

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:  
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Alieze Nascimento da Silva

**EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR GRAMÍNEAS E  
EMISSÕES DE AMÔNIA EM FUNÇÃO DO MANEJO DO DEJETO  
LÍQUIDO DE BOVINO**

Frederico Westphalen, RS

2017

**Alieze Nascimento da Silva**

**EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR GRAMÍNEAS E  
EMISSIONES DE AMÔNIA EM FUNÇÃO DO MANEJO DO DEJETO  
LÍQUIDO DE BOVINO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Claudir José Basso

Frederico Westphalen, RS

2017

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

Nascimento da Silva, Alieze  
EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR GRAMÍNEAS E  
EMISSÕES DE AMÔNIA EM FUNÇÃO DO MANEJO DO DEJETO LÍQUIDO  
DE BOVINO / Alieze Nascimento da Silva.- 2017.  
97 p.; 30 cm

Orientador: Claudir José Basso  
Coorientador: Rodrigo Ferreira da Silva  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2017

1. Injeção de Dejetos 2. Dicianodiamida 3.  
Produtividade de Culturas 4. Sistema Plantio Direto I.  
José Basso, Claudir II. Ferreira da Silva, Rodrigo III.  
Título.

**Alieze Nascimento da Silva**

**EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR GRAMÍNEAS E  
EMISSIONES DE AMÔNIA EM FUNÇÃO DO MANEJO DO DEJETO  
LÍQUIDO DE BOVINO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

**Aprovado em 21 de fevereiro de 2017**

---

**Claudir José Basso  
(Presidente/Orientador)**

---

**Jackson Ernani Fiorin  
(Examinador)**

---

**Stefen Barbosa Pujol  
(Examinador)**

Frederico Westphalen, RS  
2017

## DEDICATÓRIA

*Dedico à conclusão desta Dissertação  
Aos meus Pais, Alberto e Janette,  
Os quais sempre me ajudaram e apoiaram muito...*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela saúde e paz e por ter iluminado os caminhos que me trouxeram até aqui.

Aos meus pais Janette e Alberto, aos meus irmãos Carine e Marcelo, pelo amor incondicional, pelos exemplos de humildade e ética, pelos ensinamentos e conselhos e pela compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu orientador Dr. Claudir José Basso, pela oportunidade de integrar seu grupo de pesquisa, pela orientação e pela confiança depositada em mim. Obrigado pela amizade, pelos conselhos, ensinamentos e por ser além de um grande professor, uma grande pessoa e um educador formador de pessoas.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior, pela concessão da bolsa de Mestrado.

À Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen pela estrutura física e humana disponibilizada.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, pela possibilidade de cursar o Mestrado.

A todos os colegas do Laboratório de Agricultura, pelo companheirismo e pela fundamental ajuda na realização das avaliações desta e demais pesquisas.

Ao Dionei, Douglas, Anderson, Jardel, Rodrigo, Reginaldo, Michel, Ueslei, Angela, Leonardo, Guilherme pela valiosa colaboração na condução dos experimentos de campo e coleta dos dados que originou esta Dissertação de Mestrado.

Ao Professor Celso Aita, e companheiros Stefen Pujol, Alexandre Doneda, Rogério Gonzatto, Felipe Tonetto e toda a equipe do Labcen – UFSM pelo auxílio durante a condução dos experimentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, possibilitando que este sonho se tornasse realidade.

*O saber a gente aprende com os mestres  
e os livros. A sabedoria se aprende é  
com a vida e com os humildes.  
(Cora Coralina)*

## RESUMO

### EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO POR GRAMÍNEAS E EMISSÕES DE AMÔNIA EM FUNÇÃO DO MANEJO DO DEJETO LÍQUIDO DE BOVINO

AUTOR: Alieze Nascimento da Silva

ORIENTADOR: Claudir José Basso

Os efeitos da injeção de dejetos líquidos de bovinos (DLB) no solo combinada com o uso de inibidores de nitrificação, como a dicianodiamida (DCD), ainda é pouco documentado, principalmente sobre as perdas de N para atmosfera via emissão de  $\text{NH}_3$ , a eficiência de uso do nitrogênio (EUN), parâmetros de planta e a produtividade de trigo e milho nas condições subtropicais do Sul do Brasil. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar como o modo de aplicação (injeção x superficial) do DLB no solo em sistema de plantio direto (SPD) afeta a emissão de amônia ( $\text{N-NH}_3$ ), bem como esta prática combinada com DCD pode afetar a EUN, parâmetros de planta e a produtividade de trigo e milho. Quatro estudos foram conduzidos simultaneamente a campo em dois locais distintos pertencentes à Universidade Federal de Santa Maria, um em Frederico Westphalen, RS, num Latossolo Vermelho Distrófico típico, e o outro em Santa Maria, RS, em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico, no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições dos seguintes tratamentos: DLB aplicados na superfície do solo (DLBs), DLBs+ DCD, DLB injetados (DLBi), DLBi + DCD, testemunha e adubação mineral (NPK) em superfície. A aplicação dos DLB foi realizada de forma manual com regadores, enquanto a injeção foi mecanizada, na profundidade de 8-11 cm. A dose de DCD utilizada foi de  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ , misturada aos DLB instantes antes da aplicação no solo. A injeção dos DLB no solo mostrou-se eficiente na redução de emissões de  $\text{N-NH}_3$  para a atmosfera, tanto no trigo, como no milho. A eficiência da injeção foi maximizada quando combinada com DCD, aumentando a retenção de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo e a recuperação aparente de N (103%), a eficiência agrônômica do N aplicado com os DLB e a produtividade das culturas em comparação à aplicação superficial. O melhor desempenho das culturas ocorreu no tratamento com a injeção (DLBi + DCD), garantindo maior disponibilidade de N às plantas. Diante desses resultados, a injeção dos dejetos líquidos de bovinos mais a dicianodiamida no solo em SPD, constitui uma alternativa de manejo promissora, em relação à aplicação na superfície do solo, quanto a EUN, produtividade e parâmetros de planta no trigo e milho bem como na redução de emissão de  $\text{N-NH}_3$ .

Palavras-chave: Injeção de Dejetos. Dicianodiamida. Produtividade de Culturas. Sistema Plantio Direto.

## ABSTRACT

### EFFICIENCY OF NITROGEN USE BY GRAMINEES AND EMISSIONS OF AMMONIA IN THE FUNCTION OF THE MANAGEMENT OF THE BOVINE LIQUID DEJECT

AUTHOR: Alieze Nascimento da Silva

ADVISOR: Claudir José Basso

The effects of the injection of liquid bovine waste (DLB) on the soil combined with the use of nitrification inhibitors, such as dicyanodiamide (DCD), is still poorly documented, mainly on N losses to the atmosphere via N-NH<sub>3</sub> emission, (EUN), plant parameters and wheat and maize productivity in subtropical southern Brazil. Thus, the objective of the present work was to evaluate how the DLB application in the soil in no-tillage system (SPD) affects the ammonia emission (N-NH<sub>3</sub>) of the DLB in the system, as well as this practice Combined with DCD can affect EUN, plant parameters and wheat and maize yield. Four studies were conducted in the field at two distinct sites belonging to the Federal University of Santa Maria, one in Frederico Westphalen, RS, in a dystrophic Red Latosol, and the other in Santa Maria, RS, in an Alumínico (DLBs), DLBs + DCD, injected DLB (DLBi), DLBi + DCD, control and mineral fertilization (NPK) on the surface. The studies were conducted simultaneously at both sites. The application of DLB was performed manually with irrigators, while the injection was mechanized, at depth of 8-11 cm. The DCD dose used was 7 kg ha<sup>-1</sup>, mixed to the DLB instants before application to the soil. Compared to surface application, DLB injection in the soil proved to be efficient in reducing N-NH<sub>3</sub> emissions to the atmosphere, both in wheat and maize. The efficiency of the injection was maximized when combined with DCD, increasing N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention in the system, also increased apparent N recovery (103%), N agronomic efficiency applied with DLBs and crop productivity compared to N Surface application. The best performance of the crops occurred in the treatment with DLB + DCD injection (DLBi + DCD). In addition, this practice was efficient in reducing N losses by volatilization of ammonia (N-NH<sub>3</sub>), guaranteeing greater N availability at Plants. In view of these results, the injection of DLB + DCD in soil in SPD is a promising alternative to soil surface application, as well as EUN, productivity and plant parameters in wheat and corn as well as beneficial In the reduction of N-NH<sub>3</sub> emission.

Key words: Manure injection. Dicyandiamide. Crop Yield. No-Till.

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

**Figura 1** - Temperaturas mínimas, máximas e médias e precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do Experimento I. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica de Frederico Westphalen, RS..... 22

**Figura 2** - Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias e precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do Experimento II. Dados obtidos junto à Estação Climatológica Experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). ..... 25

**Figura 3** - Vista do experimento: a) base metálica coberta com câmara estática para avaliação das emissões de amônia; b) aplicação do DLB no interior da câmara via proveta. .... 28

**Figura 4** - Emissões de N-NH<sub>3</sub> após manejos do DLB em pré-semeadura do trigo e com aplicação do NPK. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). ..... 31

**Figura 5** - Emissões de N-NH<sub>3</sub> após aplicação de ureia em cobertura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). ..... 34

**Figura 6** - Perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> após aplicação de DLB em pré-semeadura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). ..... 36

**Figura 7** - Perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> após aplicação de ureia em cobertura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). ..... 37

### ARTIGO II

<b>Figura 1</b> - Temperaturas médias diárias, precipitação pluvial diária, irrigação e espaço poroso do solo saturado por água (%EPSA) ocorrida durante a condução do Experimento I em Frederico Westphalen. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica de Frederico Westphalen, RS.....	64
<b>Figura 2</b> - Temperaturas médias diárias, precipitação pluvial diária, irrigação e espaço poroso do solo saturado por água (%EPSA) ocorrida durante a condução do Experimento II em Santa Maria, RS. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica próxima ao experimento.....	67
<b>Figura 3</b> - Experimento milho: a) Vista do experimento; b) Vista do experimento detalhe do esquema de coleta das emissões de N-NH <sub>3</sub> via câmara sema estática.....	72
<b>Figura 4</b> - Emissões de N-NH <sub>3</sub> após manejos do dejetos líquido de bovinos em pré-semeadura do milho e na aplicação do NPK. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).....	74
<b>Figura 5</b> - Emissões de N-NH <sub>3</sub> após a aplicação de ureia em cobertura. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). .....	78
<b>Figura 6</b> - Emissões acumuladas de N-NH <sub>3</sub> sob diferentes manejos do DLB e aplicação de NP na pré-semeadura do milho em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). 80	
<b>Figura 7</b> - Emissões acumuladas de N-NH <sub>3</sub> após aplicação de ureia em cobertura no milho em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01). .....	81

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

**Tabela 1** - Principais características dos dejetos líquidos de bovinos (DLB) utilizados e a quantidade de NPK aplicado em cada experimento. .... 24

**Tabela 2** - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral encontradas na camada 0-10 cm do solo no perfilhamento do trigo, 20 dias após a aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) e fertilizante mineral (NPK). .... 38

**Tabela 3** - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral na camada 0-10 cm do solo no florescimento do trigo 70 dias após a aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) e fertilizante mineral (NPK)..... 39

**Tabela 4** - Produção de massa seca, acúmulo de N e produtividade de grãos de trigo com diferentes manejo do dejetos líquido de bovinos no sistema plantio direto..... 42

**Tabela 5** - Altura de planta (AP), índice de colheita (IC), número de espigas, número de espiguetas, número de grãos por espiguetas e peso de mil sementes (PMS) trigo com diferentes manejos de dejetos líquido de bovinos no sistema plantio direto. .... 44

**Tabela 6** - Eficiência agrônômica do N (EAN), recuperação aparente do N (RAN), índice de eficiência fisiológica (EF) e eficiência de utilização do N (EUN) pelo trigo sob diferentes manejos do do dejetos líquido de bovinos em plantio direto. .... 46

### ARTIGO II

**Tabela 1** - Principais características dos dejetos líquidos de bovinos (DLB) (dados expressos em base úmida), dose de DLB aplicada e quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) via dejetos e com o fertilizante mineral em cada experimento. .... 65

**Tabela 2** - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral na camada 0-10 cm do solo, 35 dias após a aplicação de dejetos líquidos de bovino (DLB) e fertilizante mineral (NPK). ..... 82

**Tabela 3** - Massa seca da parte aérea do milho, produtividade de grãos, peso de mil sementes (PMS), acúmulo de N na palha e no grão do milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de bovinos no solo, com e sem o inibidor de nitrificação dicianodiamida, em plantio direto. .... **Erro! Indicador não definido.**

**Tabela 4** - Altura de planta, inserção da primeira espiga e diâmetro do colmo no milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de bovinos no solo, com e sem o inibidor de nitrificação dicianodiamida, em plantio direto. .... 86

**Tabela 5** - Teor de N na palha, teor de N no grão, eficiência agronômica do N (EAN), recuperação aparente do N (RAN), eficiência fisiológica (EF), eficiência de utilização de nitrogênio(EUN) e eficiência na produção de grãos (IG) no milho do Experimento I e II em SPD. .... 87

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 HIPÓTESES E OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
2.1 HIPÓTESES .....	16
2.2 OBJETIVO GERAL.....	17
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 ARTIGO I. MANEJO DOS DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS: IMPACTO SOBRE A ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO, PRODUTIVIDADE E AS EMISSÕES DE AMÔNIA NA CULTURA DO TRIGO EM SISTEMA PLANTIO DIRETO .....</b>	<b>18</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	19
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.2.1 Experimento I - Frederico Westphalen.....	21
3.2.2 Local, clima e solo.....	21
3.2.3 Tratamentos e delineamento experimental .....	22
3.2.4 Dejetos líquidos de suínos, NPK e dicianodiamida.....	22
3.2.5 Experimento II – Santa Maria .....	24
3.2.6 Local, clima e solo.....	24
3.2.7 Tratamentos e delineamento experimental .....	25
3.2.8 Dejetos líquidos de suínos, NPK e dicianodiamida.....	25
3.2.9 Parâmetros fitométricos avaliados na parte aérea das culturas.....	26
3.2.10 Eficiência agrônômica do N, recuperação aparente de N e índices de eficiência.....	26
3.2.11 Avaliação das emissões de N-NH <sub>3</sub> .....	27
3.2.12 Avaliações no solo.....	28
3.2.13 Análise estatística .....	29
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
3.3.1 Emissão de N-NH <sub>3</sub> em pré-semeadura .....	29
3.3.2 Emissão de N-NH <sub>3</sub> em cobertura .....	33
3.2.3 Perda acumulada de N como N-NH <sub>3</sub> .....	35
3.2.4 N mineral .....	38
3.2.5 Produtividade e acúmulo de N.....	41
3.2.6 Parâmetros fitométricos do trigo .....	43
3.2.7 Índices de eficiência .....	45
3.4 CONCLUSÃO .....	48
<b>4 ARTIGO 2 INJEÇÃO DE DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS NO SOLO E A DICIANODIAMIDA NA EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO, A PRODUTIVIDADE DE MILHO E A EMISSÃO DE AMÔNIA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO .....</b>	<b>60</b>

4.1 INTRODUÇÃO.....	61
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	63
4.2.1 Experimento I - Frederico Westphalen.....	63
4.2.2 Local, clima e solo.....	63
4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental.....	64
4.2.4 Dejetos líquidos de suínos, NPK e dicianodiamida.....	65
4.2.5 Experimento II – Santa Maria.....	66
4.2.6 Local, clima e solo.....	66
4.2.7 Tratamentos e delineamento experimental.....	67
4.2.8 Dejetos líquidos de suínos, NPK e dicianodiamida.....	68
4.2.9 Parâmetros fitométricos avaliados na parte aérea das culturas.....	68
4.2.10 Eficiência agrônômica do N, recuperação aparente de N e índices de eficiência.....	69
4.2.11 Avaliação das emissões de N-NH <sub>3</sub> .....	70
4.2.12 Avaliações no solo.....	72
4.2.13 Análise estatística.....	72
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	73
4.3.1 Emissões de N-NH <sub>3</sub> em pré- semeadura.....	73
4.3.2 Emissões de N-NH <sub>3</sub> em cobertura no milho.....	77
4.3.3 Perda acumulada de N como N-NH <sub>3</sub> .....	78
4.3.4 N mineral no solo.....	81
4.3.5 Produtividade e acúmulo de N.....	83
4.3.6 Parâmetros fitométricos de planta.....	86
4.3.7 Índices de eficiência.....	87
4.4 CONCLUSÃO.....	88
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>95</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos em nível mundial vem ocasionando a intensificação dos sistemas de produção agrícola, tanto em relação ao manejo do solo e culturas, como também das atividades agropecuárias (LINQUIST, 2012; BARUA; HAQUE, 2013). Do mesmo modo, cresce a busca por práticas que reduzam o impacto negativo do uso intensivo da agricultura sobre a qualidade do solo, da água e do ar (GHOLAMHOSEINI et al., 2013). Assim, estratégias que possam aliar altas produtividades e que ao mesmo tempo possam reduzir as perdas de nutrientes e impactos ambientais nos sistemas são fundamentais para a sustentabilidade da agricultura (YU; JIA, 2014).

No Brasil, a bovinocultura é uma importante atividade econômica e social, contando com um rebanho aproximado de 214 milhões de cabeças, sendo 39 milhões bovinos de leite (IBGE, 2014). O aumento da produção pecuária brasileira ocorreu principalmente nas últimas três décadas, com adoção de sistemas de criação intensivos e novas tecnologias. Como resultado disso, o Brasil figura entre os principais produtores, exportadores e consumidores de carne e produtos lácteos no mundo (USDA, 2015).

A maior parte do rebanho bovino leiteiro está concentrada na região Centro Oeste e Sul do Brasil, sendo que, atualmente a Região Sul possui a maior bacia leiteira do Brasil, representando 34,7% da produção nacional (IBGE, 2014). Nesse cenário, o estado do Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de leite, representando 13,3% do total nacional (IBGE, 2014). No Sul, observa-se a bovinocultura voltada principalmente à produção de leite, e assim como a suinocultura e avicultura, esta atividade é caracterizada pela concentração em pequenas propriedades (KUNZ et al., 2009; PUJOL, 2012), onde há presença de relevo declivoso, limitação de área e aumento na criação de animais em regime de confinamento (SPELLMAN; WHITING, 2007; KUNZ et al., 2009; YAGÜE et al., 2016). Caracterização esta similar ao observado também em propriedades leiteiras em algumas regiões da Europa, América do Norte e Oceania (MEADE et al., 2011, YAGÜE et al., 2016).

Este contexto tem preocupado pesquisadores e órgãos ambientais, pois, acompanhando a demanda global por alimentos, o setor pecuário vem se desenvolvendo em ritmo acelerado (LESSCHEN et al., 2011), o que gera também um grande aumento no volume de dejetos líquidos de bovinos (DLB). Cada animal produz diariamente 54

kg dia<sup>-1</sup> de dejetos líquidos (fezes e urina) (VITKO et al., 1999), que associado a água residual gerado da limpeza das instalações e equipamentos somam um montante de mais de 200 litros diários de dejetos por animal. Estes dejetos são armazenados em piscinas anaeróbicas e utilizados como adubo (KETTERINGS et al., 2013; SIELING et al., 2014), sendo caracterizado principalmente, pela concentração de N amoniacal (40 a 70%) (FRANCO et al., 2006; VADAS; POWELL, 2013).

A aplicação de DLB como adubo orgânico em áreas agrícolas tem sido uma prática comum nas unidades de produção, pois geralmente é inviável o transporte a longas distâncias, o que torna a ciclagem de nutrientes restrita as próprias unidades de produção (TAO et al., 2008). No DLB, grandes quantidades de nutrientes são acumuladas, principalmente o nitrogênio (N) (BOUWMAN et al., 2013), o que sob o ponto de vista econômico, torna a ciclagem dos nutrientes vantajosa. Por outro lado, esta prática potencializa alguns problemas ambientais, pois a utilização do DLB é realizada sem critérios técnicos, e quando mal manejados podem exceder a capacidade de assimilação do solo e das culturas (HEATHWAITE et al., 2000; SIMS et al., 2005).

Assim, devido à dinâmica e complexidade do N após o DLB ser distribuído no solo, o N amoniacal do DLB está disponível à absorção das plantas, porém, também sofre diversas transformações por microrganismos do solo, que resultam em perdas do N para o ambiente, comprometendo a produtividade das culturas e a sustentabilidade da atividade (AITA et al., 2014; GONZATTO, 2016). Especialmente das gramíneas, como trigo, milho e forrageiras cuja demanda em N é elevada (SILVA et al., 2016).

No solo, uma parte do N amoniacal do DLB pode ser imobilizada pelos microrganismos (GIACOMINI et al., 2009), fixada nas argilas (CHANTIGNY et al., 2014) ou emitida para a atmosfera na forma de amônia (N-NH<sub>3</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), durante e após a nitrificação (BAGGS, 2011). Também podem ocorrer perdas ou transferência de N na forma de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) por escoamento para mananciais e rios (BASSO, 2003; LIU et al., 2014), assim, a utilização de inibidores de nitrificação ao DLB é uma das estratégias para retardar o aparecimento de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo, melhorando o potencial fertilizante, pois, mantem o N do DLB por maior tempo na forma amoniacal após a sua aplicação ao solo, já que o amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) é uma forma de N de pouca mobilidade no solo, quando comparado ao N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (SUBBARAO et al., 2006). O produto mais utilizado para esse fim é a dicianodiamida (DCD), que bloqueia a ação da enzima amônia monooxigenase, responsável pela oxidação de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> para nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) na primeira etapa da nitrificação (SINGH et al., 2007).

No entanto, a emissão de  $N-NH_3$  é o principal processo de perda de N nos sistemas após a aplicação de dejetos líquidos no solo (SMITH et al., 2008), reduzindo seu potencial fertilizante e contribui para a contaminação ambiental (MKHABELA, 2006). Esta problemática se agrava sob condições do Sul do Brasil, sob sistema plantio direto (SPD), pois a aplicação do DLB permanece sobre a superfície do solo (THILAKARATHNA et al, 2015) o que aumenta sua exposição a atmosfera e eleva as perdas gasosas de N por emissões de  $N-NH_3$  (VALLEJO et al., 2005; ROCHETTE et al., 2009). A atual forma como o DLB é aplicado aumenta as perdas de N via  $N-NH_3$  em até 65% para atmosfera (NRCS, 2015; NDEGWA et al., 2008). A redução destas perdas de N pode ser obtida através da menor exposição atmosférica, por meio da injeção no solo dos dejetos (PAHL et al., 2001; HUIJSMANS et al., 2003).

Embora existam informações sobre a eficiência da injeção de dejetos no solo e do uso de DCD na obtenção de benefícios econômicos e ambientais (MAGUIRE et al., 2011; DEEL et al., 2012; AITA et al., 2014), a maior parte das informações nessa área é oriunda de regiões de clima temperado e com dejetos de suínos, havendo escassez de trabalho de pesquisa no Brasil avaliando a injeção do DLB no solo e o uso de DCD e, principalmente, como estes afetam a eficiência de uso do N dos DLB, a produtividade e parâmetros de planta de culturas, como o milho e trigo, bem como a emissão de  $N-NH_3$  e a dinâmica do N mineral no solo.

Diante desta necessidade de estudar o destino do N aplicado com DLB no sistema solo-planta-atmosfera, no presente trabalho avaliou-se o efeito do uso da dicianodiamida (DCD) e da aplicação dos dejetos líquidos de bovinos no milho e no trigo sobre as perdas de N por emissão de  $N-NH_3$ , sobre os parâmetros de planta e eficiência do N.

## **2 HIPÓTESES E OBJETIVO**

### **2.1 HIPÓTESES**

a) A injeção do DLB combinada com a adição de inibidor de nitrificação DCD no solo em SPD aumenta o aproveitamento do N amoniacal pelas gramíneas, a produtividade e os parâmetros de planta em relação à aplicação superficial.

b) A injeção do DLB no solo reduz as emissões de  $N-NH_3$  em relação à aplicação superficial.

