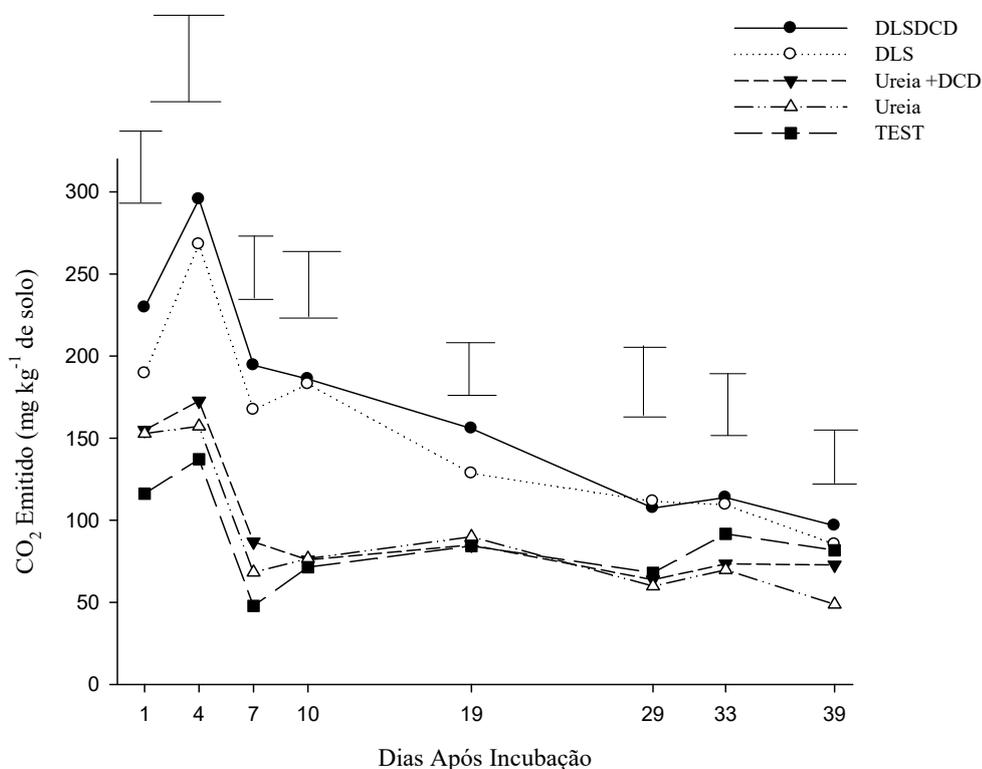
No quarto dia após a aplicação, observa-se as maiores emissões em todos os tratamentos, fato que pode ser associado à reposição de água ao solo, o que estimulou a multiplicação dos organismos (Longdoz et al., 2000; Janssens et al., 2001). Nesta coleta, as maiores emissões ocorreram com adição de DLS. Neste sentido, Opperman et al. (1989) destacaram que a maior parte das emissões iniciais de CO₂ relacionadas com adição de DLS ao solo ocorrem devido à atividade microbiana dos organismos presentes no próprio dejetos, não afetando os organismos do solo. Segundo Chantigny et al. (2002) a ocorrência de picos de emissões iniciais pode ser relacionada aos constituintes presentes nos dejetos, que apresentam fácil decomposição.

A adição de fertilizantes pode ser considerada uma forma de estímulo para a população de microrganismos natural do solo (Allison e Matiny 2008). Nesse caso, a adição de DLS aumentou as emissões de CO₂ em relação à ureia até o 19º dia após a incubação e também foi superior ao tratamento controle até o 29º dia (Figura 1). Os dejetos de animais por conterem nitrogênio prontamente disponível e serem fonte de carbono, estimulam o

crescimento microbiano, ocasionando maior liberação de CO₂. A aplicação de N na forma de ureia não diferiu da testemunha na emissão de CO₂. Por outro lado, Recous et al. (1995), trabalhando em condições de temperatura e umidade controladas, verificaram que a adição de N mineral estimulou a decomposição de resíduos culturais de milho.

Pode se verificar que no decorrer do período de incubação houve diminuição das emissões diárias de CO₂, igualando os tratamentos com a testemunha a partir do 29º dia (Figura 1).