## **2.2 OBJETIVO GERAL**

Comparar a injeção de DLB com a sua aplicação superficial no solo, associadas ou não ao uso do inibidor de nitrificação DCD, quanto à eficiência de uso do N, produtividade e parâmetros de planta do milho e trigo, recuperação do N amoniacal e emissão de  $N-NH_3$  em SPD e comparar a injeção no solo de DLB com a sua aplicação superficial sobre as emissões de  $N-NH_3$ .

## **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar como a injeção e a aplicação superficial de DLB em um Argissolo e um Latossolo, associadas ou não à DCD, afetam os seguintes aspectos nas culturas do milho e trigo:

- a) Recuperação do N amoniacal dos DLB pelas plantas e seu efeito residual no solo;
- b) Produtividade e Eficiência de Uso do Nitrogênio pelas plantas.
- c) Parâmetros de planta do milho e trigo
- d) Emissão de  $N-NH_3$

### 3 ARTIGO I - MANEJO DOS DEJETOS LÍQUIDOS DE BOVINOS: IMPACTO SOBRE A ABSORÇÃO DE NITROGÊNIO, PRODUTIVIDADE E AS EMISSÕES DE AMÔNIA NA CULTURA DO TRIGO

#### RESUMO

A aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) como fonte de nutrientes, principalmente nitrogênio (N), na cultura como o trigo (*Triticum aestivum L*) é uma prática comum e amplamente difundida no Sul do Brasil. Entretanto, quando o DLB é aplicado sob superfície no solo, em sistema plantio direto (SPD), as perdas de nitrogênio podem ocorrer via emissão de N-NH<sub>3</sub>, bem como por escoamento superficial, reduzindo assim o potencial fertilizante do DLB e aumentando a poluição ambiental. Assim, surge a necessidade de estratégias que reduzam as perdas de nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera e aumentem a eficiência do DLB como fertilizante. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o modo de aplicação (injeção x superficial) do DLB no solo em sistema de plantio direto (SPD) afeta a emissão de amônia (N-NH<sub>3</sub>), bem como esta prática combinada com DCD pode afetar a EUN, parâmetros de planta e a produtividade de trigo. Foram conduzidos dois estudos a campo em dois locais distintos pertencentes à Universidade Federal de Santa Maria, um em Frederico Westphalen, RS, num Latossolo Vermelho distrófico típico, e o outro em Santa Maria, RS, em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico, no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições dos seguintes tratamentos: DLB aplicados na superfície do solo (DLBs), DLBs+ DCD, DLB injetados (DLBi), DLBi + DCD, testemunha e adubação mineral (NPK) em superfície. Os estudos foram conduzidos simultaneamente nos dois locais. Comparada à aplicação em superfície, a injeção dos DLB no solo mostrou-se eficiente na redução de emissões de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera no trigo. A eficiência da injeção foi maximizada quando combinada com DCD, aumentando a retenção de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no sistema, também aumentou a recuperação aparente de N (103%), a eficiência agrônômica do N aplicado com os DLB e a produtividade do trigo em comparação à aplicação superficial. O melhor desempenho das culturas ocorreu no tratamento com a injeção de DLB + DCD (DLBi + DCD), além disso, esta prática foi eficiente em reduzir as perdas de N por emissão de amônia (N-NH<sub>3</sub>), garantindo maior disponibilidade de N às plantas. Diante desses resultados, a injeção dos DLB + DCD no solo em SPD, constitui uma alternativa de manejo promissora, em relação à aplicação na superfície do solo, quanto a EUN, produtividade e parâmetros de planta no trigo, como também na redução de emissão de N-NH<sub>3</sub>.

Palavras-chave: Injeção de Dejetos. Dicianodiamida. Produtividade de Culturas. Plantio Direto.

#### ABSTRACT

The application of liquid bovine wastes (DLB) as a source of nutrients, mainly nitrogen (N), to crops such as wheat (*Triticum aestivum L*) is a common and widespread practice in southern Brazil. However, when DLB is applied under soil surface under no-tillage system (SPD), nitrogen losses can occur through N-NH<sub>3</sub> emission, as well as through surface runoff, thus reducing the fertilizer potential of DLB

and increasing pollution environmental. Thus, there is a need for strategies that reduce nitrogen losses in the soil-plant-atmosphere system and increase the efficiency of DLB as fertilizer. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the mode of application (shallow x injection) of DLB in soil in no-tillage system (SPD) affects ammonia emission (N-NH<sub>3</sub>), as well as this practice combined with DCD can affect EUN, plant parameters and wheat yield. Two field studies were conducted in two distinct sites belonging to the Federal University of Santa Maria, one in Frederico Westphalen, RS, in a dystrophic Red Latosol, and the other in Santa Maria, RS, in an Umbric Alumina Red Argisol, in the experimental design of (DLBs), DLBs + DCD, injected DLB (DLBi), DLBi + DCD, control and mineral fertilization (NPK) on the surface. The studies were conducted simultaneously at both sites. Compared to surface application, DLB injection in the soil was efficient in reducing N-NH<sub>3</sub> emissions to the atmosphere in wheat. The efficiency of the injection was maximized when combined with DCD, increasing N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention in the system, also increased apparent N recovery (103%), N agronomic efficiency applied with DLB and wheat yield compared to Surface application. The best performance of the crops occurred in the treatment with DLB + DCD injection (DLBi + DCD). In addition, this practice was efficient in reducing the losses of N by ammonia emission (N-NH<sub>3</sub>), guaranteeing greater N availability at Plants. In view of these results, the injection of DLB + DCD in the soil in SPD is a promising alternative to soil surface application for EUN, productivity and plant parameters in wheat, as well as the reduction of N-NH<sub>3</sub>.

Keywords: Waste Injection. Dicianodiamide. Productivity of Cultures. Planting Direct.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O aumento anual do consumo de fertilizantes nitrogenados no mundo é em torno de 1,5% (HEFFER; PRUD'HOMME 2014). Em propriedades onde há a associação da pecuária com a produção de grãos, a aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) em pré-semeadura de gramíneas como o trigo (*Triticum aestivum* L.) em sistema plantio direto (SPD), é uma prática comum no Sul do Brasil. Isso se deve, principalmente, ao alto teor de N amoniacal (BOUWMAN et al., 2013), já que a estimativa é de que 75 a 90% do N ingerido pelos ruminantes não é metabolizado de forma eficiente e excretado na forma de fezes e urina (WHITEHEAD, 1995).

A eficiência mundial estimada de utilização do N (EUN) em gramíneas é de apenas 33% (RAMBO et al., 2007), podendo essa ser ainda mais baixa em DLB (LAZCANO et al., 2016). Considerando os 67% de N que não é aproveitado, tem-se uma grande perda econômica anual (RAUN & JOHNSON, 1999). Além disso, existe também o impacto negativo ao ambiente pelo N dissipado e perdido no sistema solo-planta-atmosfera, tais perdas contribuem com 90% das emissões de N-NH<sub>3</sub> (MOAL et

al., 1995), 70% das emissões de  $N_2O$  (LAZCANO et al., 2016) e uma quantidade significativa de  $N-NO_3^-$  que podem contaminar mananciais (LIU et al., 2014).

Essas perdas são potencializadas no SPD, onde a incorporação do DLB ao solo é uma prática incompatível, sendo aplicado de forma superficial, o que pode provocar prejuízos econômicos e ambientais (ROCHETTE et al., 2009). A emissão de  $N-NH_3$  é a principal via gasosa de perda de N proveniente de estrume animal (GORDON et al., 2001), e independente de sua magnitude, esta reduz a disponibilidade de N para as culturas, causa cheiro desagradável e contribui indiretamente para o aquecimento global (SUTTON et al. 2011; VELTHOF; MOSQUERA, 2011; DI; CAMERON et al., 2012).

Portanto, o desenvolvimento de estratégias de manejo que possam reduzir as perdas de N nestes sistemas se torna essencial para sua sustentabilidade. Uma das principais alternativas para aumentar a EUN pelas culturas é sincronizar a disponibilidade de N com as necessidades das plantas (RAMBO et al., 2007), entre as opções de manejo propostas para minimizar as perdas de N, têm-se o uso de inibidores de nitrificação dicianodiamida (DCD) (ZAMAN et al., 2008) e a incorporação imediata dos dejetos nos solos via injeção mecanizada (MISSELBROOK et al. 2002; PERÄLÄ et al. 2006). Assim, controlando a velocidade que o N dos dejetos hidrolisa e a sua proteção via barreira física na injeção, essas práticas podem diminuir o impacto ambiental e aumentar a eficiência da utilização de seus nutrientes (DI et al., 2007; ZAMAN et al., 2009).

Considerando a carência de estudos com essas estratégias de manejo do DLB nas condições subtropicais do Sul do Brasil, é necessário aumentar os estudos com estas novas técnicas de aplicação que possam atenuar as perdas de N e redução no potencial fertilizante para as culturas. Por isso, o objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência de inibidor de nitrificação e da injeção dos dejetos líquidos de bovinos no solo, sobre as emissões de  $N-NH_3$  nas condições de Latossolo Vermelho distrófico e Argissolo Vermelho Distrófico Arênico em sistema de plantio direto, bem como a produtividade, parâmetros de planta e eficiência de uso do N.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

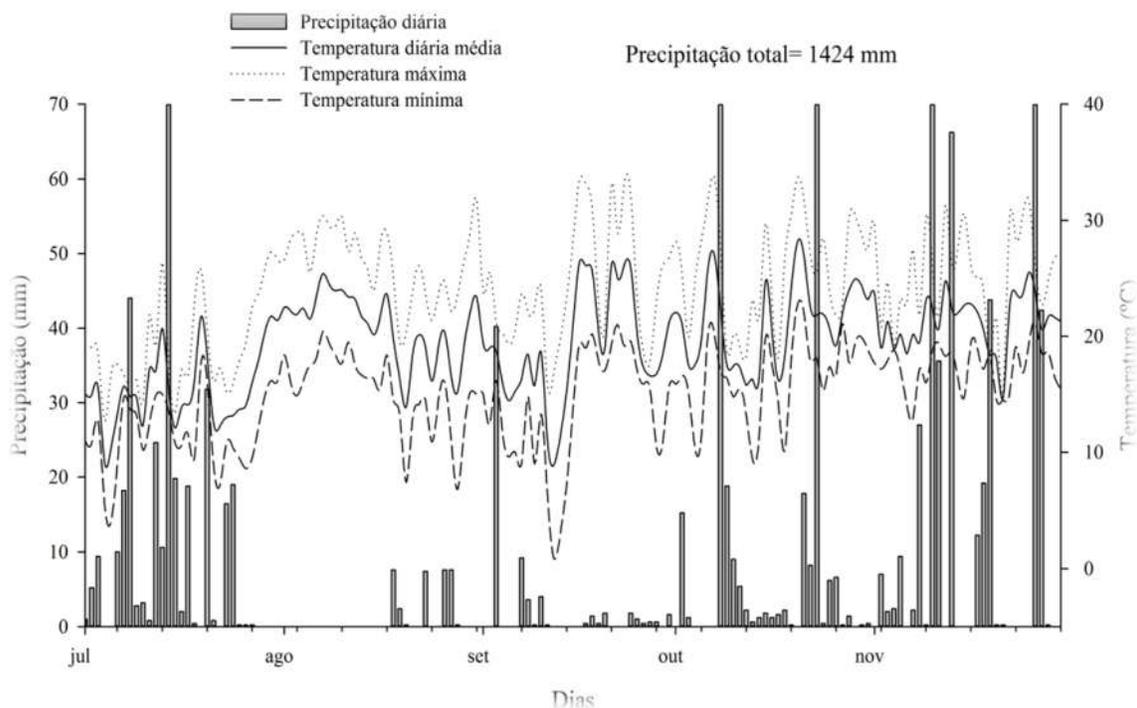
Foram conduzidos dois experimentos a campo em sistema plantio direto em dois locais diferentes no ano agrícola de 2015, sendo um local no Noroeste do Rio Grande do Sul, e outro na região Central, como será descrito mais detalhadamente a seguir.

### 3.2.1 Experimento I - Frederico Westphalen

#### 3.2.2 Local, clima e solo

O Experimento I foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, cujas coordenadas são 27° 23' S e 53° 25'W, a uma altitude de 566 metros. O clima do local é subtropical úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen (MORENO 1961). Os dados meteorológicos foram coletados a partir de uma estação meteorológica automática localizada a 500 metros do experimento e são apresentados na figura 1. O solo da região é classificado como Rhodic Hapludox soil (SOIL SURVEY STAFF, 2014) ou Latossolo Vermelho distrófico no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). Por ocasião da implantação do experimento, foi realizada amostragem de solo na camada de 0,00-0,10 cm, apresentando as seguintes características físico-químicas: argila 654 g kg<sup>-1</sup>; pH H<sub>2</sub>O 5.1; índice SMP 5.6; fósforo 5,5 mg dm<sup>-3</sup>; potássio 64,8 mg dm<sup>-3</sup>; alumínio 0,2 cmolc dm<sup>-3</sup>; acidez potencial 5,5 cmolc dm<sup>-3</sup>; CTC efetiva 7,94 cmolc dm<sup>-3</sup>; saturação por bases 57,22 %; e matéria orgânica 28,4 g kg<sup>-1</sup>;

A área experimental vinha sendo conduzida há 12 anos sob SPD com a sucessão trigo (*Triticum aestivum L.*), soja (*Glycine max L.*), milho (*Zea mays L.*), sendo a cultura do trigo do presente estudo semeada sob resteva de soja.



**Figura 1.** Temperaturas mínimas, máximas e médias e precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do Experimento I. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica de Frederico Westphalen, RS

### 3.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os seis tratamentos, aplicados em parcelas de 36 m<sup>2</sup> (6 x 6 m) no delineamento experimental de blocos ao acaso e com quatro repetições, foram os seguintes: T1- DLB em superfície (DLBs); T2- DLB em superfície com DCD (DLBs + DCD); T3- DLB injetado no solo (DLBi); T4- DLB injetado + DCD (DLBi + DCD, T5- Sem aplicação de fertilizante ou DCD (Testemunha); T6- NPK mineral em superfície (NPK).

### 3.2.4 Dejetos líquidos de bovinos, NPK e dicianodiamida

O DLB oriundo de vacas em lactação é composto por fezes, urina, restos de alimentos e água de lavagem das instalações, mantido em esterqueira anaeróbica e a céu aberto. O DLB foi coletado e transportado até a área experimental, onde permaneceram estocado em caixas d'água com capacidade de 1000L, as características dos dejetos utilizados são apresentados na Tabela 1.

As quantidades de DLB e de fertilizante mineral aplicadas no trigo em cada tratamento foram estabelecidas com base na exigência de N, P e K do trigo, para uma expectativa de produtividade de 3,0 Mg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004). O DLB foi aplicado integralmente na pré-semeadura do trigo. Na dose de 88,8 m<sup>3</sup> correspondendo a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, 75 kg ha<sup>-1</sup> de P e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K. No tratamento NPK, foram aplicados, na superfície do solo, no momento da semeadura, 75 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (Super Fosfato Triplo); 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (cloreto de potássio); e 60 kg de N ha<sup>-1</sup> (ureia) e, em cobertura dia 06 de setembro de 2015, 50 kg de N ha<sup>-1</sup> (ureia).

A aplicação do DLB foi ao dia 29 de julho de 2015, em superfície foi realizada manualmente através de regadores e provetas (dentro das bases, as quais estavam inseridas nos solos para receber as câmaras semi-estáticas). A DCD foi utilizada na forma de pó, da marca Agrotain Plus, a qual foi misturada aos dejetos no momento da sua aplicação no campo, na dose de 7 kg ha<sup>-1</sup>. Para a injeção dos dejetos foi realizada utilizando-se um aplicador mecânico comercial (Modelo DAOL-i 4000 Tamdem, MEPEL). O equipamento era composto por um tanque metálico com capacidade de 4.000 L. A injeção era iniciada apenas após o acionamento de um pistão hidráulico responsável por inserir no solo o conjunto de 8 hastes de injeção tipo facão guilhotina (discos de corte e haste sulcadora), localizado na parte traseira do equipamento. As hastes sulcadoras de 2,0 cm de espessura possuíam ponteira substituível e eram espaçadas de 35 cm entre si e a profundidade de injeção variou de 8 a 11 cm.

O trigo, cultivar Quartzo OR da Biotrigo foi semeado com semeadora para plantio direto, no dia 30 de julho de 2015 um dia após a aplicação dos dejetos, em linhas espaçadas em 0,17 m, com densidade populacional de 180 kg ha<sup>-1</sup>. A colheita do trigo, para avaliação da produtividade de grãos, foi realizada manualmente em 25 de novembro de 2015.

**Tabela 1.** Principais características dos dejetos líquidos de bovinos (DLB) utilizados e a quantidade de NPK aplicado em cada experimento.

Características	Experimento I	Experimento II
Dejetos líquidos de bovinos (DLB)	Trigo FW	Trigo SM
Matéria seca, g kg <sup>-1</sup>	23,1	35,5
N total, g kg <sup>-1</sup>	0,93	1,14
NAT <sup>(1)</sup> , g kg <sup>-1</sup>	0,38	0,27
pH	7,24	6,9
Dose de DLB, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	88,8	80
NAT, kg ha <sup>-1</sup>	33,3	21,6
Fertilizante mineral (NPK)		
N-ureia <sup>(2)</sup> , kg ha <sup>-1</sup>	110	110
K <sub>2</sub> O, kg ha <sup>-1</sup>	60	40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	75	75

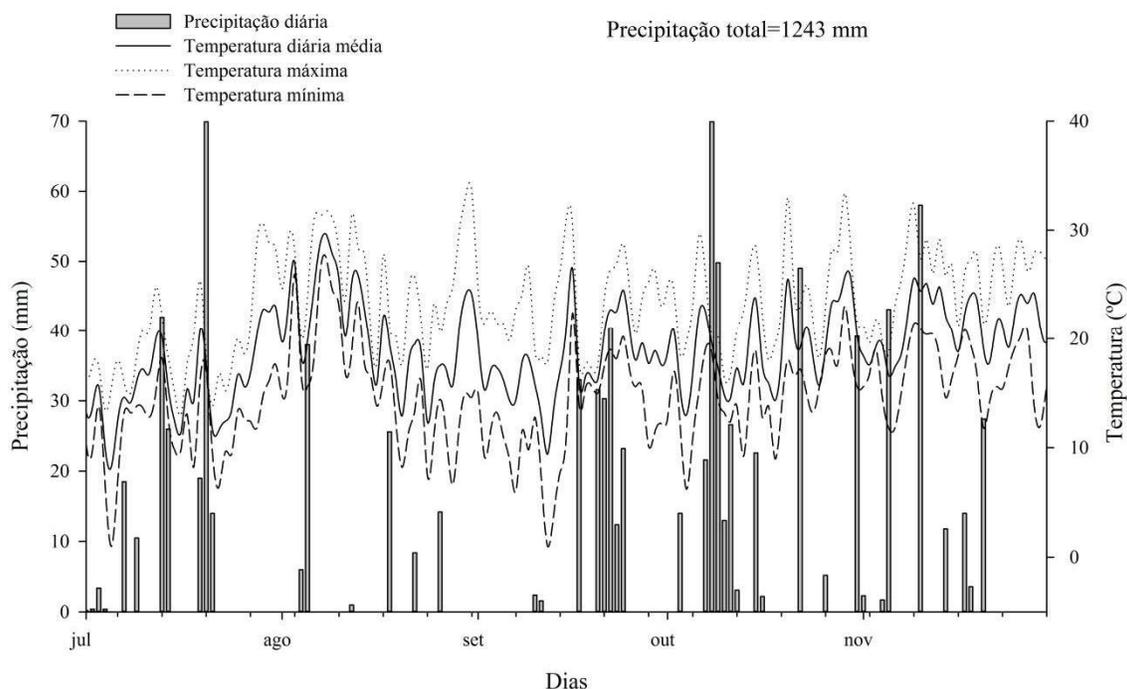
<sup>(1)</sup>NAT = N amoniacal total (N-NH<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); <sup>(2)</sup> Dose total de N-ureia foi dividida, aplicando-se 1/3 em pré-semeadura da cultura e 2/3 em cobertura.

### 3.2.5 Experimento II – Santa Maria

#### 3.2.6 Local, clima e solo

O experimento II foi conduzido na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, na sede de Santa Maria, Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil, cujas coordenadas são 29°42'S e 53°42'W, a uma altitude de 80 metros. O clima do local é subtropical úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen (MORENO 1961). Os dados meteorológicos são apresentados na Figura 2. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico ou Hapludalf (EMBRAPA, 2013; SOILSURVEY STAFF, 2014). Na instalação do experimento o solo possuía na camada de 0,00-0,10 m os seguintes atributos: 124,3 g kg<sup>-1</sup> de argila; 259,1 g kg<sup>-1</sup> de silte; 616,6 g kg<sup>-1</sup> de areia; 13 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH em água de 5,3; 13,2 mg dm<sup>-3</sup> de P e 72 mg dm<sup>-3</sup> de K (ambos extraídos por Mehlich<sup>-1</sup>); saturação de bases de 41,9%; 6,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> CTCpH7 e densidade do solo de 1,64 g dm<sup>-3</sup>.

A área permaneceu um ano em pousio antes de iniciar o experimento, sendo que nos dois anos anteriores ela foi cultivada em SPD, com soja (*Glycine max L.*) no verão e azevém (*Lolium perene L.*) no inverno.



**Figura 2.** Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias e precipitação pluvial diária ocorrida durante a condução do experimento. Dados obtidos junto à Estação Climatológica Experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

### 3.2.7 Tratamentos e delineamento experimental

A caracterização do delineamento experimental e tratamentos avaliados é a mesma apresentada para o Experimento I (ver item 3.2.3).

### 3.2.8 Dejetos líquidos debovinos, NPK e dicianodiamida

A descrição, armazenamento, modo de aplicação do DLB é a mesma apresentada para o Experimento I (ver item 3.2.4), as quantidades de DLB e de fertilizantes podem ser observada na Tabela 1.

Os DLB foram aplicados integralmente na pré-semeadura e o restante da quantidade de N recomendada foi aplicado em cobertura na forma de ureia, com exceção da testemunha, devido ao fato da dose de DLB não satisfazer as doses recomendadas. Para tanto, seis dias antes da semeadura do trigo (16 Jun 2015), foram aplicados 80 m<sup>3</sup> de DLB correspondendo a 45,4 kg ha<sup>-1</sup> de N, 25,6 kg ha<sup>-1</sup> de P e 80 kg ha<sup>-1</sup> de K. Aos 37 dias após a semeadura do trigo, foi feita a complementação das quantidades de N e P nos tratamentos com aplicação de DLB, adicionando-se, em

cobertura. A complementação dos tratamentos com DLB foi realizada com a aplicação em superfície de  $64,6 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-ureia e  $16,4$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . No tratamento NPK, foram aplicados, na superfície do solo, no momento da semeadura,  $75 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  (Super Fosfato Simples);  $30 \text{ kg de K}_2\text{O ha}^{-1}$  (cloreto de potássio); e  $20 \text{ kg de N ha}^{-1}$  (ureia) e, 40 dias após a semeadura,  $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$  em cobertura (29 de julho de 2015).

A cultivar de trigo utilizada foi a TbioSinuelo, sendo semeada em 22 de junho de 2016 na densidade de  $160 \text{ kg de sementes ha}^{-1}$ . A colheita foi dia 02 de novembro de 2015.

### **3.2.9 Parâmetros fitométricos avaliados na parte aérea do trigo**

Foram avaliados os seguintes parâmetros (LARGE, 1954): a) Produção de massa seca: determinada na área de  $0,5 \text{ m}^2$  por parcela, onde as plantas foram cortadas desde a superfície do solo, secas em estufa à temperatura de  $65^\circ\text{C}$  até peso constante, quando foram pesadas e os valores extrapolados para  $\text{kg ha}^{-1}$  (Estádio 10.5.3); b) Altura de plantas: mensurada com o auxílio de trena métrica, desde a superfície do solo até o ápice da espiga. Para essa avaliação vinte colmos em cada parcela útil foram medidos (Estádio 11.4); c) Peso de mil sementes: obtido seguindo metodologia proposta por Brasil (2009); d) Produtividade: obtida através da colheita dos grãos contidos em  $2,55 \text{ m}^2$  da parcela útil. A produção final de grãos foi corrigida para 13 % de umidade e os valores foram extrapolados para  $\text{kg ha}^{-1}$ ; e) Acúmulo de N: foi avaliado na maturação fisiológica da cultura, foram coletadas cinco plantas na área útil de cada parcela, analisando-se separadamente a palha. Após a secagem, uma subamostra de grãos e de palha foi moída em moinho de facas e depois em moinho tipo willey ( $<100 \text{ mesh}$ ). No tecido vegetal, seco e moído, determinaram-se a concentração de N por digestão úmida e a destilação por meio de destilador de arraste de vapor semimicro-Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

### **3.2.10 Eficiência agrônômica do N e índices de eficiência**

Com os dados de matéria seca, acúmulo de N e produtividade de grãos foram calculados os seguintes índices (FAGERIA, 1998; CRASWELL; GODWIN, 1984); a) Eficiência agrônômica do N (EAN,  $\text{kg de grãos kg}^{-1}$  de N aplicado): produção econômica obtida (grãos) por unidade de N aplicado, calculada pela seguinte equação,

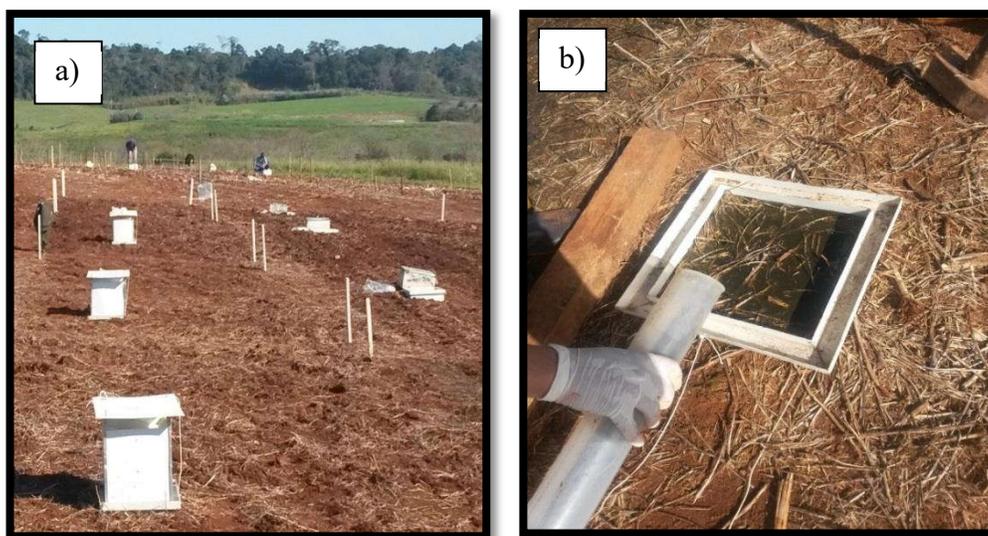
em que:  $Y_f$  é a produção de grãos, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção, em kg, sem adubação;  $Q_f$  é a quantidade de nutriente aplicado, em kg:  $EAN = \frac{Y_f - Y_0}{Q_f} (kgkg^{-1})$ ; b) Recuperação aparente do N (RAN, %): quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, sendo que:  $QN_f$  é a acumulação de nutriente, em kg, com adubação;  $N_0$  é a acumulação de nutriente, em kg, sem adubação;  $Q_f$  é a quantidade do nutriente aplicado, em kg:  $RAN = \frac{QN_f - N_0}{Q_f} (kgkg^{-1})$ ; c) Eficiência fisiológica (EF): é a produção biológica obtida (grãos + palha, em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado, em que:  $Y_f$  é a produção total de matéria seca, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção total de matéria seca, em kg, sem adubação;  $N_{abf}$  é o acúmulo de nutriente com adubação, em kg;  $N_{abo}$  é o acúmulo de nutriente sem adubação, em kg:  $Ef = \frac{Y_f - Y_0}{N_{abf} - N_{abo}} (kgkg^{-1})$ ; d) A eficiência de utilização de nitrogênio (EUN):  $EUN = EF \times RAN (kgkg^{-1})$ .

### 3.2.11 Avaliação das emissões de N-NH<sub>3</sub>

As emissões de N-NH<sub>3</sub> foram avaliadas em dois períodos durante a condução dos experimentos, o primeiro após a aplicação do DLB em pré-semeadura de trigo e o segundo após a aplicação da ureia em cobertura. Sendo que as avaliações de N-NH<sub>3</sub> foram realizadas apenas nos tratamentos sem a adição de DCD (Testemunha, NPK, DLBi e DLBs) devido a não interferência do mesmo nas emissões de N-NH<sub>3</sub> (PUJOL, 2012). A avaliação da emissão de N-NH<sub>3</sub> foi realizada em câmaras estáticas semiabertas, conforme proposto por NÔMMIK (1973) (Figura 3). O número de avaliações da emissão de N-NH<sub>3</sub> realizadas na cultura do trigo, bem como o intervalo de tempo transcorrido entre cada avaliação foi de 0, 24, 48, 72, 120, 168 e 240 horas. As duas espumas presente no interior na câmara foram embebidas com 140 mL de uma solução contendo a mistura de ácido fosfórico (5%) e glicerina (4%), as espumas do suporte superior eram mantidas no interior das câmaras e as inferiores coletadas e trocadas nas avaliações, sendo as superiores apenas para evitar trocas gasosas com a atmosfera. Após cada troca de espumas, as mesmas eram colocadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório para extração da amônia captada e presente na forma de fosfato de amônio. A extração deste das espumas foi realizada por meio de 8 lavagens sucessivas das mesmas com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> de modo que ao final destas lavagens o volume final de solução fosse de 1,0 L, aferido em balão volumétrico. Na sequencia, do

balão contendo 1,0 L de solução, após homogeneização, retirava-se subamostras de 100 mL para serem armazenadas congeladas, sendo que deste frasco retirou-se o volume necessário (20 mL) para análise de nitrogênio em destilador de arraste de vapor semimicro Kjeldahl, após adição de 0,2 g de MgO por amostra. A titulação foi realizada com  $H_2SO_4$  0,005 N conforme Tedesco et al., (1995).

A emissão de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera em cada intervalo de coleta das espumas foi calculado a partir da seguinte equação:  $F_{NH_3} = \frac{QC \times 10.000}{A \times t}$ , onde, FN-NH<sub>3</sub> representa o fluxo de N-NH<sub>3</sub> (em g N ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) no intervalo de tempo t; QC a quantidade de N-NH<sub>3</sub> (em g de N) captada pela espuma inferior da câmara no intervalo de tempo t; A representa a área da câmara (em m<sup>2</sup>) e t o tempo em horas (h), decorrido entre a colocação das espumas no campo até a sua retirada. As perdas de N-NH<sub>3</sub> por emissão em cada intervalo foram somadas para calcular a perda acumulada de amônia:  $PA_{N-NH_3} = \frac{\sum QC \times 10000}{A}$ , PA N-NH<sub>3</sub> representa a perda acumulada de N para a atmosfera (em kg de N ha<sup>-1</sup>);  $\sum QC$  significa a soma das quantidades de N-NH<sub>3</sub> captadas na espuma inferior da câmara em cada análise realizada (em g de N) e A é área da câmara (em m<sup>2</sup>) as quantidades líquidas de N que foram perdidas via emissão de N-NH<sub>3</sub> em cada tratamento com aplicação de nitrogênio (dejetos e ureia), ao final de cada período avaliado, foram obtidas descontando-se destes as quantidades de N-NH<sub>3</sub> que emitiram no tratamento testemunha, sem aplicação de N.



**Figura 3.** Vista do experimento: a) base metálica coberta com câmara estática para avaliação das emissões de amônia; b) aplicação do DLB no interior da câmara via proveta.

### 3.2.12 Avaliações no solo

Foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de N-mineral (Método de Kjeldahl) em dois períodos de maior demanda da cultura, perfilhamento e florescimento. A densidade do solo foi determinada com amostras indeformadas coletadas com anel volumétrico de Kopeck, nas camadas de 0 a 10 cm (KIEHL, 1979). A partir dos valores de umidade e densidade volumétrica, calculou-se o espaço poroso saturado por água (EPSA), assumindo uma densidade de partícula de  $1,35 \text{ g cm}^{-3}$ .

### 3.2.13 Análise estatística

A análise estatística empregada constou da análise da variância (ANOVA) e a comparação das médias foi feita pelo teste Tukey (5 % de probabilidade de erro) e LSD de Fisher (1 % de probabilidade de erro) no programa Genes (CRUZ, 2007) e Sigma Plot (Systat Software, Inc.).

## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Emissão de N-NH<sub>3</sub> em pré-semeadura

As emissões de N-NH<sub>3</sub> em pré-semeadura no trigo foram significativamente influenciadas pelo uso do DLB, bem como o NPK ( $p < 0,001$ ), tanto no experimento I, como no experimento II, sendo que tais diferenças e intensidades nas emissões em relação à testemunha diminuiram com o tempo (Figura 4).

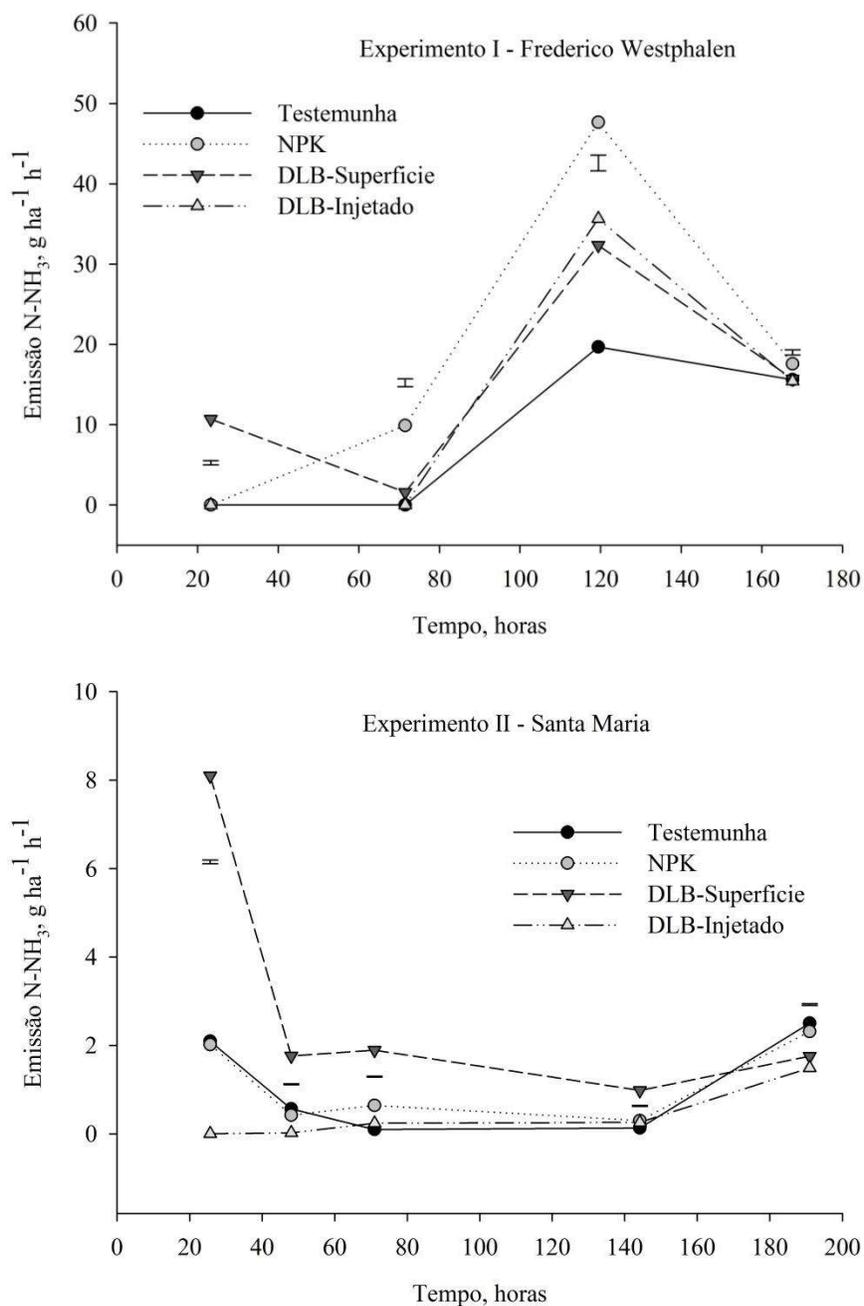
Nas condições do experimento I, as emissões de N-NH<sub>3</sub> atingiram um pico máximo de emissões às 120 horas (5 dias) após a aplicação dos tratamentos, após isso declinaram acentuadamente, similar aos resultados encontrados por Yang et al., (2003), que ao estudarem as emissões de N-NH<sub>3</sub> no Sul do Japão, evidenciaram perdas do N via N-NH<sub>3</sub> de 60% no quinto dia após aplicação do dejetos, reduzindo significativamente após até chegar a níveis iguais a zero.

O maior fluxo de emissões de N-NH<sub>3</sub> no Experimento I, ocorreu no tratamento com fertilização mineral (NPK), o valor de  $48,05 \text{ N-NH}_3 \text{ g ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  foi significativamente superior aos demais tratamentos, sendo 2,5 vezes maior que o

tratamento testemunha e 1,3 e 1,5 vezes, respectivamente maior que os tratamentos DLBs e DLBi. Rochette et al., (2009), ao avaliar emissões de N-NH<sub>3</sub> de dejetos de bovinos e suínos, também encontraram maiores emissões no tratamento com adubação mineral, e atribuíram esta maior emissão à atividade elevada da enzima uréase no início do experimento. Além disso, o N-NH<sub>3</sub> produzido pela hidrólise enzimática da ureia pode ter permanecido mais superficialmente no solo, o que favoreceu a maior emissão, sendo que o DLB, caracterizado por sua liquidez pode ter infiltrado no solo, e de certa forma protegeu melhor o N do que a ureia do NPK aplicada ao solo na forma sólida e superficial (PUJOL, 2012).

Com relação ao modo de aplicação, no Experimento I, as emissões na aplicação do DLB superficial (35,79 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) foram estatisticamente superior à aplicação injetada (32,79 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), demonstrando a eficiência da injeção na redução das emissões de N-NH<sub>3</sub>. Em torno de 40,86% do N presente no DLB encontrava-se na forma amoniacal (Tabela 1), o que explica o fato da injeção ter proporcionado melhores resultados no trigo que a aplicação superficial, entretanto, embora esta redução seja significativa (P>0,001), praticamente 12,68% (33,75 N-N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ha<sup>-1</sup>) do N amoniacal do DLB foi perdida por emissão de N-NH<sub>3</sub> no tratamento DLBs e quase 12,66% no tratamento DLBi.

Valor este inferior ao observado por Rochette et al., (2009) que ao estudar a aplicação de dejetos líquidos de suínos em superfície, sobre resíduos culturais de trigo, verificaram que aproximadamente 50% do N amoniacal total aplicado com os dejetos líquidos de suínos foi perdido por emissão de N-N-NH<sub>3</sub>. Mas, os resultados ainda estão de acordo com a maioria dos trabalhos, onde as injeções dos dejetos no solo controlam eficientemente a emissão de N- N-NH<sub>3</sub>, pois reduz à exposição dos dejetos aos efeitos da atmosfera (CHANTIGNY et al., 2004; ROCHETTE et al., 2009; DELL et al., 2012; NYORD et al., 2012; AITA et al., 2014;). No trabalho de Aita et al. (2014), os autores avaliaram a emissão de N-N-NH<sub>3</sub> no milho e constataram que, ao injetar os dejetos líquidos de suínos no solo em pré-semeadura, a emissão de N-NH<sub>3</sub> foi reduzida em 100%, comparada à aplicação superficial. Já Tao et al., (2008) encontraram emissões de N-NH<sub>3</sub> 56 vezes maior nos tratamentos sob aplicação superficial em relação aos injetados.



**Figura 4.** Emissões de N-NH<sub>3</sub> após manejos do DLB em pré-semeadura do trigo e com aplicação do NPK. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01)

Nas condições do experimento II, os tratamentos atingiram um pico máximo de emissões próximo à 25 horas após a aplicação (1dia), após as 25 horas da aplicação, também declinaram acentuadamente. As emissões de N-NH<sub>3</sub> foram significativamente superiores no tratamento sob aplicação superficial do DLBs (8,08 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), entretanto, o N perdido via N-NH<sub>3</sub> não chegou a 1% do N amoniacal aplicado na

semeadura, resultado diferente ao encontrado por Bronson et al., (1989), onde concluíram que 38% do N aplicado via dejetos bovino foi perdido de um solo arenoso.

Embora baixo, o maior estímulo nas primeiras horas observado nos tratamentos com DLB, pode ser atribuído ao efeito desse resíduo como fonte de energia aos microorganismos do solo, devido à maior disponibilidade de N, saturação dos poros do solo pelo líquido do DLB e oferta de C, devido a solubilização no solo causada por um aumento do pH após a aplicação do DLB (KELLIHER et al., 2008) além do mais, a maior parte do DLB (80%) é aminoácidos que são facilmente mineralizáveis e sofrem rápidas hidrólises e amonificação (ZAMAN et al., 2010).

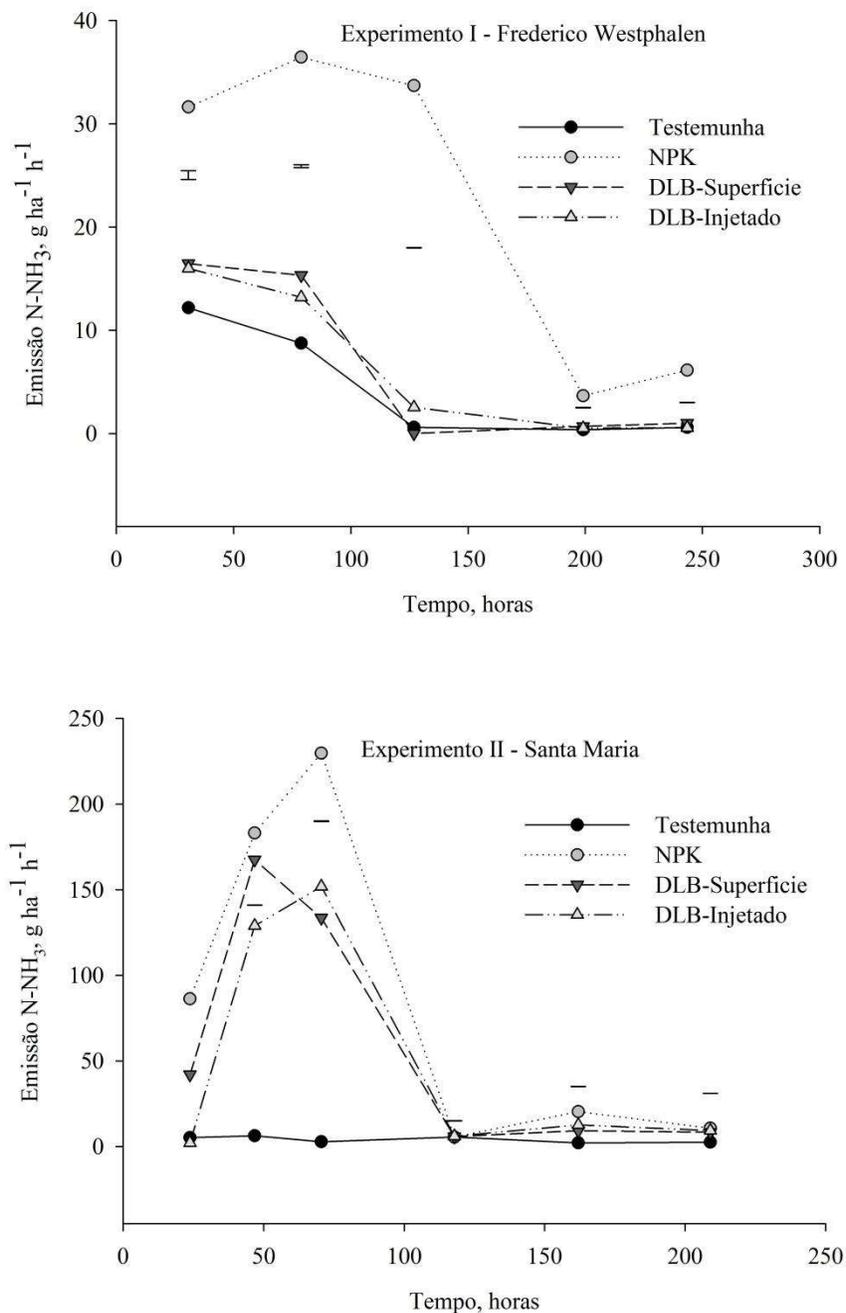
Com relação à injeção dos dejetos, observou-se que em ambos os experimentos a injeção do DLB reduziu as emissões de N-NH<sub>3</sub>, sendo estatisticamente inferior aos tratamentos com aplicação superficial do DLB e NPK. Em relação ao tratamento testemunha, a injeção ora foi significativamente superior e ora não diferiu estatisticamente o que corrobora com os resultados encontrados por Singh et al., (2008) e Tao et al., (2008), onde as emissões de N-N-NH<sub>3</sub> sob aplicação superficial foram significativamente superiores aos tratamentos injetados de dejetos líquidos de suínos.

A dinâmica nas emissões de N-NH<sub>3</sub> nos diferentes experimentos pode estar associado às condições climáticas e pluviométricas, bem como as características dos distintos solos (Latosolo e Argissolo) (PETERSEN et al, 2012). As menores emissões observadas no experimento II (0,2 a 9,7% do N amoniacal aplicado), em relação ao I, podem ser atribuídas ao rápido movimento no N no solo arenoso, devido a maior capacidade de drenagem da fração líquida do DLB (ASING et al., 2008; SINGH et al., 2008), além do mais, a dinâmica pode ser influenciada quando a aplicação é realizada em solos secos, estes absorvem a grande quantidade de líquido, como relatado em estudos com lisímetros e á campo (RODGERS,1983; RAO; PUTTANNA, 1987; DAVIES; WILLIAMS, 1995;PUTTANNA et al., 2001). As emissões de N-NH<sub>3</sub> originadas da utilização do DLB são afetada por inúmeras propriedades do solo, como o pH, CTC e atividade dos microorganismos, umidade do solo, temperatura do solo e velocidade de infiltração de água (ASING et al., 2008). Portanto, na literatura há uma grande variação com relação as perdas de N via N-NH<sub>3</sub> com DLB, sendo no Reino Unido: de 4 a 27% (LOCKYER; WHITEHEAD, 1990) e 12 a 36% (SHERLOCK; GOH, 1984); na Nova Zelândia de 1,7 a 5,7% (ZAMAN et al., 2008), 4 a 8% na Holanda (VERTEGT ; RUTGERS, 1987), já para Dawson et al., (2008), 50% de N no DLB é perdido na armazenagem, e outros 25% é perdida após a aplicação no solo.

### 3.3.2 Emissão de N-NH<sub>3</sub> após aplicação da uréia em cobertura

No experimento I, o maior pico de emissões de N-NH<sub>3</sub> ocorreu 79 horas após a aplicação da ureia, no tratamento NPK (36,36 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), sendo que este se manteve superior aos demais durante todo o período de avaliação (Figura 5). Este resultado já era esperado nesse experimento I, onde não foi realizada a aplicação de ureia em cobertura nos tratamentos com a utilização do DLB, sendo essa uréia aplicada apenas no tratamento NPK.