Figura 1:- Efeito simples dos diferentes tipos de fertilizantes aplicados ao solo sobre as emissões de CO₂.



Barras indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey para $p < 0,05$. TESTE: tratamento testemunha; DLS: Dejeito Líquido Suíno; DLSDCD: Dejeito Líquido Suíno com adição de DCD; Ureia: ureia; Ureia+DCD: ureia com adição de DCD

Nesta etapa, apesar de ainda os tratamentos conterem produtos que poderiam ser utilizados pelos microrganismos, aqueles de maior valor energético já haviam sido utilizados durante o crescimento dessa população. Quando restam produtos de decomposição complexa, outra população de microrganismo assume este papel, e esta por sua vez, pode ser de crescimento mais lento, liberando menos CO₂. Cogle et al. (1989) verificaram que a decomposição de palhada de trigo emitiu mais CO₂ nos primeiros 15 dias, com posterior

diminuição. Isso pode ser explicado pela fração mais solúvel e disponível de carbono ser utilizada primeiro, e após alguns dias, restar a fração menos acessível aos microrganismos, que diminuem seu ritmo de atividade.

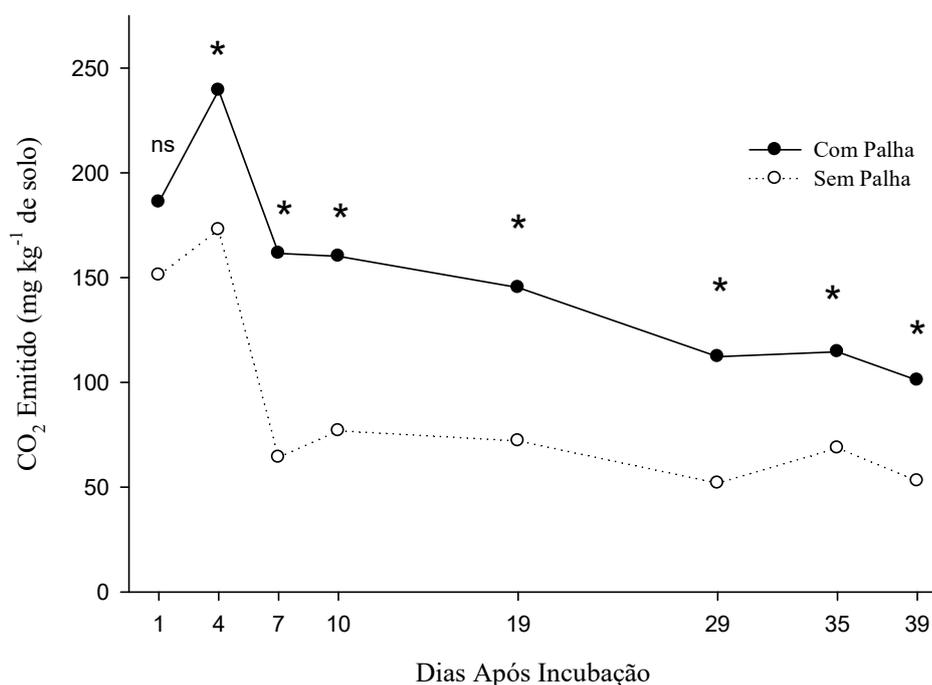
Aita et al. (2006) verificaram que a velocidade de liberação de CO₂ a partir da aplicação de dejetos suínos é alta nos primeiros dias de incubação e diminui no decorrer dos dias. Adicionalmente, mostraram que a utilização de DLS não alterou a velocidade de mineralização de palhada. Este fato corrobora com os resultados encontrados neste trabalho, onde não houve interação entre aplicação de DLS e uso de palha para emissões diárias, apenas resultando no efeito simples de cada fator. Por outro lado, Marques (2005) verificou maior decomposição de palha de milho quando aplicado DLS.