Já no experimento II, onde a complementação de ureia foi realizada em todos os tratamentos, as emissões de N-NH<sub>3</sub> atingiram o pico máximo de emissões nas 70 horas após a aplicação da ureia, sendo a emissão no tratamento NPK (229,58 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) significativamente superior aos demais tratamentos, mantendo-se superior durante todas as medições. Após 70 horas da aplicação da uréia, todos os tratamentos reduziram as emissões. Os tratamentos superficial e injetado também foram significativamente superiores ao tratamento testemunha durante as medições, resultado similar aos encontrados por Asing et al., 2008. A maior emissão no tratamento NPK, em ambos os experimentos pode ser justificada pelo fato da ureia ficar de forma superficial no solo, ao contrário do DLB já transformado em função as sua aplicação que antecedeu a semeadura do trigo e , além disso, as condições de solo úmido após a aplicação da ureia e densa cobertura vegetal do dossel, podem ter potencializada a atividade da enzima urease na ureia (SHARPE et al., 2004; MARSHAL et al., 1998).



**Figura 5.** Emissões de  $N-NH_3$  após aplicação de ureia em cobertura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

A maioria das emissões de  $N-NH_3$  ocorreu durante os primeiros dias após a aplicação da ureia, após isso as emissões reduziram até chegar à zero, como na avaliação realizada em pré-semeadura, corroborando os resultados encontrados por Pujol (2012), Tao et al., (2008), Yang et al., (2003), onde as emissões ocorreram nos primeiros dias.

### 3.2.3 Perda acumulada de N por emissão de N-NH<sub>3</sub>

A perda acumulada de N como N-NH<sub>3</sub> em pré-semeadura e cobertura, podem ser observada nas Figuras 6 e 7, sendo que estas diferiram significativamente nos tratamentos ( $P > 0,01$ ).

A quantidade acumulada de N-NH<sub>3</sub> no prazo de 07 dias, no Experimento I, foi de 3,61 N-NH<sub>3</sub>, kg ha<sup>-1</sup> para o tratamento NPK, sendo este significativamente superior aos demais tratamentos, seguido pelos tratamentos DLBs e DLBi que embora houve maior tendência de N acumulado pelo tratamento aplicado no modo superficial, não diferiram entre si, sendo superior apenas ao tratamento testemunha. Já no experimento II, todos os tratamentos diferiram entre si. O maior acúmulo de N-NH<sub>3</sub> se deu no tratamento DLBs (0,4443 N-NH<sub>3</sub>, kg ha<sup>-1</sup>), que foi superiores aos demais tratamentos, após este tratamento o NPK (0,21 N-NH<sub>3</sub>, kg ha<sup>-1</sup>), testemunha (0,19 N-NH<sub>3</sub>, kg ha<sup>-1</sup>) e injetado (0,09 kg ha<sup>-1</sup>).

A perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> no experimento I foi de 10,67% no tratamento NPK, 7,80% no DLBs e 7,25% no DLBi em relação ao N amoniacal total aplicado. No experimento II, foi de 2,06% (DLBs), 0,95% (NPK) e 0,45% (DLBi). Estes resultados vão de encontro aos observados por Sommer et al. (2006), que ao aplicarem dejetos líquidos de bovinos e suínos, constataram que a perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> após 96 horas da aplicação de dejetos líquidos variou de 4,9 a 15,2% do amoniacal total aplicado. Após a adição superficial de dejetos líquidos de suínos Nyord et al. (2012) encontraram valores acumulados de N-NH<sub>3</sub> entre 20 a 40 % do N amoniacal aplicado. Em trabalho semelhante, com dejetos líquidos de suínos, Chantigny et al., (2007) encontraram perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> que variaram de 10 a 15% do N amoniacal aplicado.

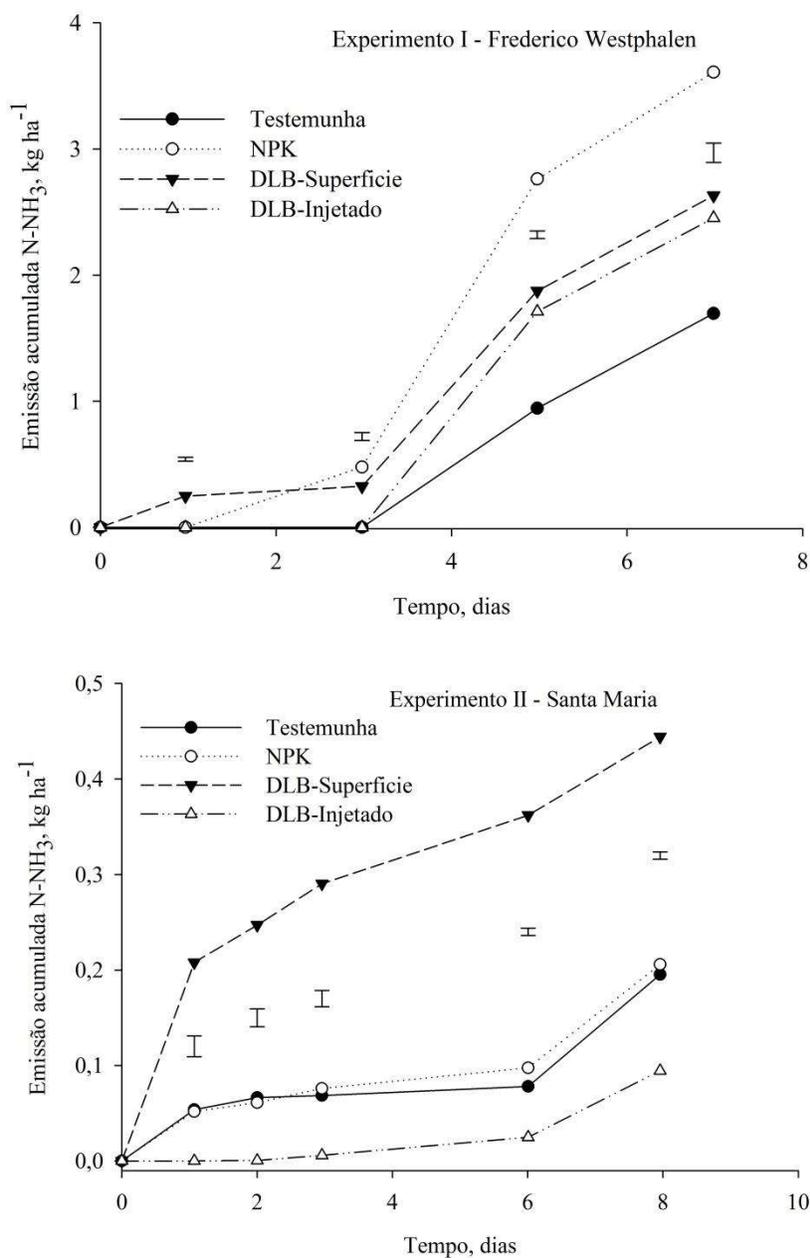


Figura 6 - Perdas acumuladas de N-NH<sub>3</sub> após aplicação de DLB em pré-semeadura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

Tem sido demonstrado, tanto em condições de campo como de laboratório, que as perdas de N por emissão de N-NH<sub>3</sub> estão diretamente relacionadas à quantidade de N amoniacal aplicada na superfície do solo com os dejetos (MATSUNAKA et al., 2008; SMITH et al., 2008).

No experimento I, o acúmulo maior de N observado na cobertura foi para o tratamento NPK (4,88 N-NH<sub>3</sub>, kg ha<sup>-1</sup>), sendo superior aos tratamentos DLBs (1,34 N-

$\text{NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) e DLBi ( $1,31 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) que não diferiram entre si e o mais baixo valor testemunha ( $0,873 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ). No experimento II, o acúmulo de N na cobertura foi significativamente superior no tratamento NPK ( $13,37 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), seguido pelo tratamento superficial ( $9,09 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ) e injetado ( $7,90 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), e testemunha ( $0,81 \text{ N-NH}_3$ ,  $\text{kg ha}^{-1}$ ). Diversos estudos mostram perdas significativas de N, que podem chegar a 64% quando a ureia é aplicada na superfície do solo, sobre os resíduos culturais em plantio direto (ROCHETTE et al., 2009).

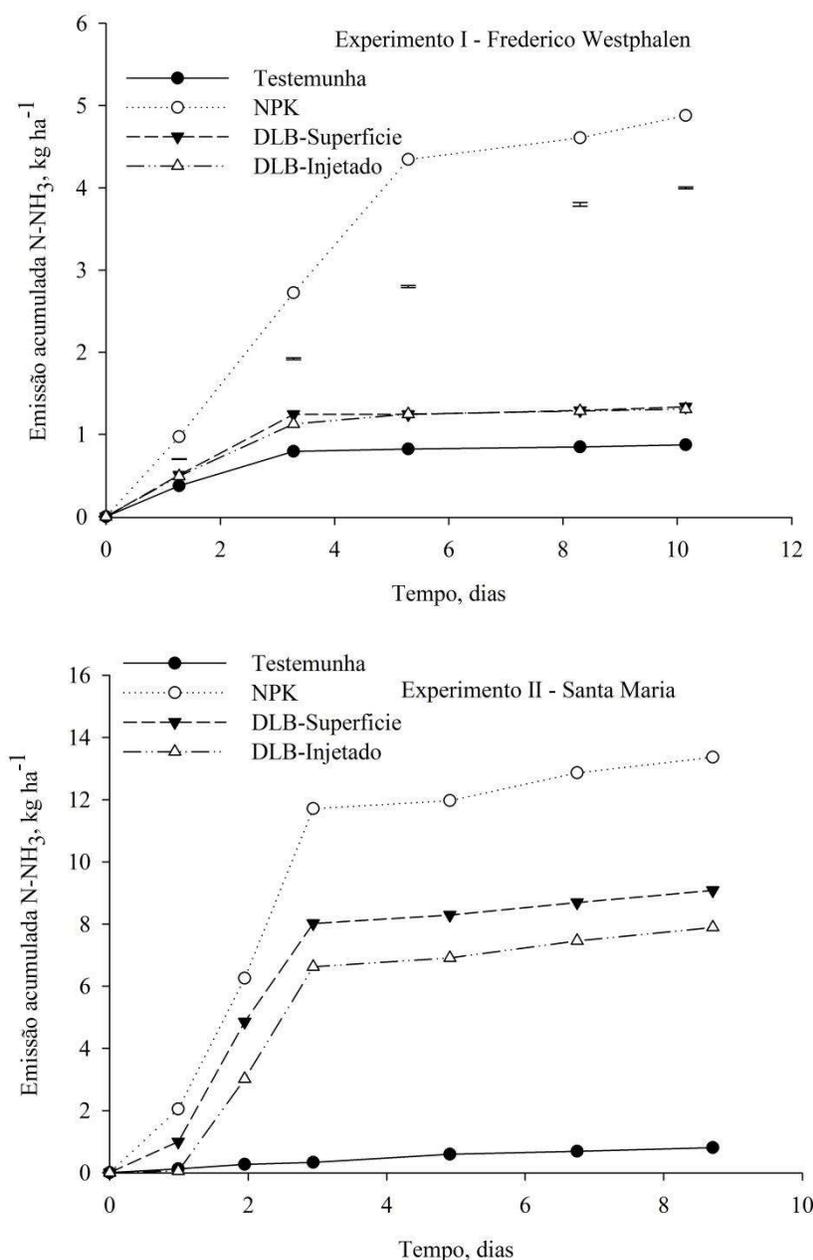


Figura 7 - Perdas acumuladas de  $\text{N-NH}_3$  após aplicação de ureia em cobertura no trigo em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

### 3.2.4 N mineral

Os teores de N mineral no solo, na cama de 0,00-0,10 m no perfilamento e florescimento do trigo são apresentados nas tabelas 2 e 3 sendo que estes diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ).

No experimento I, próximo ao período de perfilamentodo trigo, o teor total de de N mineral no solo foi significativamente mais alto no tratamento DLBi + DCD (194,47 kg N ha<sup>-1</sup>), sendo 13 vezes maior que o teor de N mineral observado no tratamento testemunha.

Tabela 2 - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral encontradas na camada 0-10 cm do solo no perfilamento do trigo, 20 dias após a aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) e fertilizante mineral (NPK).

Experimento I	N mineral no solo		
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Tratamentos	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		
Testemunha <sup>(1)</sup>	6,41f	8,54f	14,94f
NPK	150,66 a	38,94c	189,60b
DLBs	21,61d	36,9d	58,51d
DLBs + DCD	25,52c	26,59e	52,12e
DLBi	18,57e	71,29a	89,86c
DLBi + DCD	140,34b	54,13b	194,47a
DMS	1,82	1,89	1,89
CV%	11,29	13,80	9,85
Experimento II			
Testemunha	8,27f	0,40d	8,67f
NPK	132,78a	1,91b	134,69 a
DLBs	35,52c	2,47a	37,99c
DLBS + DCD	23,21e	1,19c	24,39e
DLBi	31,49 d	1,86b	31,50d
DLBi + DCD	96,43b	2,44a	98,87b
DMS	26,75	1,65	8,36
CV%	19,45	17,8	11,2

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se também um maior teor de N mineral nos tratamentos com inibidor de nitrificação, além de maior conservação do N amoniacal nos tratamentos com DCD.

Todos os tratamentos fertilizados foram estatisticamente superiores a testemunha, sendo o tratamento DLBs inferior aos demais tratamentos. A preservação do N amoniacal o solo pelo inibidor de nitrificação DCD em condições de campo também foram observadas por outros pesquisadores (ZHENGPIG et al., 1991; WATSON, 2000; ZAMAN et al., 2008). Os íons de  $\text{N-NH}_4^+$  geralmente aderem a partículas de argila ou matéria orgânica do solo, e, assim podem ser indiretamente protegidos contra perdas por escoamento em solos mais úmidos (ZAMAN et al., 2002).

Tabela 3 - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral na camada 0-10 cm do solo no florescimento do trigo 70 dias após a aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) e fertilizante mineral (NPK).

Experimento I	N mineral no solo		
	$\text{N-NH}_4^+$	$\text{N-NO}_3^-$	$\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$
Tratamentos	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		
Testemunha <sup>(1)</sup>	9.64e	1.32e	10.96f
NPK	18.59b	6.29c	24.88b
DLBs	14.32d	9.63b	23.95c
DLBs + DCD	14.33d	5.06d	19.39e
DLBi	15.51c	5.06d	20.58d
DLBi + DCD	32.55a	30.68a	63.23 a
DMS	10,5	8,9	11,3
CV%	10,8	7,6	15,9
Experimento II			
Testemunha	10.30e	0c	10.30d
NPK	15.11c	2.37a	17.48b
DLBs	15.82b	1.33b	17.16b
DLBS + DCD	12.14d	1.34b	11.47cd
DLBi	22.53a	2.53a	21.26a <sup>a</sup>
DLBi + DCD	15.13c	2.39a	14.02c
DMS	10,3	1,9	8,9
CV%	10,8	3,6	4,5

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No experimento II, o maior teor de N mineral foi observado no tratamento NPK, 134,69 kg N ha<sup>-1</sup>, seguido pelo tratamento DLBi + DCD, 98,87 kg N ha<sup>-1</sup>, observa-se também maior teor amoniacal nos tratamentos com DCD. Estudos anteriores indicaram que a maior parte do N do DLB permanece na camada superficial de solo (CHANTIGNY et al., 2014, THIVIERGE et al., 2015) e que mais de 95% desse

estrume residual N está presente em compostos orgânicos ou argilosos imóveis, (SØRENSEN; AMATO, 2002, HOEKSTRA et al., 2010; CHANTIGNY et al., 2014).

Os teores de N mineral no trigo próximo ao florescimento (tabela 3) foi significativamente superiores no tratamento DLBi + DCD no experimento I sendo esse de , 63,23 kg N ha<sup>-1</sup> diferente do observado para o experimento II onde se observou um maior teor de N mineral do solo na para o tratamento com a injeção do dejetos líquido de bovino ( 21,26 kg N ha<sup>-1</sup>).

Nos tratamentos sem inibidores e testemunha após o 35º dia da aplicação do dejetos se observa uma menor disponibilidade de N, o que segundo Zamam et al., 2009, pode ser reflexo das perdas do N, devido ao movimento do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ao subsolo e absorção deste pela planta, além da desnitrificação e possivelmente redução assimilatória de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (SILVER et al., 2001).

Diferentemente do observado para o experimento II, no experimento I, os teores de N mineral no florescimento mantiveram-se superiores no tratamento injetado e com a adição do DCD, corroborando com o resultado de Singh et al., 2009, que observaram que nos tratamentos sem DCD, a principal forma de N foi N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, enquanto nos tratamentos com DCD, N foi predominantemente na forma de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (SINGH et al., 2009). O declínio gradual do N mineral do solo pode ser atribuído a absorção de N pelas plantas (PUJOL, 2012; MOIR et al., 2007), ao movimento descendente para a subsuperfície na água de drenagem, a emissão do N-NH<sub>3</sub> e a própria imobilização microbiana (RICE; TIEDJE, 1989, ZAMAN et al., 1999). No trabalho realizado por Bork et al., (2013), a injeção dos dejetos líquidos de suínos a uma profundidade de 7,5 a 10 cm aumentou o N mineral do solo em 35%, em relação à sua aplicação em superfície. Outro aspecto que pode ter favorecido os tratamentos com injeção dos DLB é que ao localizar o N no interior do solo, mais próximo da zona de maior concentração de raízes, pode-se facilitar a absorção do N pelas plantas (DELL et al., 2011). Além disso, o maior contato com as partículas de solo dentro do sulco de injeção pode favorecer a fixação do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> às partículas do solo, o qual pode ser disponibilizado gradualmente as culturas à medida que é liberado na solução do solo (SØRENSEN; AMATO, 2002; CHANTIGNY et al., 2004).

A maior recuperação do N amoniacal a com injeção pode ser atribuída à redução das perdas de N por emissão de amônia (DELL et al., 2012; NYORD et al., 2012; AITA et al., 2014) e também a uma maior imobilização do N do dejetos no solos (SØRENSEN; AMATO, 2002).

### 3.2.5 Produção de massa seca, acúmulo de N e produtividade de grãos

A produção de massa seca da parte aérea do trigo (tabela 4) teve um incremento nos tratamentos com DLB e NPK em ambos os experimentos, sendo que nos tratamentos fertilizados essa produção foi significativamente superiores ao tratamento testemunha ( $p < 0.05$ ). Os tratamentos DLBi + DCD e NPK apresentaram significativamente as maiores produções de massa seca no trigo, tanto no Experimento I, como no Experimento II. Embora a aplicação superficial do DLB tenha sido superior ao tratamento testemunha, este tratamento foi significativamente inferior aos demais tratamentos. Estes resultados podem estar relacionados à maior biodisponibilidade do N pela injeção e/ou adição do DCD, aliás, essa maior disponibilidade de N mineral no solo tem sido a justificativa de Viana e Kiehl (2010), em seu estudo com trigo, para o incremento produtivo na massa seca da parte aérea dessa cultura. Em condições de baixas doses de nitrogênio, a produção de massa seca da parte aérea foi baixa (PANAULLAH et al., 2006; VIANA; KIEHL, 2010). A hidrólise lenta do N pela interferência do DCD permite que as gramíneas absorvam o  $N-NH_4^+$  e incorporem este em seus compostos orgânicos, com menor gasto de energia em comparação com  $N-NO_3^-$  (ZAMAN et al., 2009). (WATSON et al., 1998, XU et al., 2000, ZAMAN et al., 2008). Aumentos de 20% na produção de massa seca em gramíneas e pastagem com o uso de DCD têm sido relatados a literatura (ZAMAN et al. 2008; RAMAKRISHNAN et al., 2006; CAMERON et al., 2005).

Para ambos os experimentos, a produtividade de grãos também foi significativamente influenciada ( $P < 0.05$ ), sendo essa superior no tratamento DLBi + DCD. No comparativo com o tratamento NPK, a produtividade de grãos no tratamento DLBi + DCD foi superior em 20,28% e 16,22%, respectivamente para o experimento I e II. A aplicação de N em ambas as formas orgânicas e inorgânicas aumentaram a produtividade de grãos, corroborando com os resultados observados por Meade et al., 2011, que ao estudar o manejo do dejetos líquidos de suínos, a aplicação de N em formas orgânicas afetou positivamente a produtividade de grãos no trigo.

Tabela 4 - Produção de massa seca, acúmulo de N e produtividade de grãos de trigo com diferentes manejos do dejetos líquido de bovinos no sistema plantio direto.

Experimento I	Peodução de massa seca	Acúmulo de N	Produtividade
Tratamentos	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
Testemunha	2125 c	20,9d	398,8c
NPK	3259 a	50,1bc	828,3b
DLBs	2927 b	45,86c	862,3b
DLBs + DCD	3167 ab	56,82b	911,8ab
DLBi	3087 ab	45,78c	920,9ab
DLBi + DCD	3355 a	68,63a	962,7a
DMS	268,86	20,8	144,06
CV%	4,50	13,5	12,24
Experimento II			
Testemunha	3835,5d	74,65e	1222,34c
NPK	8220,4 a	202,46ab	2269,14b
DLBs	7302,1 b	165,5cd	2133,83b
DLBs + DCD	7783,8 ab	184,04bc	2126,22b
DLBi	7556,95 b	150,69d	2080,95b
DLBi + DCD	8180,6 a	215,9a	2546,88a
DMS	3605,40	67,45	378,75
CV%	24, 64	12,8	8,27

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Diclanodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O acúmulo de N no presente estudo foi influenciado significativamente pelos tratamentos ( $P < 0.05$ ). Os maiores acúmulos de N no trigo, em ambos os experimentos, foram observados nos tratamentos com inibidor de nitrificação, independente do modo de aplicação do DLB, sendo estes significativamente superiores ao tratamento NPK e testemunha. Viana e Kiehl (2010) observaram efeitos positivos de doses de N no acúmulo de N na parte aérea. O acúmulo de N na planta aumentou no tratamento DLBi + DCD em 47,73 kg N ha<sup>-1</sup> no experimento I, e 141,29 kg N ha<sup>-1</sup> no experimento II em relação ao tratamento testemunha. O efeito positivo da aplicação do DLB e da própria fertilização mineral está de acordo com diversos trabalhos realizados com gramíneas (YAGÜE; QUÍLEZ, 2010; BIAU et al., 2012; SIELING et al., 2014; SCHLEGEL et al., 2015), embora a magnitude de resposta varie em função, principalmente, das condições de solo e de clima predominantes em cada situação. Em um estudo realizado na Espanha, Yagüe e Quílez (2010) constataram que a aplicação de dejetos líquidos de

suínos aumentou a produtividade total de MS de trigo em  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  e o acúmulo de N em  $42 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Em milho, Schlegel et al. (2015) verificaram que adubação da cultura com fertilizante mineral ou com dejetos suínos aumentou a produtividade em  $7 \text{ Mg ha}^{-1}$  em relação ao tratamento testemunha. O efeito positivo observado no presente trabalho para a injeção dos DLB, superando a aplicação superficial, tanto na produtividade de grãos como no acúmulo de N, também foi relatado em cevada (MOOLEKI et al., 2002; SORENSEN; AMATO, 2002), milho (BALL COELHO et al., 2006; RUSSELE et al., 2008; FEDEROLF et al., 2016) e trigo (MOOLEKI et al., 2002; NYORD et al., 2012).

A comparação entre adubar as culturas com dejetos líquidos de animais, como suínos com fertilizantes minerais apresenta resultados variáveis na literatura, quanto ao suprimento de N e à produtividade, no trigo (JENSEN et al., 2000), na cevada (SIELING, 2004) e no milho (YAGÜE;QUÍLEZ, 2010), com a adubação orgânica superando a mineral em trigo (SIELING et al., 2014) ou com a melhores resultados na adubação mineral em milho (BIAU et al., 2012) e trigo (MEADE et al., 2011). Tais diferenças devem estar relacionadas às particularidades de cada estudo, envolvendo o modo de aplicação dos dejetos no solo, as características dos dejetos e as condições de solo e clima. A aplicação de fertilizante mineral (NPK) ou orgânico (DLB) aumentou significativamente a produtividade e o acúmulo de N nas culturas de inverno, quando comparada ao tratamento testemunha sem aplicação de fertilizante (SCHIRMANN et al., 2013; GONZATTO et al., 2016). Nos dois cultivos de trigo, a produtividade média de grãos com a injeção dos DLB aumentou em relação à aplicação superficial (GONZATTO et al., 2016).

### **3.2.6 Parâmetros fitométricos do trigo**

Os parâmetros fitométricos de maneira geral foram influenciados pelos tratamentos ( $P > 0,05$ ) (Tabela 5).

A altura das plantas no trigo no experimento I foi significativamente inferior nos tratamentos com DLBs e na testemunha no comparativo com os demais tratamentos que foram superiores e não diferiram entre si (Tabela 5). Já no experimento II, a maior altura foi observada no tratamento NPK, e a menor no tratamento DLBi e testemunha. Estes resultados diferem dos encontrados por Teixeira Filho et al., (2009) que, ao estudarem cinco doses de nitrogênio em adubação de cobertura, constataram que não houve efeito das doses de nitrogênio sobre a altura das plantas de trigo. Os tratamentos

que receberam a aplicação dos dejetos e NPK apresentaram superioridade na altura de planta em relação ao tratamento testemunha, o que pode ser justificável, pois o N participa ativamente na divisão e expansão celular e, do processo fotossintético, sendo o efeito na altura de plantas e inserção de espigas do milho, visível desde a fase de crescimento até que a altura máxima das plantas seja atingida (CASTRO et al., 2008).

Para o índice de colheita, os tratamentos com DLB e NPK não diferiram entre si, mas foram superiores no comparativo com a testemunha. Fageria & Santos (2008), também observaram aumento no índice de colheita do feijão com o aumento na disponibilidade de N, com índices que variaram entre 48 e 68%.

Tabela 5 - Altura de planta (AP), índice de colheita (IC), número de espigas, número de espiguetas, número de grãos por espiguetas e peso de mil sementes (PMS) trigo com diferentes manejos de dejetos líquidos de bovinos no sistema plantio direto.

Tratamentos	AP (m)	IC (%)	Nº espigas	Nº espiguetas	Nº grãos	PMS
Experimento II						
Testemunha	51,5 c	61,3 a	23,4 b	12,5 a	18,0 c	24,2 c
NPK <sup>(1)</sup>	66,2 a	49,3 a	33,5 a	12,6 a	24,4 ab	27,9 b
DLBs	58,2 b	70,3 a	30,9 a	13,5 a	23,5 ab	33,2 a
DLBs + DCD	67,7 a	65,3 a	31,2 a	13,0 a	22,3 b	34,4 a
DLBi	63,5 a	62,0 a	30,9 a	14,6 a	23,4 ab	32,8 a
DLBi + DCD	63,1 a	63,0 a	32,3 a	12,8 a	25,7 a	35,5 a
DMS	5,8	6,9	5,8	3,1	3,9	3,6
CV%	8,4	4,8	8,3	10,4	7,6	4,7
Experimento II						
Testemunha	59,5 c	52,7 b	20,9 c	10,1b	14,7 b	36,5 b
NPK	85,2 a	81,3 a	37,2 a	14,7 a	21 a	37,7 a
DLBs	82,8 ab	83,2 a	30,8 b	14,7 a	22 a	36,8 b
DLBs + DCD	83,4 ab	85,3 a	31,7 b	13,8 a	18,7 ab	36,5 b
DLBi	80,9 b	82,3 a	33,3 ab	14,6 a	19,0 ab	36,6 b
DLBi + DCD	82,5 ab	85,7 a	34,3 ab	13,5 a	17,8 ab	36,7 b
DMS	3,03	7,23	9,60	1,41	4,57	0,47
CV%	1,67	8,75	5,72	4,52	10,52	0,56

<sup>(1)</sup> NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os autores mencionaram também que esses índices variam com os genótipos de feijoeiro e são influenciados pela fertilização nitrogenada. Incrementos do índice de

colheita na cultura de arroz com aumento da dose de N foram obtidos por Fageria (2007).

No experimento I e para os tratamentos fertilizados, o número de espigas e espiguetas no trigo, foram superiores a testemunha, porém não diferindo entre si. Já no experimento II, o maior número de espiguetas foi observado no tratamento NPK, sendo superior aos demais, observa-se também superioridade dos tratamentos injetados em relação aos tratamentos superficiais. Corroborando os resultados encontrado no trigo por Meade et al., 2011, que observou aumento no número de espigas por metro linear com adição de dejetos líquidos de suínos.

O peso de mil sementes foi significativamente influenciado ( $P < 0.05$ ) (Tabela 5). No experimento I, o PMS foi estatisticamente superior nos experimentos com DLB independente do manejo, sendo superior estatisticamente ao NPK e a testemunha, já no experimento II, o tratamento NPK foi estatisticamente superior aos demais tratamentos que não diferiram entre si. Meade et al., (2011) observaram aumento no PMS aplicação de N orgânico via dejetos de suíno e inorgânico com fertilizante mineral. Braz et al. (2006), não observaram diferença estatística no PMS do trigo cultivado em sistema plantio direto em sucessão a diferentes culturas de cobertura e diferem dos resultados relatados por Teixeira Filho et al. (2007), que encontraram efeito significativo de diferentes doses de nitrogênio em cobertura na massa de cem grãos do trigo. Entretanto, o aumento PMS, normalmente associado à maior disponibilidade de nitrogênio durante as fases de floração e início do enchimento de grãos, não garante necessariamente maior produtividade da cultura do trigo (DIDONET et al., 2000). Almeida et al. (1988), mencionam que um suprimento adequado de N estimula o aumento do tamanho potencial das vagens e das sementes.

### **3.2.7 Índices de eficiência**

Os índices de eficiência foram significativamente influenciados pelos tratamentos ( $P < 0,05$ ).

A eficiência agrônômica do N (EAN), em ambos os experimentos foram influenciadas significativamente pelos tratamentos (Tabela 6). No experimento I, como no Experimento II, o tratamento DLBi + DCD foram estatisticamente superiores aos demais tratamentos. A EAN do tratamento DLBi + DCD superou a do NPK em 1,23 kg

grãos  $\text{kg}^{-1}$  N no experimento I, e 2,53 kg grãos  $\text{kg}^{-1}$  no experimento II. O que mostra a eficiência da injeção associada ao DCD na EAN.

A recuperação aparente do N (RAN) diferiu nos tratamentos ( $P < 0,05$ ), a RAN no trigo foi significativamente superior no tratamento DLBi + DCD em ambos os experimentos. O melhor desempenho do tratamento DLBi + DCD no trigo, provavelmente, está relacionada as menores perdas de N por emissão de  $\text{N-NH}_3$  (HUIJSMANS et al., 2003). No trabalho conduzido por Gonzatto (2016), os índices que avaliam a eficiência de uso de N pelas culturas (EAN e RAN) também foram significativamente maiores com a injeção dos DLB do que com a sua aplicação na superfície do solo, evidenciando o benefício agrônômico dessa prática. A resposta ou o efeito positivo relativamente da adição da DCD aos DLB sobre o desempenho das culturas avaliadas vai de acordo com a hipótese inicial deste trabalho, isso também foi constatado em outro trabalho envolvendo a adição de DCD a dejetos de suínos aplicados na superfície do solo no milho e no trigo (SCHIRMANN et al., 2013).

Tabela 6 - Eficiência agrônômica do N (EAN), recuperação aparente do N (RAN), índice de eficiência fisiológica (EF) e eficiência de utilização do N (EUN) pelo trigo sob diferentes manejos do dejetos líquido de bovinos em plantio direto.

Experimento I	EAN	RAN	EF	EUN
	-----%-----			
Testemunha	-	-	-	-
NPK	2,9 b	27,2 bc	39,8 a	10,3 ab
DLBs	3,3 b	23,4 c	33,2 ab	7,3 d
DLBs + DCD	3,8 ab	33,4 b	29,5 ab	9,5 bc
DLBi	3,7 ab	23,4 c	37,9 a	8,8 c
DLBi + DCD	4,2 a	44,1 a	25,4 b	11,2 a
Experimento II	EAN	RAN	EF	EUN
Testemunha	-	-	-	-
NPK	9,5 b	116,2 ab	34,5 a	39,9 a
DLBs	8,3 b	82,6 cd	38,7 a	31,5 b
DLBs + DCD	8,2 b	99,4 bc	36,4 a	35,9 ab
DLBi	7,8 b	69,1 d	38,0 a	24,7 c
DLBi + DCD	12,1 a	128,5 a	30,8 a	39,5 a

<sup>(1)</sup> NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A superioridade da injeção, comparada à aplicação superficial de DLB, também é relatada por Ball Coelho et al. (2006), com valores que variaram entre 3 e 4,5 kg de grão  $\text{kg}^{-1}$  N. O efeito positivo da injeção de DLB na eficiência de uso do N dos mesmos

confirma resultados obtidos em pastagem (GROOT et al., 2007; KLOP et al., 2012), milho (BALL COELHO et al., 2006; FEDEROLF et al., 2016), canola, trigo e cevada (MOOLEKI et al., 2002). Ao inibir a nitrificação a DCD preserva o N na forma de  $N-NH_4^+$  por maior período de tempo mantendo-o mais acessível à absorção pelo trigo (SHEPHERD et al., 2012). Além disso, Watson e Miller (1996) ressaltam que o custo energético para absorção do  $N-NH_4^+$  pelas plantas é menor, quando comparado ao  $NN-NO_3^-$ . Esse efeito é confirmado por outros trabalhos mostrando que a DCD aumentou a produtividade e o acúmulo de N quando aplicada ao solo juntamente com dejetos suínos (FEDEROLF et al., 2016), bovinos em milho (SCHRÖDER et al., 2007), e com urina em pastagem (MOIR et al., 2012; SHEPHERD et al., 2014). A eficiência da DCD vai depender de vários fatores, como temperatura (KIM et al., 2012), regime de precipitação pluviométrica (SHEPHERD et al., 2014), características de solo (MCGEOUGH et al., 2015), além da forma como o produto é aplicado aos dejetos no solo (MCCORMICK et al., 1984; SCHIMITT ET AL., 1995) evidencia a necessidade de ampliar os estudos com esse produto para as condições de solo e clima do Sul do Brasil, e reforçam a recomendação de Vallejo et al. (2005) de que para maximizar a efetividade da DCD ela deve ser aplicada preferencialmente em climas com temperatura amena e seguido por períodos com baixa precipitação.

O índice de eficiência fisiológica não diferiu no experimento II, e no experimento I, foi superior nos tratamentos NPK e DLBi, Santos & Fageria, 2007 observaram maior eficiência fisiológica no feijão com doses de N.

A eficiência de uso do N (EUN) diferiu estatisticamente ( $P < 0.05$ ). Em ambos, os experimentos, observa-se superioridade na eficiência do uso do N nos tratamentos DLBi + DCD e NPK. Meade et al., 2011, em estudos com dejetos líquidos de suínos no trigo, observaram valores de EUN entre 60 e 77%. A média de EUN neste estudo foi de 67% um pouco acima quando comparada com outros dados de campo recentes que apresentaram uma variação de 50 a 60% (POWLSON et al., 1992, BLANKENAU; KUHLMANN, 2000; GUTSER et al., 2005). Resultados semelhantes foram obtidos por Seiling (2004) que relataram altos níveis de EUN inorgânicos que variou de 52 a 70% e menores valores de eficiência para os dejetos de suínos de 38 a 45%. Sørensen e Amato (2002) atribuíram a EUN inferior no dejetos líquidos de suínos devido à imobilização de  $N-NH_4^+$  durante a decomposição da matéria orgânica do dejetos logo após a aplicação ao solo.

A média da EUN do N dos dejetos de suínos encontrada por Nicholson et al. (1999) foi de 48%, mas segundo a literatura pode variar entre 22 a 68%, além disso, valores mais baixos de 12-21% foram relatadas por Sieling et al. (1998).

Considerando-se o alto teor de N amoniacal no solo nos experimentos era de se esperar uma maior EUN. O fato de isso não ter ocorrido pode estar associado as perdas de N por emissão de amônia, como também a própria lixiviação de N já que se observou uma precipitação 2 a 3 vezes acima da média, para os meses de junho e agosto. Uma combinação de ambos fatores pode justificar esses níveis baixos UEN (MEADE et al., 2011).

### 3.3 CONCLUSÃO

- a) A injeção de dejetos líquidos de bovinos no solo reduz a emissão de amônia nas condições de Latossolo e Argissolo cultivados com trigo no sistema plantio direto.
- b) A injeção dos DLB no solo em SPD aumenta a eficiência de uso do N dos DLB pela cultura do trigo.
- c) A eficiência do inibidor de nitrificação DCD e da injeção pode ser comprovada nos dois experimentos sob condições de clima e solo diferentes.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. R. et al. Injection of DCD-treated pig slurry reduced NH<sub>3</sub> volatilization without enhancing soil N<sub>2</sub>O emissions from no-till corn in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**. v. 43, p. 789-800, 2014.

ALMEIDA, A. A. F. et al. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e três níveis de luz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.837-847, 1988.

ASSING, J. et AL. Assesment of nitrogen losses from urea and na organic maure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 535-541, 2008.

BALL COELHO, B. R. et al. Nitrogen recovery and partitioning with different rates and methods of sidedressed manure. **Soil Science Society of America Journal**. v.70, 464-473, 2006.

BAGGS, E. M. Soil microbial sources of nitrous oxide: recent advances in knowledge, emerging challenges and future direction. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 3, p. 321-327, 2011.

BASSO, C.J. **Perdas de nitrogênio e fósforo com aplicação no solo de dejetos líquidos de suínos**.2003. 125f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria.

BARUA, S.K. HAQUE S.M.S. Soil characteristics and carbon sequestration potentials of vegetation in degraded hills of Chittagong, Bangladesh. **Land Degradation and Development**, v. 24, n.1, p. 63-71, 2013.

BIAU, A. et al. The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions. **European Journal of Soil Biology**. v.53, p.56-61, 2012.

BLANKENAU, K.; KUHLMANN, H. Effect of N supply on apparent recovery of fertiliser N as crop N and N-min in soil during and after cultivation of winter cereals. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.163, p. 91–100, 2000.

BRAZ, A. J. B. P. et al. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

BOUWMAN, A. F. et al. Nutrient dynamics, transfer and retention along the aquatic continuum from land to ocean: towards integration of ecological and biogeochemical models, **Biogeosciences**, v.10, p. 1–23, 2013.

BORK, E. W. et al. Soil mineral nitrogen responses following liquid hog manure application to semiarid forage lands. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 93, p. 369-378, 2013.

BRONSON, K.F. et al. Control of ammonia volatilization with N- (n-butyl) thiofosforic triamide in loamy sands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.20, p.1439-1459, 1989.

CAMERON, K.C. et al. Treating grazed pasture soil with a nitrification inhibitor ‘ECO-N’ to decrease nitrate leaching. In: Currie, L.D., Hanly, J.A. (Eds.), **Developments in Fertilizer Application Technologies and Nutrient Management**. Fertilizer and Lime Research Centre Occasional Report No. 18. Massey University Palmerston, North New Zealand, p. 93–103, 2005.

CASTRO, P. R. C. et al. Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2008. 864 p.

CHANTIGNY, M.H., D. et al. Evidencing overwinter loss of residual organic and clay-fixed nitrogen from spring-applied, <sup>15</sup>N-Labelled pig slurry. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 94, p. 1-8, 2014.

- CHANTIGNY, M.H. et al. Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with  $^{15}\text{N}$ . **Soil Science Society of America Journal**. 68:637-643, 2004.
- CHANTIGNY, M.H. et al. Gaseous N emissions and forage N uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. **Journal of Environmental Quality**, v.36, p. 1864–1872, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DE SOLO (CQFS RS/SC). Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Porto Alegre, 2004.
- CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.G. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals grown in different climates. In: Tinker PB, Lauchil A (eds) **Advanced Nutrients**, vol 1, Praeger Publishers, USA, v. 1, p 1-56, 1984.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Editora UFV, Viçosa (MG), v.1, p. 382. 2006.
- DAWSON, J. C. et al. Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. **Field Crops Research**, v. 107, n. 2, p. 89-101, 2008.
- DAVIES, D.M.; WILLIAMS, P.J. The effect of the nitrification inhibitor dicyandiamide on nitrate leaching and ammonia volatilization: a UK nitrate sensitive areas perspective. **Journal of Environmental Management**, v.45, p. 263–272, 1995.
- 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, p.352-361, 2011.
- DELL, C.J. Low disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss. **Journal of Environmental Quality**, v.41, p. 928-937, 2012.
- DI H.J.; CAMERON K.C. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures? **Soil Use and Management**, v.28, p.54–61, 2012.
- DI, H.J. et al. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor – a lysimeter study. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 79, 281–290, 2007.
- DIDONET, A. D. et al. Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos, em trigo submetido à inoculação de *Azospirillum*. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 35, p. 401- 411, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Embrapa. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos** (Boletim técnico) Embrapa, Rio de Janeiro, 2013.

- FAGERIA, N. K.; SANTOS, A. B. D. Yield physiology of dry bean. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p. 983-1004, 2008.
- FAGERIA, N. K. et al. Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciados pela fertilização nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 1029-1034, jul. 2007.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n.1, p. 6-16, 1998.
- FEDEROLF, C. P. et al. Enhanced nutrient use efficiencies from liquid manure by positioned injection in maize cropping in northwest Germany. **European Journal of Agronomy**. v.75, p.130-138, 2016.
- FRANCO et al. Application of cattle manure as fertilizer in pastureland: Estimating the incremental risk due to metal accumulation employing a multicompartment model. **Environment International**, v. 32, n. 6, p. 724-732, 2006.
- GIACOMINI, S. J. et al. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 761-768, 2009.
- GHOLAMHOSEINI et al. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. **Soil and Tillage Research**, v.126, n.1, p. 193–202, 2013.
- GONZATTO, S. R. **Eficiência de uso do nitrogênio por gramíneas em função do modo de aplicação de dejetos suínos no solo e do uso de inibidor de nitrificação**. 2016. 86 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2016.
- GORDON, R. et al. Effects of surface manure application timing on ammonia volatilization. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p. 525–533, 2001.
- GROOT, J.C.J. Interpretation of results from on-farm experiments: manure-nitrogen recovery on grassland as affected by manure quality and application technique. 1. An agronomic analysis. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**.v.54, p. 235-254, 2007.
- GUTSER, R. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. **Journal of Plant Nutrition**. Soil Sci. v.4, p.168, 2005.
- HEFFER, P.; PRUD'HOMME, M. Fertilizer outlook 2014–2018: Paris, France, **International Fertilizer Industry Association**, June 18, 9 p. 2014.
- HEATHWAITE, L. et al. A conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scales. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, n.1, p.158-166, 2000.

HUIJSMANS, J. F. M. et al. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 3669-3680, 2003.

HOEKSTRA, N.J. et al. Slurry 15NH<sub>4</sub>-N recovery in herbage and soil: Effects of application method and timing. **Plant Soil**. v.33, p.357-368, 2010.

IBGE 2014 IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário. Produção da pecuária municipal 2014. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acesso em 25 de novembro de 2017.

JANZEN, H.H. et al. The Health of Our Air—Toward Sustainable Agriculture in Canada, **Research Branch**, Agriculture and Agricultural Food Canada, Ottawa, ON, 1981.

JACKSON, D.R.; SMITH.K.A. Animal manure slurries as a source of nitrogen for cereals; effect of application time on efficiency. **Soil Use and Management**. v.13, p. 75-81, 1998.

JENSEN. L.S. Turnover and fate of 15N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. **European Journal of Agronomy**. v.12, p. 23-35, 2000.

KETTERINGS, Q.M. et al. Can manure replace the need for starter nitrogen fertilizer? **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1597–1605, 2013.

KUNZ, A. et al. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 22, p. 5485-5489, 2009.

KELLIHER, F. M. et al. The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, p.1878-1882, 2008.

KIEHL, J. Manual de edafologia: relações solo-planta. São Paulo: **Agronômica CERES**, 1979.

KIM, D.G. et al. Fate of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) sprayed on a grazed pasture: effect of rate and time of application. **Soil Research**. v.50, p.337-347, 2012.

KLOP, G. et al. Application technique affects the potential of mineral concentrates from livestock manure to replace inorganic nitrogen fertilizer. **Soil Use and Management**. 28:468-477, 2012.

LAZCANO, C. Soil nitrous oxide emissions in forage systems fertilized with liquid dairy manure and inorganic fertilizers. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.225, n.1, p. 160-172, 2016.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, London, v. 3, n. 4, p. 128-129, 1954.

LESSCHEN, J. O. et al. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. **Animal Feed Science and Technology**, v.166-167, p.16-28, 2011.

LINQUIST, B. et al. An agronomic assessment of greenhouse gas emissions from major cereal crops. **Global Change Biology**, v.18, n.1, p. 194–209, 2012.

LIU, R. et al. 2014. Runoff characteristics and nutrient loss mechanism from plain farmland under simulated rainfall conditions. **Science of The Total Environment**, v. 468-469, n. 15, p. 1069-1077, 2014.

LOCKYER, D.R.; WHITEHEAD, D.C. Volatilization of ammonia from cattle urine applied to grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p. 1137–1142, 1990.

MCCORMICK, R.A. et al. Increased N efficiency from nitrapyrin added to liquid swine manure used as a fertilizer for corn. **Agronomy Journal**, v.76, n.6, p.1010–1014, 1984.

MATSUNAKA, T. et al. Ammonia volatilization factors following the surface application of dairy cattle slurry to grassland in Japan: Results from pot and field experiments. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 54, p. 627-637, 2008.

MCGEOUGH, K.L. et al. Evidence that the efficacy of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) is affected by soil properties in UK soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 94, p. 222-232, 2015.

MARSHALL, S. B. et al. Ammonia volatilization from tall fescue pastures fertilized with broiler litter. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.1125-1129, 1998.

MEADE, G. et al. An evaluation of the combined usage of separated liquid pig manure and inorganic fertiliser in nutrient programmes for winter wheat production. **European Journal of Agronomy**, v.34, p.62-70, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 395 p.

MISSELBROOK, T. H. et al. Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: results of some UK field-scale experiments. **Biosystems Engineering**, v. 81, n. 3, p. 313-321, 2002.

MOAL, J. F. et al. Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. **Journal of Agricultural Science**, v. 125,p. 245-252, 1995.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura**, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.

MOIR, J.L.B. et al. The effect of dicyandiamide on pasture nitrate concentration, yield and N offtake under high N loading in winter and spring. **Grass and Forage Science**. v. 67, p. 391-402, 2012.

MOIR, J. L. et al. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 111-120, 2007.

MOOLEKI, S.P. et al. Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, v.82, p. 57-467, 2002.

MAGUIRE, R.O. et al. Manure application technology in reduced tillage and forage systems: A Review. **Journal of Environmental Quality**, v.40, p. 292-301, 2011.

MKHABELA, M. S. et al. Ammonia and nitrous oxide emissions from two acidic soils of Nova Scotia fertilized with liquid hog manure mixed with or without dicyandiamide. **Chemosphere**, v.65, p. 1381-1387, 2006.

NDEGWA, P.M., et al. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. **Biosystems Engineering**, v.100, n.4, p. 453-469, 2008.

NRCS. **Agricultural Waste Management Systems in Agricultural Waste Management Field Handbook**. Natural Resources Conservation Services. United States Department of Agriculture. 2015.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest. **Plant and Soil**, v. 39, p. 309-318, 1973.

NICHOLSON, F. A. et al. Heavy metals contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales. **Bioresource Technology**, Arkansas, v. 70, p. 23-31, 1999.

NYORD, T., M.N. et al. Ammonia volatilization and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injection animal slurry to winter wheat. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.160, p. 75-81, 2012.

PAHL, O. et al. Cost-effective pollution control by shallow injection of pig slurry into growing crops. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.80, p.381-390, 2001.

PANAULLAH, G.M. et al. Nutrient uptake and apparent balances for rice-wheat sequences. III. Potassium. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.173-187, 2006.

PERALA, P. Influence of slurry and mineral fertiliser application techniques on N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes from a barley field in southern Finland. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 117, p. 71-78, 2006.