A utilização de palha aumentou a emissão de CO₂ comparada à ausência de palha, exceto na primeira coleta (Figura 2). Houve um pico de emissão diária no 4º dia de coleta, o que pode ser resultante do estímulo provocado pela adição de água ao solo. A adição de palha representa aporte de energia e nutrientes, o que estimula a população microbiana e aumenta sua atividade metabólica, ocasionando maior emissão de CO₂. Além disso, a presença da palhada sobre a superfície de solo exerce papel importante sobre o condicionamento do microclima no solo, com preservação da umidade no solo e manutenção da atividade biológica mais ativa. Solos que permanecem por um período maior com cobertura vegetal, especialmente em sistemas de plantio direto, apresentam maior diversidade de microrganismos do solo.

A emissão acumulada de CO₂ mostrou interação dos fatores tipo de fertilizantes e palha e não houve efeito do modo de aplicação dos fertilizantes (Figura 3). Dendooven et al. (1998) também não encontraram diferença nas emissões de CO₂ quando os resíduos foram incorporados ao solo. Uma possível explicação é proposta por Giacomini et al. (2008), que concordando com os resultados de Coppens et al. (2005) atribuem à semelhança nas emissões de CO₂ à baixa relação C/N da palha. Assim, a quantidade de nitrogênio fornecida pela palha não seria suficiente para aumentar a atividade microbiana. Contraditoriamente aos resultados citados anteriormente, Grave et al. (2015) encontraram maiores emissões de CO₂ quando resíduos orgânicos foram incorporados ao solo. No entanto, esses resultados foram apenas 9% superiores aos tratamentos com disposição dos resíduos orgânicos na superfície do solo. Pes et al. (2011) também encontraram emissões maiores quando os materiais foram incorporados pelo preparo convencional, em comparação ao plantio direto. Entretanto, na ausência da

palhada, os dois sistemas de manejo tiveram emissão de CO₂ semelhante. Gonzatto et al. (2016) atribuem que os efeitos da aplicação de DLS incorporado ao solo dependem muito de condições ambientais, temperaturas de solo e umidade, não podendo generalizar os resultados.

Figura 2:- Efeito simples da adição de palha em superfície sobre as emissões de CO₂ do solo



Diferença significativa para $p < 0,05$; ns: não significativo $p > 0,05$, para o teste de Tukey; Com Palha: Tratamentos com adição de Palha; Sem Palha: Tratamentos sem adição de Palha;

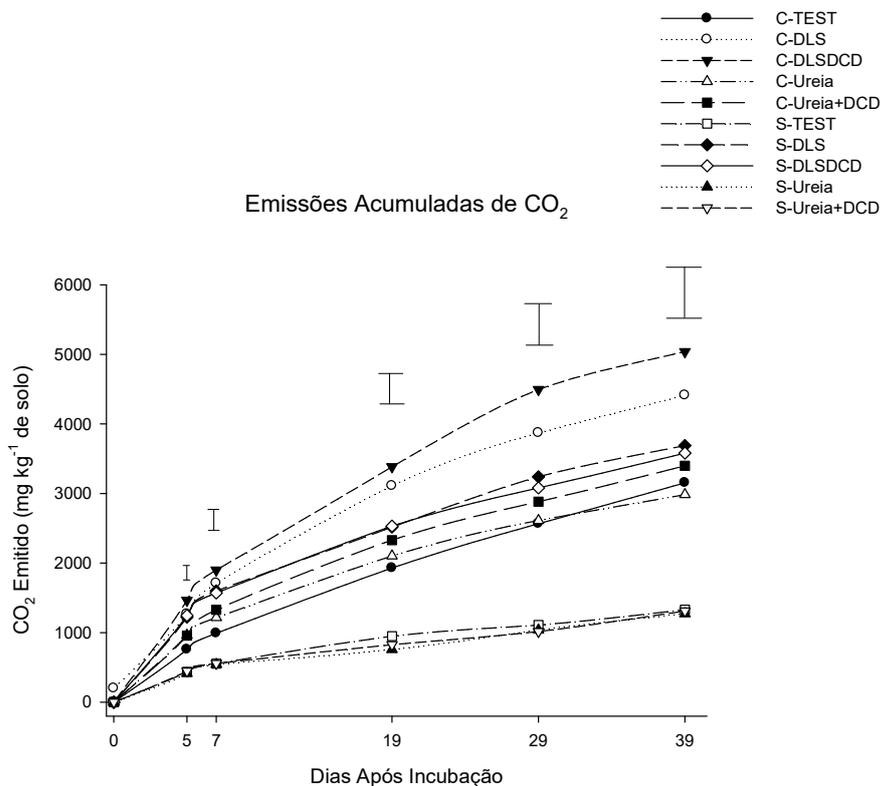
A ureia aliada ou não ao uso de DCD foi semelhante à testemunha, independentemente do uso de palha (Figura 3). Os tratamentos com uso DLS foram os que mais emitiram CO₂ e não houve efeito do uso de DCD ao dejetos.

As maiores emissões acumuladas de CO₂ ocorreram no tratamento com DLS com adição de DCD sobre a palha, sendo semelhante ao DLS. Gonzatto et al. (2016) justificam que o DCD inibe temporariamente a nitrificação, restando dessa maneira o nitrogênio amoniacal por mais tempo no solo. Essa maior permanência do N no solo possibilita maior oportunidade de utilização dele pelos microrganismos, os quais conseqüentemente emitem mais CO₂. Rauber (2015) também verificou tal eficiência da utilização do DCD no mesmo solo utilizado para a realização do presente trabalho.

Já na segunda coleta os tratamentos com DLS emitiram 493 mg kg⁻¹ de CO₂. As testemunhas por sua vez emitiram 203 mg kg⁻¹. Este fator pode ser associado à baixa relação C/N e maior quantidade de carbono lábil do DLS, o que permite melhor acesso para os microrganismos do solo (VIVAN et al., 2010; ANGNES et al., 2013). Essas maiores emissões de CO₂ podem ser relacionadas com maiores decomposições da palhada (CHANTIGNY et al., 2001). Este fator pode ser desejado quando se procura mineralização mais rápida dos nutrientes da palhada, para aproveitamento pelo cultivo subsequente.

Grave et al. (2015) verificaram maiores emissões de CO₂ nos tratamentos com adição de DLS. A adição de DLS ao solo nos tratamentos em que houve adição de palha, seja superficial ou incorporada, promoveu maiores emissões de CO₂ (Figura 3), fato também observado por outros autores (AITA et al., 2012; CHANTIGNY et al., 2001).

Figura 3:- Efeito de interação entre a forma de aplicação e tipo de fertilizante nas emissões acumuladas de CO₂.