PETERSEN, D. G. Abundance of microbial genes associated with nitrogen cycling as indices of biogeochemical process rates across a vegetation gradient in Alaska. **Environmental Microbiology**. v.14, p. 993-1008, 2012.

POWLSON, D. S. Influence of soil type, crop management and weather on the recovery of <sup>15</sup>N-labelled fertilizer applied to winter wheat in spring. **The Journal of Agricultural Science**. v. 118, p.83-100, 1992.

PUJOL, S. B. **Emissão de amônia e dinâmica do nitrogênio no Solo com parcelamento da dose e adição de Inibidor de nitrificação em dejetos de suínos**. 2012. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

PUTTANNA, K. et al. Effects of applications of N fertilizers and nitrification inhibitors on dry matter and essential oil yields of Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt.). **Journal of Agricultural Science**, v. 136, p. 427-431, 2001.

RAMBO, L. et al. Monitoramento do nitrogênio na planta e no solo para predição da adubação nitrogenada em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 407-417, 2007.

RAMAKRISHNAN, C. et al. The effect of urease and nitrification inhibitors on the pasture yield and soil N levels of urine patches. In: Implementing Sustainable Nutrient Management Strategies in Agriculture. L.D. Currie and J.A. Hanly (eds.). **Fertilizer and Lime Research Centre**, Massey University, Palmerston North, New Zealand, p. 187-196, 2006.

RAO, P. E.V.S.; PUTTANNA, K. Nitrification and ammonia volatilisation losses from urea and dicyandiamid-treated urea in a sandy loam soil. **Plant and Soil**, v.97, p.201-206, 1987.

RAUN, W.R.; JOHNSON, G.V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**. v.91, p. 357-363, 1999.

ROCHETTE, P., D.A. et al. Gasser, and N. Bertrand. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 84, p. 71-80, 2009.

RODGERS, G.A. Effect of dicyandiamide on ammonia volatilisation from urea in soil. **Fertilizer Research**, v.4, p. 361-367, 1983.

RUSSELLE, M, et al. Nitrogen availability from liquid swine and dairy manure: results of on-farm trials in Minnesota. Disponível em: <<http://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrientmanagement/nitrogen/nitrogenavailability-from-liquid-swine-and-dairy-manure/>>. Acesso em 04 fev. 2017.

RICE, C.W.; TIEDJE, J.M. Regulation of nitrate assimilation by ammonium in soils and in isolated soil microorganisms. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 21, p. 597-602, 1989.

SCHRÖDER, J.J. et al. Long-term nitrogen fertilizer replacement value of cattle manures applied to cut grassland. **Plant Soil**, p. 299, v.83-99, 2007.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N.K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1237-1248, 2007.

SEILING, K. Growth stage-specific application of slurry and mineral N to oilseed rape, wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**. v.142, p. 495-502, 2004.

SCHLEGEL, A.J. Corn response to long term applications of cattle manure, swine effluent, and inorganic nitrogen fertilizer. **Agronomy Journal**. v.107, p. 1701-1710, 2015.

SEILING, K. ET AL. Application of pig slurry-First year and residual effects on yield and N balance. **European Journal of Agronomy**, v.59, p. 13-21, 2014.

SEILING, K.et al. Yield, N uptake, and apparent N-use efficiency of winter wheat and winter barley grown in different cropping systems, **Journal of Agricultural Science**. v.131, p.375–387, 1998.

SEILING, K. Growth stage-specific application of slurry and mineral N to oilseed rape, wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**. v.142, p. 495–502, 2004.

SINGH, J. et al. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. **Developments in Soil Science**, 32: 329-362, 2008.

SMITH, E., R. Management strategies to simultaneously reduce ammonia, nitrous oxide and odour emissions from surface-applied swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v 88, p. 571–584, 2008.

SCHIRMANN, J., C. 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, p.271-280, 2013.

SCHIMITT, M.A.Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. **Journal of Production Agriculture**. v. 8, p.2, 1995.

SHARPE, R. R.Atmospheric pollutants and trace gases.**Journal of Environmental Quality**, v.33, p.1183-1188, 2004.

SHERLOCK, R.R.; GOH, K.M., Dynamics of ammonia volatilisation from simulated urine patches and aqueous urea applied to pasture, **Fertiliser Research** 5, 181-195, 1984.

SHEPHERD, M. et al. Effect of soil type and rainfall on dicyandiamide concentrations in drainage from lysimeters. **Soil Research**.v.50, p.67-75, 2012.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service**, U.S. Gov. Print.Office, Washington, DC, 2014.

SILVER W.L. et al. Dissimilatory nitrate reduction to ammonium in upland tropical forest soils. **Ecology**, v.82, p. 2410-2416, 2001.

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.

SUTTON, M.A. et al. Too much of a good thing. **Nature**, v.472, p. 159–161, 2011.

SIELING, K. ET AL. Application of pig slurry-First year and residual effects on yield and N balance. **European Journal of Agronomy**, v.59, p. 13-21, 2014.

SILVA, A. N. et al. Pig slurry composting as a nitrogen source in proso millet crop. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, v.46, n.1, p.80-88, 2016.

SIMS, J. T., L. et al. Nutrient management for intensive animal agriculture: Policies and practices for sustainability. **Soil Use Management**. v. 21, p. 141-151, 2005.

SINGH, S. N.; VERMA, A. The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: A review. **Environmental Practice**, v. 9, p. 266-279, 2007.

SMITH, E., R. Management strategies to simultaneously reduce ammonia, nitrous oxide and odour emissions from surface-applied swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v 88, p. 571–584, 2008.

SINGH, J.; SAGGAR, S.; BOLAN, N. S. Influence of dicyandiamide on nitrogen transformation and losses in cow-urine-amended soil cores from grazed pasture. **Animal Production Scienci**, 49:253-261, 2009.

SUBBARAO, G.V. et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.25, n.4, p.303-335, 2006.

SPELLMAN, F.R., WHITING, N.E. **Environmental Management of Concentrated Animal Feeding Operations (CAFOs)**. CRC Press, Florida, 2007.

TAO, X.; et al. Dicyandiamide application plus incorporation into soil reduces N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from anaerobically digested cattle slurry. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 169-174, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, (Boletim Técnico, 5), 174p, 1995.

TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; SA, M.E.; ARF, O.; MEGDA, M.M. Response of Irrigated Wheat Cultivars to Different Nitrogen Rates and Sources. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1303-1310, 2009.

THIVIERGE, M.N. et al. Sweet pearl millet and sweet sorghum have high nitrogen uptake efficiency under cool and wet climate. **BioEnergy Research**, v.102, n. 2, p. 195-208, 2015.

THILAKARATHNA, M.S. et al. Management of manure nitrogen using cover crops. **Agronomy Journal**. v. 107, p. 1595–1607, 2015.

USDA, 2015. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture, <http://www.fas.usda.gov/>

VADAS, P.A.; POWELL, J.M. Monitoring nutrient loss in runoff from dairy cattle lots. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.181, p.127–133, 2013.

VITKO, T.G. **Expected quality of dairy wastewater based on the characterization of a dairy farm in Chino**, California. Oakland: CWEA, (Technical Articles), 1999.

VALLEJO, A., G.L. et al. Comparison of N losses (NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. **Plant Soil**, v. 272, p. 313-325, 2005.

VERTREGT, N.; RUTGERS, B. **Ammonia volatilization from urine patches in grassland**. In Volatile emissions from livestock farming and sewage operations, Eds VC Nielsen, JH Voorburg, P L'Hermite, Elsevier, London, p 85-91, 1987.

VELTHOF, G. L.; MOSQUERA, J. The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 298-308, 2011.

VIANA, E. M.; KIEHL, J. C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n.4, p.975-982, 2010.

WATSON, J.C.; MILLER, H. Short-term effects of urea amended with the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide on perennial ryegrass. **Plant Soil**, v.184, p.33-45, 1996.

WATSON, C.J. et al. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (nBTPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and forage science**. v. 53, p. 137-145, 1998.

WATSON, C. J. **Urease activity and inhibition: principles and practice**. London: The International Fertilizer Society, 2000

WHITEHEAD, D. C. **Grassland nitrogen**. Wallingford: CAB International, 1995. 352 p.

YAGÜE, M.R.; QUÍLEZ, D. Response of maize yield, nitrate leaching, and soil nitrogen to pig slurry combined with mineral nitrogen. **Journal of Environmental Quality**, v.39, p.686-696, 2010.

YANG, Z. et al. Measurement of ammonia volatilization from a field, in upland Japan, spread with cattle slurry. **Environmental Pollution**, v.121, p.463-467, 2003.

YAGÜE et al., Dairy cattle manure effects on soil quality: porosity, earthworms, aggregates and soil organic carbon fractions. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 7, p. 1753-1762, 2016.

YU, Y.; JIA, Z. Q. Changes in soil organic carbon and nitrogen capacities of *Salix cheilophila* Schneid along a revegetation chronosequence in semi-arid degraded sandy land of the Gonghe Basin, Tibet Plateau. **Solid Earth**, v.5, n.1, p. 1045-1054, 2014.

XU, W. Molecular mapping of QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **Genome**, v. 43, p.461–469, 2000.

ZAMAN, et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.1270–1280, 2009.

ZAMAN, M. et al. Nitrous oxide generation, denitrification and nitrate removal in a seepage wetland intercepting surface and subsurface flows from a grazed dairy catchment. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, p. 565–577, 2008.

ZAMAN, M. et al. Can soil amendments (zeolite or lime) shift the balance between nitrous oxide and dinitrogen emissions from pasture and wetland soils receiving urine or urea-N. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, p.543–553, 2009.

ZAMAN, M.; BLENNERHASSET, J. D. Effects of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.136, p. 236-246, 2010.

ZAMAN, M. et al. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and ammonium fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.63, p. 275–290, 2002.

ZHENGPING, W. Effect urease inhibitors on urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Biology and Fertility of Soils**, v.11, p.43-47, 1991.

#### **4 ARTIGO 2 - MANEJO DO DEJETO LÍQUIDO DE BOVINOS SOBRE AS EMISSÕES DE AMÔNIA, UTILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO E NA PRODUTIVIDADE FINAL DO MILHO.**

##### RESUMO

O efeito da aplicação de dejetos líquidos de bovinos (DLB) via injeção no solo combinado com um inibidor de nitrificação, como a dicianodiamida (DCD) ainda é pouco documentado nas condições do Sul do Brasil. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar como o modo de aplicação (injeção x superficial) do DLB no solo em sistema de plantio direto (SPD) afeta a emissão de amônia ( $N-NH_3$ ) dos DLB no sistema, bem como esta prática combinada com DCD pode afetar a EUN, parâmetros de planta e a produtividade de milho. Dois estudos foram conduzidos a campo em dois locais distintos pertencentes à Universidade Federal de Santa Maria, um em Frederico Westphalen, RS, num Latossolo Vermelho distrófico, e o outro em Santa Maria, RS, em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico, no delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições dos seguintes tratamentos: DLB aplicados na superfície do solo (DLBs), DLBs+ DCD, DLB injetados (DLBi), DLBi + DCD, testemunha e adubação mineral (NPK) em superfície. Os estudos foram conduzidos simultaneamente nos dois locais. A aplicação dos DLB foi realizada de forma manual com regadores, enquanto a injeção foi mecanizada, na profundidade de 8-11 cm. A dose de DCD utilizada foi de  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ , misturada aos DLB instantes antes da aplicação no solo. Comparada à aplicação em superfície, a injeção dos DLB no solo mostrou-se eficiente na redução de emissões de  $N-NH_3$  para a atmosfera. A eficiência da injeção foi maximizada quando combinada com DCD, aumentando a retenção de  $N-NH_4^+$  no sistema, também aumentou a recuperação aparente de N (103%), a eficiência agrônômica do N aplicado com os DLB e a produtividade das culturas em comparação à aplicação superficial. O melhor desempenho das culturas ocorreu no tratamento com a injeção de DLB + DCD (DLBi + DCD), além disso, esta prática foi eficiente em reduzir as perdas de N por emissão de amônia ( $N-NH_3$ ), garantindo maior disponibilidade de N às plantas. Diante desses resultados, a injeção dos DLB + DCD no solo em SPD, constitui uma alternativa de manejo promissora, em relação à aplicação na superfície do solo, quanto a EUN, produtividade e parâmetros de planta no milho bem como são benéficos, como também na redução de emissão de  $N-NH_3$ .

Palavras-chave: Injeção de Dejetos. Dicianodiamida. Produtividade de Culturas. Plantio Direto.

## ABSTRACT

The effect of the application of bovine liquid manure (DLB) via soil injection combined with a nitrification inhibitor, such as dicyandiamide (DCD), is still poorly documented in Southern Brazil. The application of DLB in the soil in no-tillage system (SPD) affects the ammonia emission (N-NH<sub>3</sub>) of the DLB in the system, as well as this practice combined with DCD can affect the EUN, Corn productivity. Two studies were conducted in the field at two distinct sites belonging to the Federal University of Santa Maria, one in Frederico Westphalen, RS, in a dystrophic Red Latosol, and the other in Santa Maria, RS, in an Alumínico (DLBs), DLBs + DCD, injected DLB (DLBi), DLBi + DCD, control and mineral fertilization (NPK) on the surface. The studies were conducted simultaneously at both sites. The application of DLB was performed manually with irrigators, while the injection was mechanized, at depth of 8-11 cm. The DCD dose used was 7 kg ha<sup>-1</sup>, mixed to the DLB instants before application to the soil. Compared to surface application, DLB injection in the soil proved to be efficient in reducing N-NH<sub>3</sub> emissions to the atmosphere. The efficiency of the injection was maximized when combined with DCD, increasing N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention in the system, also increased apparent N recovery (103%), N agronomic efficiency applied with DLBs and crop productivity compared to N Surface application. The best performance of the crops occurred in the treatment with DLB + DCD injection (DLBi + DCD). In addition, this practice was efficient in reducing N losses by volatilization of ammonia (N-NH<sub>3</sub>), guaranteeing greater N availability at Plants. In view of these results, the injection of DLB + DCD in soil in SPD is a promising alternative to soil surface application for EUN, productivity and plant parameters in maize as well as in the Reduction of N-NH<sub>3</sub> emission.

Keywords: Waste Injection. Dicianodiamide. Productivity of Cultures. Planting Direct.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de leite é uma importante atividade econômica e social no Brasil, especialmente na região Sul, onde está concentrada a maior bacia leiteira do país (IBGE, 2014). Essa atividade está alicerçada principalmente na pequena propriedade rural e sua intensificação têm gerado grandes volumes de dejetos líquidos de bovinos

(DLB) (LAZCANO et al., 2016). Estes por sua vez acumulam grandes quantidades de nutrientes, principalmente nitrogênio (N), que além de ser essencial às plantas, é altamente dinâmico no ambiente e tem sido alvo de muitos estudos pelo potencial poluente, se tornando assim um dos fatores chave a sustentabilidade e viabilidade destas atividades (BOUWMAN et al., 2013; PUJOL, 2012).

Em regiões onde se desenvolve a atividade leiteira, se tem tradicionalmente o cultivo do milho silagem para produção de silagem principalmente no verão e algumas forrageiras nos invernos como o azevém. Essas duas principais culturas gramíneas são altamente exigentes em N e a reutilização do DLB tem sido apontado com a principal fonte de nutrientes, principalmente N (PETTYGROVE et al., 2009; LAZCANO et al., 2016). Porém, a eficiência do N produzido pelos DLB é baixa, isto é, apenas 20 a 50% do N excretado pelos animais é recuperado pelas culturas (VAN DER HOEK, 1998; OENEMA et al., 2005; MA et al., 2010;.). Grande parte desses N é perdido para o ambiente na forma de amônia ( $N-NH_3$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) e nitrato ( $N-NO_3^-$ ) (SMOLDER et al., 2010). Por isso, o DLB contribui com 65% das emissões antropogênicas globais de  $N_2O$  e com emissões superiores a 75% de amônia ( $N-NH_3$ ) (MOAL et al., 1995; ASGEDOMET et al., 2014; HARRIS et al., 2016; BELYAEV et al., 2016). Tais perdas de N, principalmente ( $N-NH_3$ ), são potencializadas nas condições de sistema plantio direto (SPD), onde o DLB é aplicado sob os resíduos culturais e mantido na superfície do solo da cultura anterior o que potencializa prejuízos econômicos e ambientais (ROCHETTE et al., 2009).

Buscando aumentar a eficiência de utilização do N do solo proveniente dos dejetos de animais sob SPD, a injeção dos DLB no solo constitui uma estratégia promissora, podendo melhorar a EUN pelas plantas (LAZCANO et al., 2016), já que esta prática pode reduzir em até 90% a emissão de  $N-NH_3$  (DELL et al., 2012; AITA et al., 2014; GONZATTO et al., 2013), já que estudos mostram que com a injeção do DLB a emissão de  $N-NH_3$  pode ser 27 vezes menor em relação a aplicação superficial (DAMASCENO, 2010), além de diminuir o escoamento superficial (MAGUIRE et al., 2011). Outra estratégia utilizada para preservar o potencial fertilizante do DLB com relação ao N é a adição do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD) antes de sua injeção (VALLEJO et al., 2005). Estes inibidores retardam a oxidação microbiana do  $N-NH_4^+$  (ASING et al., 2008), com a inibição temporária da oxidação de  $N-NH_4^+$  para  $N-NO_3^-$ , podendo assim, melhorar o sincronismo entre a aplicação (geralmente pré semeadura) e a demanda pela cultura. Com isso, a utilização dessa ferramenta oferece

flexibilidade para alternativas de manejo, melhorando a eficiência dos dejetos como fertilizante e proporcionando maior fornecimento de N às plantas (Liet al., 2009; DI; CAMERON, 2012)

No Brasil, a maior parte dos estudos sobre injeção líquida de dejetos no solo e uso de inibidores de nitrificação em culturas anuais como o milho, tem sido realizado com dejetos de suínos (VELTHOF; MOSQUERA, 2011; DELL et al., 2012; NYORD et al., 2012; AITA et al., 2014), existindo nenhum ou pouco trabalho com dejetos líquidos de bovinos. Além disso, a maioria dos trabalhos tem focado nas emissões gasosas, e em menor intensidade na resposta agrônômica e no acúmulo de N, principalmente culturas como o milho.

Estudar como a injeção no solo do DLB acrescida do DCD em SPD afeta os parâmetros de planta no milho, o acúmulo do N e produtividade bem como, a emissão de amônia é fundamental para estabelecer recomendações de aplicação de DLB nas condições subtropicais do Sul do Brasil, pois é uma prática que atualmente vem sendo introduzida como alternativa compatível com o SPD nessa região. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o modo de aplicação dos DLB ao solo em SPD combinado ou não utilização do inibidor de nitrificação DCD, sobre a eficiência de uso do N, emissões de N-NH<sub>3</sub>, parâmetros de planta e na produtividade do.

## **4.2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo em SPD em dois locais diferentes no ano agrícola de 2015/2016, um na região Noroeste e outro na região Central do estado Rio Grande do Sul como será descrito detalhadamente a seguir.

### **4.2.1 Experimento I - Frederico Westphalen**

#### **4.2.2 Local clima e solo**

O Experimento I foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, cujas coordenadas são 27° 23' S e 53° 25' W, a uma altitude de 566 metros. O clima do local é subtropical úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen (MORENO 1961). Os dados

meteorológicos para as temperaturas médias do ar, precipitação diária, irrigação, e espaço poroso do solo saturado por água (% EPSA) são apresentados na Figura 1.

O solo da região é classificado como Rhodic Hapludox soil (SOIL SURVEY STAFF, 2014) ou Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013). Na instalação do experimento, a amostragem de solo na camada de 0,00-0,10 m, apresentava as seguintes características: argila  $654,0\text{g kg}^{-1}$ ;  $\text{pHH}_2\text{O}$  5.1; índice SMP 5.6; fósforo  $5.5\text{ mg dm}^{-3}$ ; potássio  $64.8\text{ mg dm}^{-3}$ ; alumínio  $0.2\text{ cmolc dm}^{-3}$ ; acidez potencial  $5.5\text{ cmolc dm}^{-3}$ ; CTC efetiva  $7.94\text{ cmolc dm}^{-3}$ ; saturação por bases 57,22 %; e matéria orgânica  $28,4\text{ g kg}^{-1}$ .

A área experimental vinha sendo conduzida há 12 anos sob SPD com a sucessão trigo (*Triticum aestivum* L.), soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays* L.), sendo a cultura anterior à semeadura do milho, a cultura do trigo.

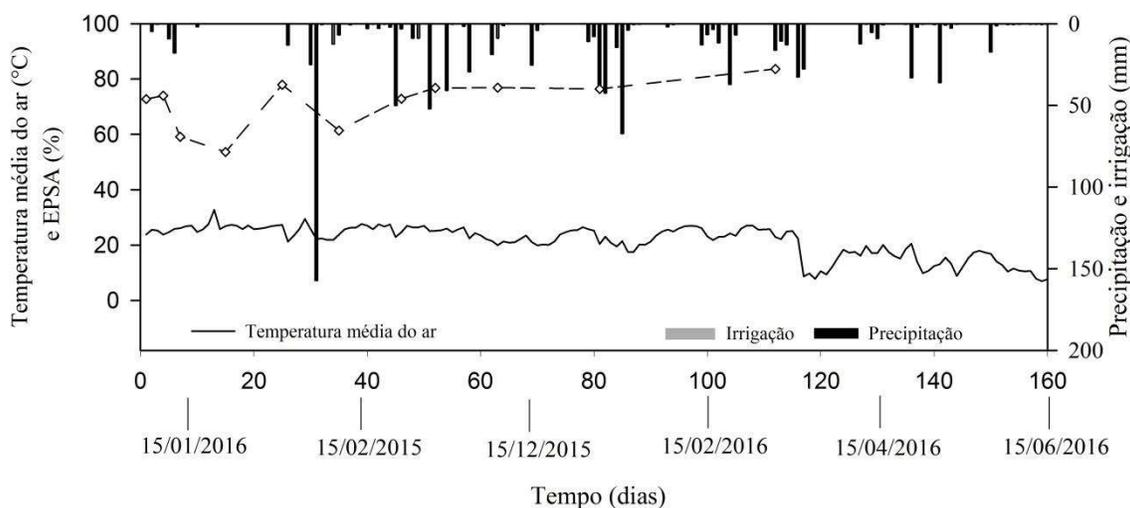


Figura 1 - Temperaturas médias diárias, precipitação pluvial diária, irrigação e espaço poroso do solo saturado por água (% EPSA) ocorrida durante a condução do Experimento I em Frederico Westphalen. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica de Frederico Westphalen, RS.

#### 4.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os seis tratamentos, aplicados em parcelas de  $36\text{ m}^2$  ( $6 \times 6\text{ m}$ ) no delineamento experimental de blocos ao acaso e com quatro repetições, foram os seguintes: T1- DLB em superfície (DLBs); T2- DLB em superfície com DCD (DLBs + DCD); T3- DLB

injetado no solo (DLBi); T4- DLB injetado + DCD (DLBi + DCD, T5- Sem aplicação de fertilizante ou DCD (Testemunha); T6- NPK mineral em superfície (NPK).

#### 4.2.4 Dejetos líquidos de bovinos, NPK e dicianodiamida

Os dejetos tiveram como origem vacas em lactação, as quais permaneciam em sistema de pastoreio rotativo em campo nativo melhorado e eram alimentadas com silagem de milho e ração durante as ordenhas. Os dejetos, compostos por fezes, urina, restos de alimentos e água de lavagem das instalações foram mantidos em esterqueira anaeróbica foram coletados e transportados até a área experimental uma mês antes de iniciar os experimentos, onde permaneceram estocados em caixas d'água com capacidade de 1000L, as características dos dejetos utilizados são apresentados na Tabela 1.