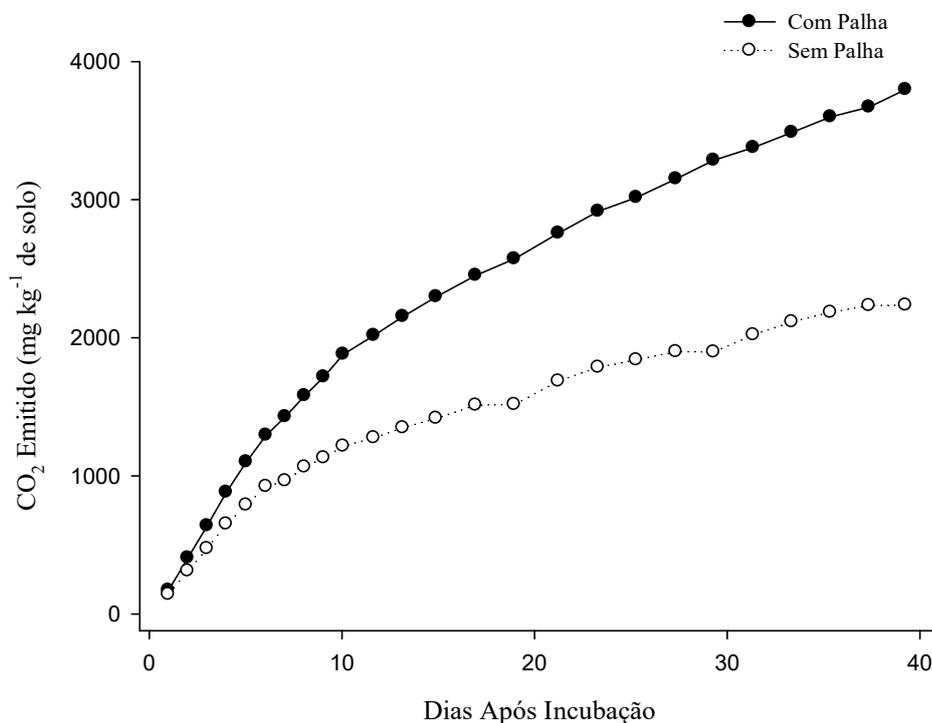


Barras indicam diferença mínima significativa ($p < 0,05$) para o teste de Tukey; Letra C- no início do nome do tratamento indica adição de palha; Letra S- no início do nome do tratamento indica sem adição de palha; TEST: Testemunha; DLS: Dejeito Líquido Suíno; DLSDCD: Dejeito Líquido Suíno com adição de DCD; Ureia: ureia; Ureia+DCD: ureia com adição de DCD.

Ao final do experimento, os tratamentos com adição de ureia com ou sem uso de DCD emitiram maiores quantidades de CO_2 nos tratamentos com palha do que os tratamentos sem palha. Recous et al. (1995) destacam que a adição de N aumenta a atividade microbiana, assim acumulando mais nitrogênio nos seus tecidos. Esse fato ocorre principalmente na decomposição de resíduos de cereais, que apresentam relação C/N alta. Assim, a necessidade de nitrogênio para os organismos decompositores é mais alta, e a adição de nitrogênio ao solo favorece essa atividade, conseqüentemente emitindo maiores quantidades de CO_2 .

Analisando isoladamente o efeito da adição da palha (Figura 4), a partir do 7º dia de incubação houve maior emissão acumulada em relação aos tratamentos sem palha. Na média dos tratamentos com palha aumentou-se em 44% a emissão de CO_2 em relação aos tratamentos sem palha (Figura 4).

Figura 4:- Efeito da adição de palha em superfície sobre as emissões acumuladas de CO_2 do solo.



Diferença estatística para todas as coletas segundo teste de Tukey para $p < 0,05$; Com Palha: Tratamentos com adição de Palha; Sem Palha: Tratamentos sem adição de Palha;

Embora se esperasse que a palha sobre a superfície tivesse efeito sobre a umidade do solo, a qual permitiria um ambiente mais adequado para o crescimento da população microbiana, não houve diferenças entre os tratamentos com palha e sem palha e nem correlações para umidade final do solo e emissões de CO₂.

5 CONCLUSÃO

Para o experimento realizado a campo, houve semelhança entre os tratamentos para os teores de N total e carbono orgânico total e suas frações granulométricas.

Os tratamentos com adição de DLS por três anos consecutivos elevaram os teores de P e K no solo quando comparados a testemunha.

Não houve efeito da forma de adição dos fertilizantes e do uso de DCD nos atributos químicos do solo.

A aplicação de DLS aumentou as emissões de CO₂ em relação à ureia, mas, não houve diferença do modo de aplicação dos fertilizantes.

A utilização de palhada aumentou as emissões de CO₂ em relação ao tratamento sem palha.

A adição de DCD no DLS aumentou as emissões de CO₂, no entanto, quando utilizado com a ureia não houve efeito.

6 BIBLIOGRAFIA

AITA, C. et al. Reducing nitrous oxide emissions from a maize-wheat sequence by decreasing soil nitrate concentration: effects of split application of pig slurry and dicyandiamide. **European Journal of Soil Science**, v. 66, n. 2, p. 359-368, 2015.

AITA, C. et al. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 149-161, 2006.

AITA, C. et al. Impact on C and N dynamics of simultaneous application of pig slurry and wheat straw, as affected by their initial locations in soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 48, n. 6, p. 633-642, 2012.

AITA, C. et al. Injection of dicyandiamide-treated pig slurry reduced ammonia volatilization without enhancing soil nitrous oxide emissions from no-till corn in Southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 43, n. 3, p. 789-800, 2014.

ALLISON, Steven D.; MARTINY, Jennifer BH. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. Supplement 1, p. 11512-11519, 2008.

ANDERSON, J.P.E. Soil Respiration. In: PAGE, A. L., Miller, R. H., Kenney, D. R. (Ed.) **Methods of soil analysis. Chemical and microbiological properties**. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p 831-872, 1982.

ANDERSON, T., DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDRADE, A. P. et al. Changes in physical properties and organic carbon of a Kandiodox fertilized with manure. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 809-814, 2016.