As quantidades de DLB e de fertilizante mineral aplicadas no milho em cada tratamento foram estabelecidas com base na exigência de N, P e K do milho, para uma expectativa de produtividade de 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004). O DLB foi aplicado integralmente na présemeadura fornecendo a quantidade de N recomendada na semeadura, entretanto, na cobertura a complementação do N foi realizada via ureia. Para tanto, na semeadura do milho foram aplicados 90 m<sup>3</sup> de DLB correspondendo a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 105 kg ha<sup>-1</sup> de P e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K, e mais 60 kg ha<sup>-1</sup> via 133 kg ureia ha<sup>-1</sup> em 11 de fevereiro de 2016. No tratamento NPK, foram aplicados, na superfície do solo, no momento da semeadura, 105 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 50 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>; e 40 kg de N ha<sup>-1</sup> e, em cobertura dia 11 de fevereiro de 2016, 60 kg de N ha<sup>-1</sup>.

Tabela 1 - Principais características dos dejetos líquidos de bovinos (DLB) (dados expressos em base úmida), dose de DLB aplicada e quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) via dejetos e com o fertilizante mineral em cada experimento.

Características	Experimento I	Experimento II
Dejeto líquido de bovino (DLB)	Milho FW	Milho SM
Matéria seca, g kg <sup>-1</sup>	18,1	19,8
N total, g kg <sup>-1</sup>	0,90	0,72
NAT <sup>(1)</sup> , g kg <sup>-1</sup>	0,41	0,45
Dose de DLB, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	90	83
NAT, kg ha <sup>-1</sup>	36,9	37,35
Fertilizante mineral (NPK)		
N-ureia <sup>(2)</sup> , kg ha <sup>-1</sup>	100	100
K <sub>2</sub> O, kg ha <sup>-1</sup>	50	50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg ha <sup>-1</sup>	105	115

(1) NAT = N amoniacal total (N-NH<sub>3</sub> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). (2) Dose total de N-ureia foi dividida, aplicando-se 1/3 em pré-semeadura da cultura e 2/3 em cobertura.

A aplicação em superfície do DLB foi realizada manualmente através de regadores. A DCD foi utilizada na forma de pó, da marca Agrotain Plus, a qual foi misturada aos dejetos no momento da sua aplicação no campo, na dose de 7 kg ha<sup>-1</sup>. Para a injeção dos dejetos foi realizada utilizando-se um aplicador mecânico comercial (Modelo DAOL-i 4000 Tandem, MEPEL). O equipamento era composto por um tanque metálico com capacidade de 4.000 l. A injeção era iniciada apenas após o acionamento de um pistão hidráulico responsável por inserir no solo o conjunto de 8 hastes de injeção tipo facão guilhotina (discos de corte e haste sulcadora), localizado na parte traseira do equipamento. As hastes sulcadoras de 2,0 cm de espessura possuíam ponteira substituível e eram espaçadas de 35 cm entre si e a profundidade de injeção variou de 8 a 11 cm.

O milho, cultivar DKB 290 PRO 3, foi semeado manualmente após riscagem da área com semeadora para plantio direto, um dia após a aplicação dos dejetos (08/01/2016), em linhas espaçadas em 0,7 m, com a população final de plantas estimada em aproximadamente 80 mil plantas ha<sup>-1</sup>. As fontes de N, P e K, tanto do tratamento com fertilização mineral (NPK) como na complementação realizada em cobertura nos tratamentos com DLB, foram a ureia, o super fosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. A colheita do milho, para avaliação da produtividade de grãos, foi realizada em 06 de junho de 2016.

#### 4.2.5 Experimento II - Santa Maria

#### 4.2.6 Local, clima e solo

O experimento II foi conduzido na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, na sede de Santa Maria, Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil, cujas coordenadas são 29°42'S e 53°42'W, a uma altitude de 80 metros. O clima do local é subtropical úmido (Cfa), conforme classificação de Köppen (MORENO 1961). Os dados meteorológicos para as temperaturas médias do ar, precipitação diária, irrigação, e espaço poroso do solo saturado por água (%EPSA) são apresentados na Figura 2. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico ou Hapludalf (EMBRAPA, 2013; SOILSURVEY STAFF, 2014). Na instalação do experimento o solo possuía na camada de 0,00-0,10 m os seguintes atributos: 124,3 g kg<sup>-1</sup> de argila; 259,1 g kg<sup>-1</sup> de silte; 616,6 g kg<sup>-1</sup> de areia; 13 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica; pH em água de 5,3; 13,2 mg dm<sup>-3</sup> de P e 72 mg dm<sup>-3</sup> de K (ambos extraídos por Mehlich-1); saturação de bases de 41,9%; 6,5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> CTC<sub>pH7</sub> e densidade do solo de 1,64 g dm<sup>-3</sup>. A área permaneceu um ano em pousio antes de iniciar o experimento, sendo que nos dois anos anteriores ela foi cultivada em plantio direto, com soja (*Glycine max* L) no verão e azevém (*Lolium perene* L.) no inverno.

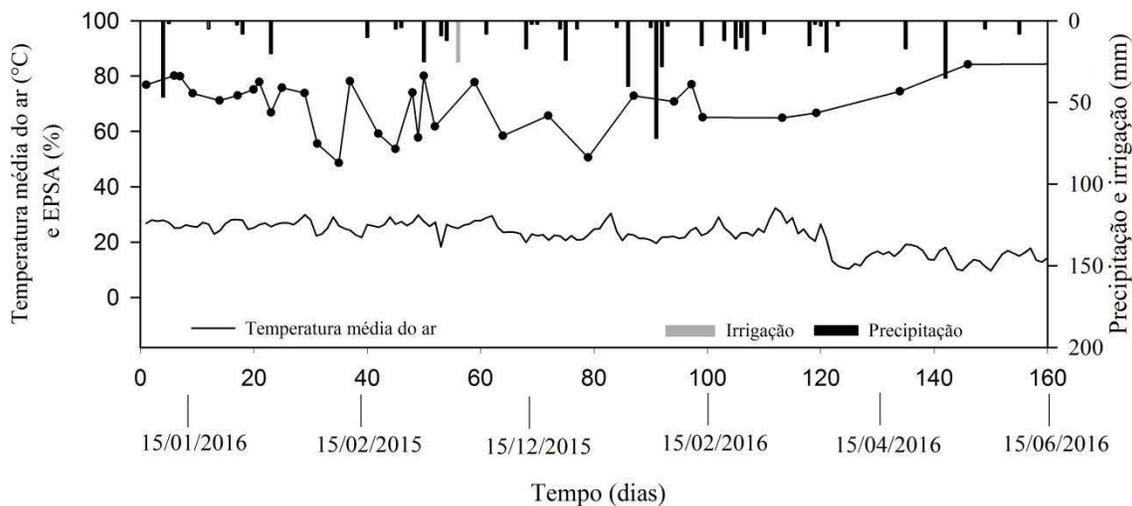


Figura 2 - Temperaturas médias diárias, precipitação pluvial diária, irrigação e espaço poroso do solo saturado por água (%EPSA) ocorrida durante a condução do Experimento II em Santa Maria, RS. Os dados de precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica próxima ao experimento.

#### 4.2.7 Tratamentos e delineamento experimental

Os seis tratamentos, aplicados em parcelas de 36 m<sup>2</sup> (6 x 6 m) e delineamento experimental de blocos ao acaso e com quatro repetições, foram os seguintes: T1- Sem aplicação de fertilizante ou DCD (Testemunha); T2- NPK mineral em superfície (NPK); T3- DLB em superfície (DLBs); T4- DLB em superfície com DCD (DLBs + DCD); T5- DLB injetado no solo (DLBi) e T6- DLB injetado + DCD (DLBi + DCD).

#### **4.2.8 Dejetos líquidos de bovinos, NPK e dicianodiamida**

Os dejetos tiveram como origem vacas em lactação, as quais permaneciam em sistema de pastoreio rotativo em poteiros com campo nativo melhorado e eram alimentadas com silagem de milho e ração durante as ordenhas. Os dejetos, compostos por fezes, urina, restos de alimentos e água de lavagem das instalações foram mantidos em esterqueira anaeróbica e foram coletados e transportados até a área experimental uma semana antes de iniciar os experimentos, onde permaneceram estocados em caixas d'água com capacidade de 1000L.

Três dias antes da semeadura do milho realizada em 7 de janeiro de 2016, foram aplicados 83 m<sup>3</sup> de DLB, correspondendo a 29,2 kg ha<sup>-1</sup> de N; 21,58 kg ha<sup>-1</sup> de P e 83 kg de K. A complementação da fertilização com N e P foi realizada aos 26 dias após a semeadura com a aplicação, na superfície do solo, de 90,8 kg ha<sup>-1</sup> de N e 66,6 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. No tratamento NPK, foram aplicados, no momento da semeadura e na superfície do solo, 115 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; 50 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>; 30,8 kg de N ha<sup>-1</sup>. Aos 30 dias após a semeadura foi aplicada ureia em cobertura, em dose equivalente a 90 kg de N ha<sup>-1</sup>. A cultivar de milho (*Zea mays L.*) utilizada foi a Agroeste - AS 1551 PRO2, semeada em linhas espaçadas de 0,70 m, com a expectativa de atingir uma população final de aproximadamente 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. As fontes de N, P e K, tanto do tratamento com fertilização mineral (NPK) como na complementação realizada em cobertura nos tratamentos com DLB, foram à ureia, o super fosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente.

#### **4.2.9 Parâmetros fitométricos avaliados na parte aérea do milho**

Por ocasião do estágio de desenvolvimento R6 da cultura (RITCHIE et al., 1993), os seguintes parâmetros foram avaliados no milho: a) Diâmetro de Colmo (DC):

mensurado com paquímetro digital, no segundo entrenó visível de 10 plantas por parcela útil; b) Produção de massa seca da parte aérea: determinada em cinco plantas por parcela, cortadas desde a superfície do solo, secas em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65°C até peso constante, pesadas e o valor extrapolado para quilogramas por hectare; c) Número de espigas por hectare (Estádio R6): obtido por meio da contagem do número espigas por metro linear, em 10 repetições por parcela útil. Os valores obtidos foram extrapolados para hectare; d) Altura de plantas: mensurada com o auxílio de trena métrica, padronizada desde a superfície do solo até a bainha da folha bandeira. Para a aferição utilizou-se dez plantas por parcela útil; e) Produção de massaseca: determinada por meio da mesma metodologia utilizada no estádio R1, porém, por ocasião do estádio R6, pesou-se separadamente a massa seca da planta, desprezando-se o peso da espiga; f) Altura de inserção da primeira espiga: mensurada com o auxílio de trena métrica, padronizada desde a superfície do solo até a inserção da primeira espiga. Para a aferição utilizou-se dez plantas por parcela útil; g) Diâmetro da espiga (sem palha) e diâmetro do sabugo: obtidos na parte central da espiga, com auxílio de paquímetro digital, em dez espigas por parcela útil; h) Número de fileiras e número de grãos por fileira: obtidos através de contagem, considerando a média de dez espigas por parcela útil; I) Peso de mil sementes: obtido seguindo metodologia proposta por Brasil (2009); J) Produtividade: determinada na área de 8,4 m<sup>2</sup>, onde foram colhidas as plantas de quatro linhas centrais de cada parcela útil, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade. A produção final de grãos foi corrigida para 13% de umidade e o valor extrapolado para quilogramas por hectare; L) Acúmulo de N: foi avaliado na maturação fisiológica da cultura, foram coletadas cinco plantas na área útil de cada parcela, analisando-se separadamente a palha e os grãos. Após a secagem, uma subamostra de grãos e de palha foi moída em moinho de facas e depois em moinho tipo willey (<100 mesh). No tecido vegetal, seco e moído, determinaram-se a concentração de N por digestão úmida e a destilação por meio de destilador de arraste de vapor semimicro-Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

#### **4.2.10 Eficiência agrônômica do N, recuperação aparente de N e índices de eficiência**

Com os dados de matéria seca, acúmulo de N e produtividade de grãos foram calculados os seguintes índices (FAGERIA, 1998; CRASWELL; GODWIN, 1984); a)

Eficiência agrônômica do N (EAN, kg de grãos  $\text{kg}^{-1}$  de N aplicado): produção econômica obtida (grãos, no caso do milho) por unidade de N aplicado, calculada pela seguinte equação, em que:  $Y_f$  é a produção de grãos, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção, em kg, sem adubação;  $Q_f$  é a quantidade de nutriente aplicado, em kg:  $EAN = \frac{Y_f - Y_0}{Q_f} (\text{kgkg}^{-1})$ ; b) Recuperação aparente do N (RAN, %): quantidade de nutriente acumulado por unidade de nutriente aplicado, sendo que:  $Q_{Nf}$  é a acumulação de nutriente, em kg, com adubação;  $N_0$  é a acumulação de nutriente, em kg, sem adubação;  $Q_f$  é a quantidade do nutriente aplicado, em kg:  $RAN = \frac{Q_{Nf} - N_0}{Q_f} (\text{kgkg}^{-1})$ ; c) Eficiência fisiológica (EF): é a produção biológica obtida (grãos + palha, em culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado, em que:  $Y_f$  é a produção total de matéria seca, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção total de matéria seca, em kg, sem adubação;  $N_{abf}$  é o acúmulo de nutriente com adubação, em kg;  $N_{ab0}$  é o acúmulo de nutriente sem adubação, em kg:  $Ef = \frac{Y_f - Y_0}{N_{abf} - N_{ab0}} (\text{kgkg}^{-1})$ ; d) A eficiência de utilização de nitrogênio (EUN):  $EUN = EFXRAN (\text{kgkg}^{-1})$ ; e) Eficiência na produção de grãos (IG): é a produção de grãos obtida por unidade de nutriente acumulado:  $IG = \frac{Y_f - Y_0}{Q_{Nf} - Q_{N0}} (\text{kgkg}^{-1})$ , em que:  $Y_f$  é a produção de grãos, em kg, com adubação;  $Y_0$  é a produção de grãos, em kg, sem adubação;  $Q_{Nf}$  é a acumulação de nutriente na parte aérea e nos grãos, em kg, com adubação;  $Q_{N0}$  é a acumulação de nutriente na parte aérea e nos grãos em kg, sem adubação.

#### 4.2.11 Avaliação das emissões de N-NH<sub>3</sub>

As emissões de N-NH<sub>3</sub> foram avaliadas em dois períodos durante a condução dos experimentos, o primeiro após a aplicação do DLB em pré-semeadura e o segundo após a aplicação da ureia em cobertura. Sendo que as avaliações de N-NH<sub>3</sub> foram realizadas apenas nos tratamentos sem a adição de DCD (Testemunha, NPK, DLBi e DLBs) devido a não interferência do mesmo nas emissões de N-NH<sub>3</sub> (PUJOL, 2012). A avaliação da emissão de N-NH<sub>3</sub> foi realizada em câmaras estáticas semiabertas, conforme proposto por NÔMMIK (1973). O número de avaliações da emissão de N-NH<sub>3</sub> realizadas na cultura do milho, bem como o intervalo de tempo decorrido entre cada avaliação foi de 0, 24, 48, 72, 120, 168 e 240 horas. A aplicação dos dejetos e da ureia no interior das bases foi feita manualmente, sendo que os dejetos foram aplicados

com uma proveta, buscando obter a maior uniformidade possível. As duas espumas presente no interior na câmara foram embebidas com 140 mL de uma solução contendo a mistura de ácido fosfórico (5%) e glicerina (4%), as espumas do suporte superior eram mantidas no interior das câmaras e as inferiores coletadas e trocadas nas avaliações, sendo as superiores apenas para evitar trocas gasosas com a atmosfera. Após cada troca de espumas, as mesmas eram colocadas em sacos plásticos e transportadas ao laboratório para extração da amônia captada e presente na forma de fosfato de amônio. A extração deste das espumas foi realizada por meio de 8 lavagens sucessivas das mesmas com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> de modo que ao final destas lavagens o volume final de solução fosse de 1,0 L, aferido em balão volumétrico. Na sequência, do balão contendo 1,0 L de solução, após homogeneização, retirava-se subamostras de 100 mL para serem armazenadas congeladas, sendo que deste frasco retira-se o volume necessário (20 mL) para análise de nitrogênio em destilador de arraste de vapor semimicro Kjeldahl, após adição de 0,2 g de MgO por amostra. A titulação foi realizada com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 N conforme Tedesco et al., (1995).

A emissão de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera em cada intervalo de coleta das espumas foi calculado a partir da seguinte equação:  $F_{NH3} = \frac{QCx 10.000}{Axt}$ , onde, FN-NH<sub>3</sub> representa o fluxo de N-NH<sub>3</sub> (em g N ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) no intervalo de tempo t; QC a quantidade de N-NH<sub>3</sub> (em g de N) captada pela espuma inferior da câmara no intervalo de tempo t; A área da câmara (em m<sup>2</sup>) e t o tempo em horas (h), decorrido entre a colocação das espumas no campo até a sua retirada. As perdas de N-NH<sub>3</sub> por emissão o em cada intervalo foram somadas para calcular a perda acumulada de amônia:  $PA_{N-NH3} = \frac{\sum QCx 10000}{A}$ , PA N-NH<sub>3</sub> representa a perda acumulada de N para a atmosfera (em kg de N ha<sup>-1</sup>);  $\sum QC$  significa a soma das quantidades de N-NH<sub>3</sub> captadas na espuma inferior da câmara em cada análise realizada (em g de N) e A é área da câmara (em m<sup>2</sup>) as quantidades líquidas de N que emitiram como N-NH<sub>3</sub> em cada tratamento com aplicação de nitrogênio (dejetos e ureia), ao final de cada período avaliado, foi obtido descontando-se destes as quantidades de N-NH<sub>3</sub> que emitiram no tratamento testemunha, sem aplicação de N.



Figura 3 - Experimento milho: a) Vista do experimento; b) Vista do experimento detalhe do esquema de coleta das emissões de N-NH<sub>3</sub> via câmara sema estática.

#### 4.2.12 Avaliações no solo

Foram coletadas amostras de solo para a determinação da umidade gravimétrica do solo conforme Tedesco et al. (1995). Foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de N-mineral a cada 5 dias, após a aplicação dos dejetos e ureia, e depois disso, uma amostragem a cada 15 dias. O solo foi coletado na camada de 0 a 0,10 m com um trado calador, sendo coletadas quatro subamostras por parcela que, após misturadas, constituíram uma amostra única. Nas parcelas onde os dejetos foram injetados, o solo foi coletado no centro da linha de injeção. A densidade do solo foi determinada com amostras indeformadas coletadas com anel volumétrico de Kopeck, nas camadas de 0,0 - 0,10 (KIEHL, 1979). A partir dos valores de umidade e densidade volumétrica, calculou-se o espaço poroso saturado por água (EPSA), assumindo uma densidade de partícula de 2,65 g cm<sup>-3</sup>.

#### 4.2.13 Análise estatística

A análise estatística empregada constou da análise da variância (ANOVA) e a comparação das médias foi feita pelo teste Tukey (5 % de probabilidade de erro) e LSD de Fisher (1 % de probabilidade de erro) no programa Genes (CRUZ, 2007) e SigmaPlot (SYSTAT SOFTWARE, INC.).

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Emissões de N-NH<sub>3</sub> em pré-semeadura

O fornecimento de N via aplicação de DLB e de NPK na cultura do milho, tanto no Experimento I, como no Experimento II, aumentaram as emissões de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera ( $P < 0.01$ ), diminuindo essas diferenças o passar do tempo.

No experimento I, o maior pico nas emissões N-NH<sub>3</sub> se deu 48 horas após a aplicação dos tratamentos, sendo a maior emissão observada no tratamento NPK (51,87 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) significativamente superior aos demais tratamentos. A aplicação superficial do DLB aumentou significativamente as emissões de N-NH<sub>3</sub> no comparativo com tratamento injetado, ou seja, nas condições do Experimento I, a injeção do DLB reduziu em 34% as emissões de N-NH<sub>3</sub> em relação ao tratamento superficial e 70,98% em relação ao tratamento NPK. Em todos os tratamentos fertilizados as emissões de amônia foram significativamente superiores as observadas no tratamento testemunha, NPK (51,87a), DLBs (22,67b), DLBi (15,05c), testemunha (9,54d).

Na primeira avaliação realizada no Experimento I, sob Latossolo, após 24 horas da aplicação do DLB e NPK, essa demonstrou que o fluxo de N-NH<sub>3</sub> foi de 47,83g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> no tratamento DLBs, 30,80 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> no tratamento com NPK, no 12,77 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> no tratamento testemunha e 6,91 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para DLBi. Sendo que o tratamento NPK superou a emissão do tratamento testemunha (12,77 g N ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em 4 vezes e o tratamento com injeção DLBi (6,91 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) em 7 vezes.

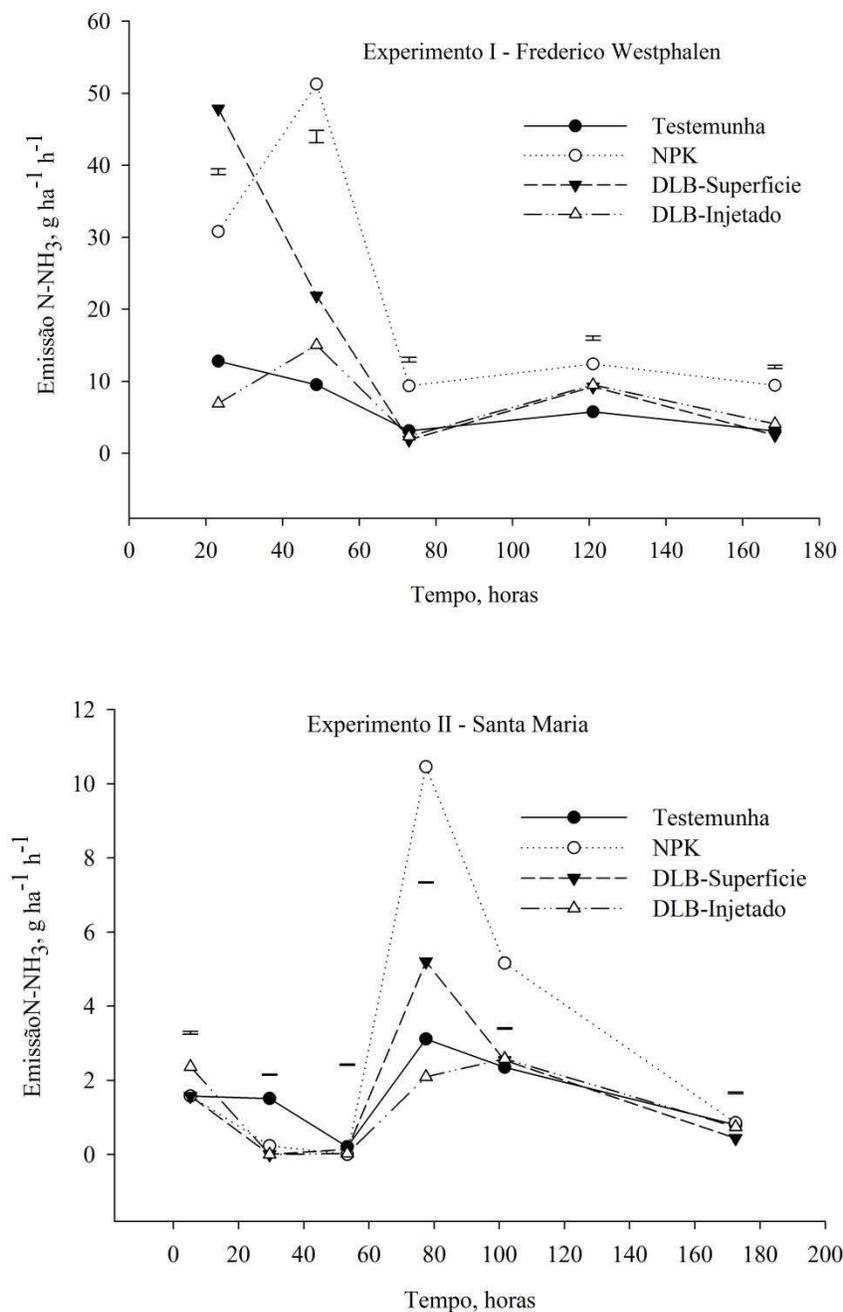


Figura 4 - Emissões de N-NH<sub>3</sub> após manejos do dejetos líquido de bovinos em pré-semeadura do milho e na aplicação do NPK. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

Nas condições do experimento II, o maior pico nas emissões de amônia ocorreu após 77 horas da aplicação dos tratamentos sendo essa maior para o tratamento NPK (10,46 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) significativamente superior, DLBs (5,21 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), testemunha (3,12 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), DLBi (2,09 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Observa-se quando da utilização do DLB, que a aplicação na superfície do solo (DLBs) foi aquela que

resultou nos maiores fluxos de amônia em ambos os experimentos ( $p < 0,01$ ), sendo que esta é a situação, que corresponde à forma mais utilizada de aplicação dos dejetos no solo (KUNZ et al., 2009; SMITH et al., 2009). Apesar do pico inicial, o fluxo de N-NH<sub>3</sub> do tratamento com aplicação de DLB em superfície diminuiu rapidamente, sendo que após 29 horas houve uma redução em 53,44% na emissão da primeira para segunda avaliação, diferentemente do observado para o tratamento NPK onde se observou um aumento de 40% no fluxo de N-NH<sub>3</sub> no experimento I, o que pode ter sido ocasionado pela intensificação maior intensificação da enzima uréase na ureia após sua solubilização no solo.