ANGERS, D. A. et al. Differential retention of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soil profiles with long-term manure application. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86, n. 2, p. 225-229, 2010.

ANGNES, G. et al. Correlating denitrifying catabolic genes with N₂O and N₂ emissions from swine slurry composting. **Bioresource technology**, v. 140, p. 368-375, 2013.

Arruda, C. A. O.; Alves, M. V.; Mafra, P. C. C.; Albuquerque, J. A.; Santos, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência & Agrotecnologia**, v.34, p.804-809, 2010

Assessoria de Gestão Estratégica - AGE/ **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Projeção do agronegócio 2009/2010 a 2019/2020**. Disponível em < <http://www.agricultura.gov.br/>> acesso em 21/10/2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E ACUMULADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS, 2015. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acesso em 10 de janeiro de 2016.

BALESDENT, J., CHENU, C. BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and tillage research**, v. 53, n. 3, p. 215-230, 2000.

BERTO, J. L. **Balço de nutrientes em uma sub-bacia com concentrao de suínos e aves como instrumento de gestão ambiental**. Tese de Doutorado, 2004.

BERTOL, O. J. et al. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 1, p. 71-77, 2010.

BRUNETTO, G. et al. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium term pig slurry and deep litter application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1620-1628, 2012

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CASSOL, P. C. et al. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em latossolo fertilizado com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p. 1911-1923, 2012

CASSOL, P. C. et al. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suínos e adubo solúvel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 10, p. 103-112, 2011.

CERETTA, C. A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.729-735, 2003.

CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 45:593 – 602, 2010

CHANTIGNY, M. H., ROCHETTE, P., ANGERS, D.. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: A field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, n. 2, p. 131-137, 2001.

CHANTIGNY, M. H.; ANGERS, D. ; ROCHETTE, P. Fate of carbon and nitrogen from animal manure and crop residues in wet and cold soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 34, n. 4, p. 509-517, 2002.

COGLE, A.L., SAFFIGNA, P.G., STRONG, W.M. Carbon transformation during wheat straw decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.21, p.367-372, 1989.

COMIN, J. J. et al. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. **Soil Research**, v. 51, n. 5, p. 459-470, 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 400p.10. ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 376 p. SBCS-Núcleo Regional Sul, 2016.

CONCEIÇÃO P. C et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **R Bras Ci Solo**. 29:777-88; 2005.

COPPENS, F. **Water, carbon and nitrogen dynamics in soil: Influence of crop residue location and quality**. Leuven, Katholieke Universiteit Leuven, 2005. 203p. (Tese de Doutorado)

DA SILVA OLIVEIRA, D. M. et al. Soil organic matter and nutrient accumulation in areas under intensive management and swine manure application. **Journal of Soils and Sediments**, p. 1-10, 2016.

DAMASCENO, F. **Injeção de dejetos líquidos de suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

DE SOUZA GALLO, A. et al. Produtividade da cultura do feijoeiro em sucessão a adubos verdes, com adição de dejetos líquidos de suínos. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 114, n. 3, p. 45-51, 2015.

DELL, C. J. et al. Low-disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss. **Journal of environmental quality**, v. 41, n. 3, p. 928-937, 2012.

DELL, C. J. et al. Subsurface application of manures slurries for conservation tillage and pasture soils and their impact on the nitrogen balance. **Journal of environmental quality**, v. 40, n. 2, p. 352-361, 2011.

DENDOOVEN, L. et al. Injection of pig slurry and its effects on dynamics of nitrogen and carbon in a loamy soil under laboratory conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 1, p. 5-8, 1998.

DENEF, K. et al. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 1165-1172, 2007.

DOSCH, P., GUTSER, R. Reducing N losses (NH₃, N₂O, N₂) and immobilization from slurry through optimized application techniques. In: **Fertilizers and Environment**. Springer Netherlands. p. 283-289, 1996.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 3 ed. 356p., 2013.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; WILKINSON, S. R. Bermudagrass management in the Southern piedmont USA. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, n. 3, p. 834-841, 2001.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA - FATMA. **Instrução normativa para licenciamento ambiental**. FATMA: Instrução normativa nº 11, de 13/12/2004. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br>>. Acesso em: 11 de julho de 2016.

GATIBONI, L. C. et al. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Boletim Técnico), Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

GERZABEK, M. H. et al. The response of soil organic matter to manure amendments in a long-term experiment at Ultuna, Sweden. **European Journal of Soil Science**, v. 48, n. 2, p. 273-282, 1997.

GIACOMINI, S. J. et al. Mineralização do carbono da palha de aveia e dejetos de suínos aplicados na superfície ou incorporados ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2661-2668, 2008.

GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos em sistema plantio direto. **11º FERTBIO**, 2008. Londrina: UFSM, 2008.

GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

GONZATTO, R. et al. Emissão de óxido nitroso após a injeção de dejetos de suínos no solo associada a um inibidor de nitrificação em plantio direto de milho. **Anais..., FERTBIO 2012**, 17 a 21 de setembro, Maceió, AL, 2012.

GONZATTO, R. et al. Dicyandiamide as nitrification inhibitor of pig slurry ammonium nitrogen in soil. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 802-808, 2016.

GONZATTO, R. et al. Injection and Nitrification Inhibitor Improve the Recovery of Pig Slurry Ammonium Nitrogen in Grain Crops in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 3, p. 978-988, 2016.

GRAVE, R. A. et al. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. **Soil and Tillage Research**, v. 146, p. 184-192, 2015.

GROHSKOPF et al., Soil Solution Nutrient Availability, Nutritional Status and Yield of Corn Grown in a Typic Hapludox under Twelve Years of Pig Slurry Fertilizations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 40. 2016

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

HUANG, S. et al. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China. **Geoderma**, v. 154, n. 3, p. 364-369, 2010.

HUIJSMANS, J.F.M.; HOL, J. M. G.; VERMEULEN, G.G. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. **Atmospheric Environment**, 37:3669-3680, 2003

Instituto Nacional de Meteorologia. 1961-1990. Arquivado desde o original em 4 de maio de 2014. Consultado em 11 de julho de 2016.

ISLAM, K. R., WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

ISTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016.

Disponível em: <

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abat-e-leite-couro-ovos_201504_publ_completa.pdf>, acessado dia 08 de Julho de 2016.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; CEULEMANS, R. Forest floor CO₂ fluxes estimated by eddy covariance and chamber-based model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 106, n. 1, p. 61-69, 2001.

KONZEN, E. A. et al. Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho. Sete Lagoas, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, (Circular Técnica, 25), 31 p. 1997.

KUNZ, A., MIELE, M., STEINMETZ, R. L. R. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5485-5489, 2009.

LONGDOZ, B.; YERNAUX, M. ; AUBINET, M. Soil CO₂ efflux measurements in a mixed forest: impact of chamber disturbances, spatial variability and seasonal evolution. **Global Change Biology**, v. 6, n. 8, p. 907-917, 2000.

LOSS, A. et al. Frações orgânicas do solo em áreas sob manejo agroecológico em Capivari, Duque de Caxias, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 3, p. 245-251, 2009.

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

LOURENZI, C. R. et al. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 949-958, 2014.

MAFRA, M. S. H. et al. Organic carbon contents and stocks in particle size fractions of a Typic Hapludox fertilized with pig slurry and soluble fertilizer. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1161-1171, 2015

MAFRA, M. S. H. et al. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 630-638, 2014.

MAILLARD, E. ; ANGERS, D. A. Animal manure application and soil organic carbon stocks: A meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 20, n. 2, p. 666-679, 2014.

MARQUES, M. G. **Transformações do carbono e do nitrogênio no solo e produção de aveia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MAZURANA, M. et al. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 288-296, 2013.

MEDEIROS, T. L. et al. Produção e qualidade da forragem de capim Marandu fertirrigada com dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.38, n.2, p-309-318, 2007.

MIELE, M.; MACHADO, J.S. Panorama da carne suína brasileira. **Agroanalysis**, v. 30, n.1, p.34-42, 2010

MIELNICZUK, J., SANTOS, G. de A., CAMARGO, F. A. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, p. 1-8, 1999.

MINISTERIO DA AGRICULTURA E DA PECUÁRIA-MAPA, 2016. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/suinos>>, acessado 08 de julho de 2016.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia do Solo**. Lavras. Editora UFLA, 626 p. 2002.

OLIVEIRA, F. C. et al. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 171-180, 2001.

OLIVEIRA, P. D. de et al. Injeção de dejetos líquidos de suínos no solo para reduzir a volatilização de amônia no milho. **Anais..., FERTBIO 2012**, 17 a 21 de setembro, Maceió, AL, 2012

OPPERMAN, M. H.; WOOD, M.; HARRIS, P. J. Changes in microbial populations following the application of cattle slurry to soil at two temperatures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 2, p. 263-268, 1989.

PERIN, A. et al. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalaria e milho solteiros e consorciados. **Ceres**, v. 57, n. 2, 2015.

PES, L. Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 163-171, 2011.

POTE, D. H., MEISINGER, J. J. Effect of poultry litter application method on ammonia volatilization from a conservation tillage system. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 69, n. 1, p. 17-25, 2014.

RAUBER, L. P. et al.. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandudox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1323-1332, 2012.

RAUBER, L. P. **Teores de nitrogênio no solo e volatilização de amônia após injeção de dejetos líquidos de suínos e uso de inibidor de nitrificação** Universidade do Estado de Santa Catarina. Tese de Doutorado – Lages, 2015.

RECOUS, S.; et al. Soil inorganic N Availability: effect on maize residue decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, p.1529-1538, 1995

ROBERTSON, G. P., PAUL, E. A., HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1922-1925, 2000.

ROBIN, D. Effet de la disponibilité de l'azote sur les flux bruts de carbone et d'azote au cours de la décomposition des résidus végétaux dans le sol. **Paris, Institut National Agronomique Agronomique Paris-Grignon, Sciences Agronomiques**, 1994. 201p. (Tese de Doutorado).

ROBOREDO, M.; FANGUEIRO, D.; LAGE, S.; COUTINHO, J. Phosphorus dynamics in soils amended with acidified pig slurry and derived solid fraction. **Geoderma**, v.189–190, p.328–333, 2012

ROSOLEM, C. A. ; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.. Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 2, p. 355-362, 2003.

SCHERER, E.E., BALDISSERA, I.T.; NESI, C.N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:123-131, 2007.

SCHIRMANN, J. et al. Inibidor de nitrificação e aplicação parcelada de dejetos de suínos nas culturas do milho e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 271-280, 2013.

SERPA FILHO, et al. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente** v.6, n.1, p. 47-78, 2013.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 194-209, 2006.

SIX, J. et al. Soil structure and organic matter I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 681-689, 2000.

SOMAVILLA, L. et al. Ciclagem do nitrogênio pela parte aérea do milho submetido a doses de dejetos líquido de suínos= Recovery of nitrogen by maize shoots subjected to doses of pig slurry. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, 2015.

STEINER, F. et al. Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação. **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, 2011.

STEINER, F. et al. Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 6Supl1, p. 2775-2788, 2012.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., EVANS, D.D. & WHITE, J.L., eds. **Methods of soil analysis**. Part 2. Madison, American Society of Agronomy, p.1550-1572, 1965.

SULEIMAN, A. K.A et al. Temporal variability of soil microbial communities after application of dicyandiamide-treated swine slurry and mineral fertilizers. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 97, p. 71-82, 2016.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p

VEIGA, M. et al. Chemical attributes of a Hapludox soil after nine years of pig slurry application. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 12, p. 1766-1773, 2012.

VIVAN, M. et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

WEBB, J. et al. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response. A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 137, n. 1, p. 39-46, 2010.

WILLIAMS, A. ; BÖRJESSON, G. ; HEDLUND, K. The effects of 55 years of different inorganic fertiliser regimes on soil properties and microbial community composition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 67, p. 41-46, 2013.

WULF, S.; MAETING, M.; CLEMENS, J. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n. 6, p. 1795-1801, 2002.

ZHAO, Y. et al. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system. **European Journal of Agronomy**, v.31, p.36-42, 2009

ZIBILESKE, L. M., Carbon mineralization. In, Weaver, R. W., Scott, A., Bottomley, P. J. (Ed). *Methods of soil analysis*. Madison, Soil Science Society of America, (Special Publication, 5). Part 2: **Microbiological and biochemical properties**, p 836-864, 1994.