No experimento II, o fluxo de N-NH<sub>3</sub> nas primeiras 24 horas foi baixo e similar em todos os tratamentos avaliados sendo superiores a 2,5 g N-NH<sub>3</sub>ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. O que coincide com os resultados de outros trabalhos (SOMMER e JACOBSEN, 1999; ROCHETTE et al., 2009). Sommer e Jacobsen observaram que, apesar dos elevados teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no solo, após 24 horas a emissão de N-NH<sub>3</sub> foi baixa, o que foi atribuído a uma combinação de fatores, incluindo a redução do pH, nitrificação e absorção do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> à argila e à matéria orgânica (PUJOL, 2012). No experimento de Tao et al., (2008) a aplicação na superfície do solo de 120 Mg ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de bovinos, juntamente com DCD aumentou a emissão de N-NH<sub>3</sub> em relação à aplicação dos dejetos sem DCD, embora o aumento tenha sido pequeno (59,9% do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aplicado).

As emissões observadas para o tratamento com DLB injetado demonstraram a eficiência dessa prática para a redução das emissões de N-NH<sub>3</sub>, corroborando a hipótese de que a injeção do DLB é uma alternativa em potencial para redução de emissões de N-NH<sub>3</sub>.

No experimento II, as emissões foram mais baixas no comparativo com o experimento I. Esta dinâmica diferente nas primeiras horas dos dois experimentos pode estar associada às características do solo de cada experimento (ASSING et al., 2008). O Argissolo (Experimento II Santa Maria) teoricamente tem maior capacidade de infiltração da fração líquida do dejetos (BRONSON et al., 1989), enquanto o Latossolo (Experimento I) poder ser saturado (MELLO et al., 2003) com mais facilidade acumulando na superfície e favorecendo a perda do N pela emissão de N-NH<sub>3</sub> (ROCHETTE et al., 2009). A cinética no fluxo de N-NH<sub>3</sub> observada durante o período de avaliação das emissões em ambos os experimentos, com aumento significativo nas primeiras horas após a aplicação do N, e redução significativa nas horas seguintes é

descrito por Michaelis-Menten, através da equação “ $\text{N-NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{N-NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ” (SØGAARD et al., 2002; MONACO et al., 2012).

Os resultados encontrados no presente trabalho vão de encontro aos observados na maioria dos trabalhos utilizando dejetos na forma líquidas (SOMMER; JACOBSON, 1999; MISSELBROOK et al., 2002). Além disso, a deposição de grandes quantidades de dejetos líquido acelera a ciclagem do N. Primeiro o N é rapidamente hidrolisado entre 1-2 dias (ZAMAN et al., 2009) e produz  $\text{N-NH}_3$ , íons de hidroxilas (OH) e dióxido de carbono (MULVANEY; BREMNER, 1981). Assim, a grande produção de  $\text{N-NH}_4^+$ , juntamente com o aumento temporário no pH do solo, presença de íons hidroxilas, proporcionam um ambiente ideal para a emissão de  $\text{N-NH}_3$  (ZAMAN et al., 2009). As elevadas taxas iniciais de perda de N dos dejetos por emissão de  $\text{N-NH}_3$ , que ocorrem de maneira geral nos primeiros três dias após a aplicação do DLB são atribuídas à elevada concentração inicial de N amoniacal no solo e ao aumento do pH na interface solo/dejetos, quando o pH dos dejetos for elevado (SØGAARD et al., 2002). O rápido decréscimo nas taxas de emissão de  $\text{N-NH}_3$  acontece em função da redução da concentração de  $\text{N-NH}_4^+$  na interface solo/dejetos, como resultado da emissão, da infiltração e da nitrificação, bem como absorção pelas plantas (HUIJSMANS et al., 2003; SOMMER et al., 2003; MONACO et al., 2012). Ao adicionarem dejetos líquido de suínos na superfície do solo, Sommer e Jacobsen (1999) constataram que a quase totalidade do N perdido por emissão de  $\text{N-NH}_3$  durante as 96 horas após a adição dos dejetos ocorreu nas primeiras 24 horas.

Tem sido demonstrado, tanto em condições de campo como de laboratório, que as perdas de N por emissão de  $\text{N-NH}_3$  estão diretamente relacionadas à quantidade de N amoniacal aplicada na superfície do solo com os dejetos (MATSUNAKA et al., 2008; SMITH et al., 2008). No trabalho de Smith et al. (2008) a aplicação, na superfície de um solo do Canadá, de dejetos líquidos de suínos aumentou a perda de N por emissão de  $\text{N-NH}_3$  em 62 e 78%, respectivamente. No trabalho de Nyord et al. (2012) foi comparada a emissão de  $\text{N-NH}_3$  após a aplicação na superfície do solo de dejetos líquidos de suínos digeridos anaerobicamente (pH=8,6) e de dejetos do mesmo lote de animais, porém in natura (pH=8,0), e apesar dos dois tipos de dejetos terem adicionado ao solo quantidades relativamente próximas de N amoniacal ( $127 \text{ kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1}$ ), a emissão de  $\text{N-NH}_3$  no tratamento com os dejetos biodigeridos foi quase o dobro (42,3 % do N amoniacal aplicado) daquela verificada no tratamento com dejetos in natura (24,5 % do

N amoniacal aplicado), sendo que essa diferença foi atribuída pelos autores ao maior pH dos dejetos digeridos.

Esse resultado pode ser explicado devido ao N amoniacal dos dejetos encontra-se principalmente na fração líquida, a qual infiltra no solo e protege melhor o N da emissão de N-NH<sub>3</sub> do que na ureia, que foi aplicada ao solo na forma sólida (PUJOL, 2012). Algumas condições podem ter determinado as diferenças na emissão de N-NH<sub>3</sub> com a aplicação dos dejetos no milho, nos dois experimentos como o pH dos dejetos. A relação direta entre pH dos dejetos e emissão de N-NH<sub>3</sub> após a aplicação dos mesmos no campo tem sido relatada em inúmeros trabalhos (PANETTA et al., 2005; SOMMER et al., 2006; CHANTIGNY et al., 2007; NYORD et al., 2012).

#### 4.3.2 Emissões de N-NH<sub>3</sub> em cobertura no milho

Com aplicação da uréia no milho em cobertura no experimento I, o maior pico de emissões ocorreu em torno das 48 horas após a aplicação da ureia em cobertura (Figura 5), sendo que a emissão observada no valor de 261,26 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> no tratamento DLBs foi significativamente superior aos demais tratamentos, sendo 58,74% maior que a testemunha, 6,2% em relação ao NPK e 53,2% ao tratamento injetado do DLB. No experimento II, o maior pico ocorreu às 52,33 horas após a aplicação da ureia, sendo que a maior emissão também ocorreu no tratamento DLBs (579,15 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) sendo significativamente superior aos demais, as emissões no NPK foram de 393,1 g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no DLBi foi de 354,70 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> e 5,44 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> na testemunha. Na avaliação realizada após a aplicação da ureia em cobertura no milho, observa-se uma dinâmica nos fluxos de emissão de amônia similar ao encontrado durante a avaliação realizada na semeadura, onde ocorreu um maior pico na fase inicial nas emissões na fase inicial, seguido por uma diminuição até os valores chegarem a zero.

Após 54 horas as emissões caíram e foram praticamente nulas. No Experimento II, o maior pico da emissão de N-NH<sub>3</sub> também ocorreu no tratamento DLBs nas 52 horas após a aplicação da ureia, entretanto de modo geral o tratamento NPK apresentou menor fluxo na cobertura em relação aos tratamentos com dejetos DLBi e DLBs.

Os maiores fluxos ocorridos nos tratamentos com a aplicação do DLB em relação ao tratamento NPK deve-se a quantidade de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no dejetos mais quantidade presente na uréia do NPK (MEADE et al., 2011).

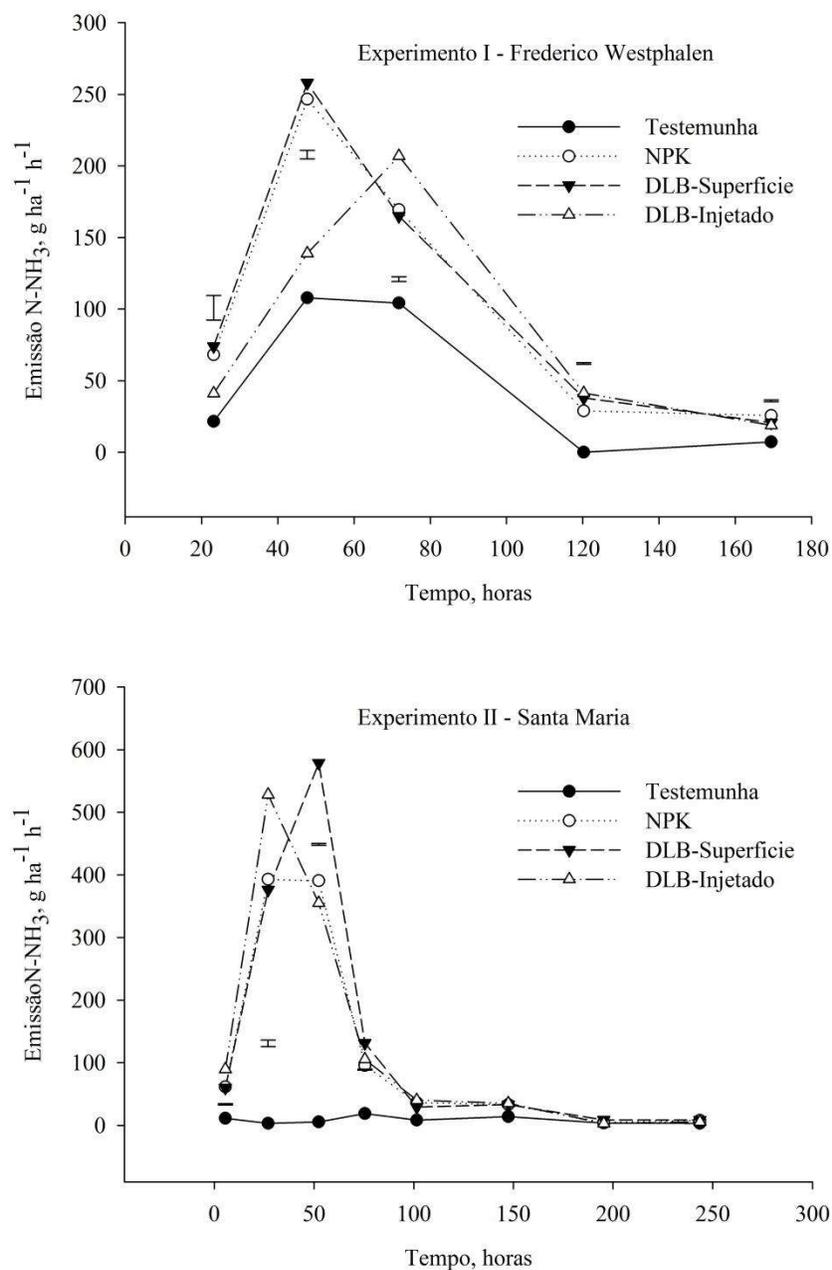


Figura 5 - Emissões de N-NH<sub>3</sub> após a aplicação de ureia em cobertura. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

#### 4.3.3 Perda acumulada de N como N-NH<sub>3</sub>

O modo como o dejetos foi aplicado no solo afetou o acúmulo nas perdas de N na forma de amônia N-NH<sub>3</sub> (P<00,1). O maior acúmulo foi observado no experimento I nas avaliações realizadas por ocasião da semeadura onde se observa uma emissão

acumuladano tratamento NPK de 3,57 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>sendo esse acúmulo superior aos demais tratamentos (Figura 6). O segundo maior acúmulo é observado no tratamento DLBs com o valor de 2,59N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, vindo a seguir o tratamento com DLBi, não diferindo significativamente da testemunha com uma acúmulo de (1,29 e 1,08N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, respectivamente).

No experimento II, o maior acúmulo ocorreu no tratamento NPK (0,45N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), sendo superiores aos demais tratamentos. Independente da forma de aplicação do DLB, as emissões acumuladas de amônia foram inferiores a observada na testemunha.

Já o acúmulo na cobertura de N, no experimento I, foi superior no tratamento DLBs (14,80 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), secundamente NPK (14,02 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), terceiramente DLBi (12,37 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e por último testemunha (6,10 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Já no experimento II, o maior acúmulo ocorreu no tratamento superficial 28,43N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, seguido por injetado (26,14N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), NPK (23,44N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e testemunha (1,52 N-NH<sub>3</sub>, g ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>). Apesar de o inibidor ter mantido no solo, após 187 horas, Ureia-N constitui a maior fracção (80%) de N na urina (ZAMAN et al., 2007, 2009), enquanto o resto é um mistura de facilmente mineralizadas aminoácidos, peptídeos e amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (BOLAN et al., 2004). Em função disso, os dejetos são aplicados muitas vezes sob condições adversas de clima e solo como, por exemplo, em solos excessivamente úmidos, o que pode potencializar os impactos negativos sobre o ambiente, com destaque para a emissão de N-NH<sub>3</sub> para a atmosfera.

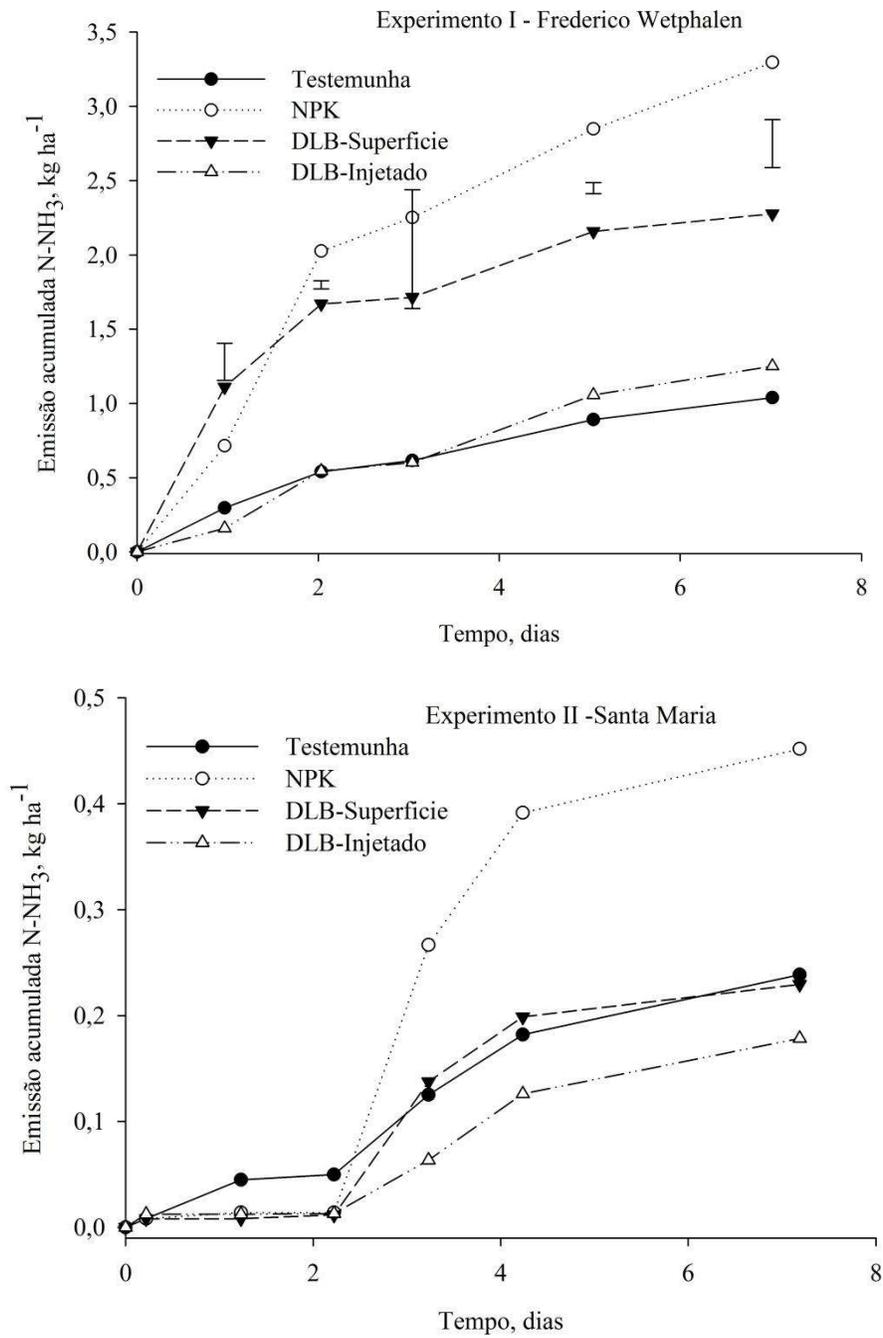


Figura 6 - Emissões acumuladas de N-NH<sub>3</sub> sob diferentes manejos do DLB e aplicação de NP na pré-semeadura do milho em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

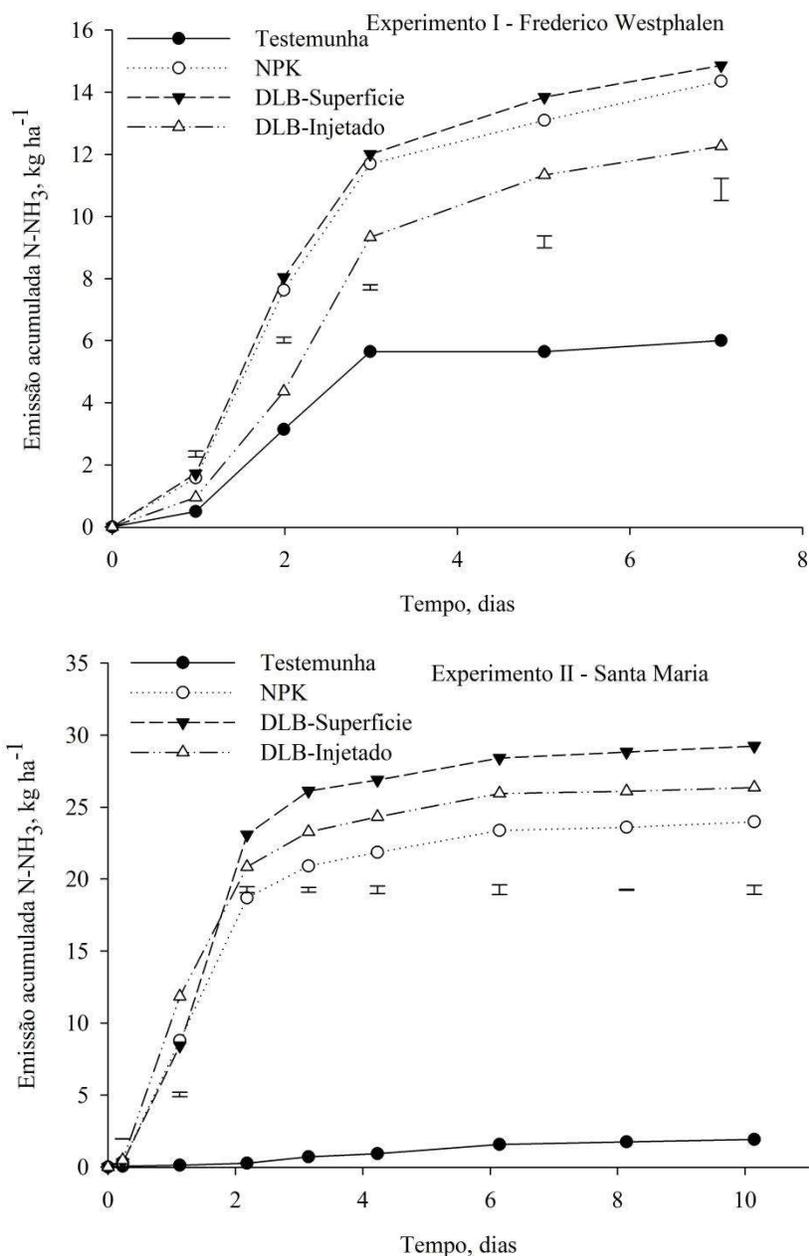


Figura 7- Emissões acumuladas de N-NH<sub>3</sub> após aplicação de ureia em cobertura no milho em ambos os experimentos. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre as médias dos tratamentos (LSD 0,01).

#### 4.3.4 N mineral no solo

O efeito dos tratamentos sobre as quantidades de N mineral total do solo no início dos experimentos e durante os períodos próximos a aplicação da ureia em cobertura e florescimento do milho mostraram que houve diferenças no teor de N mineral total em todos os tratamentos em relação à testemunha ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2)

Tabela 2 - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral na camada 0-10 cm do solo, 35dias após a aplicação de dejetto líquido de bovino (DLB) e fertilizante mineral (NPK).

Experimento I	N mineral no solo		
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Tratamentos	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		
Testemunha <sup>(1)</sup>	28,28f	31,83b	60,11 f
NPK	63,08e	14,28e	77,36e
DLBs	89,50d	25,12c	114,62c
DLBs + DCD	93,30c	31,38b	124,88d
DLBi	154,28a	38,10a	192,38a
DLBi + DCD	136,25b	14,28e	150,53b
<b>Experimento II</b>			
Testemunha	2,09e	20,27f	22,36f
NPK	11,29c	51,07b	62,37b
DLBs	11,73d	39,35c	51,08c
DLBS + DCD	25,85a	42,46a	68,31a
DLBi	2,65cd	29,90e	32,55e
DLBi + DCD	13,31b	34,36d	47,67d

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Nomomento da aplicação do N em cobertura no milho, , os teores de N mineral recuperado no solo forma maiores no tratamento DLBi e DLBi + DCD foram superiores no experimento I, em relação aos demais tratamentos. Todos os tratamentos foram superiores a testemunha (P<0.005). Já no experimento II, os maiores teores de N mineral no solo foram observados no tratamento DLBs + DCD. No florescimento do milho os teores de N mineral foram maiores nos tratamentos com fertilização em relação à testemunha em ambos os experimentos (figura 3).

Tabela 3 - Quantidades de N amoniacal, N nítrico e N mineral na camada 0-10 cm do solo, 75dias após a aplicação de dejetto líquido de bovino (DLB) e fertilizante mineral (NPK).

Experimento I	N mineral no solo		
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Tratamentos	-----Kg N ha <sup>-1</sup> -----		
Testemunha <sup>(1)</sup>	23,80 e	3,62f	27,42 f
NPK	27,24c	6,38a	33,62 a
DLBs	27,41 b	4,84c	32,25d
DLBs + DCD	28,08a	4,35 e	32,44c
DLBi	27,44b	4,48d	31,92e
DLBi + DCD	27,06d	6,38a	33,2 b

Experimento II			
Testemunha	2,91c	2,22 e	5,12 c
NPK	3,28 a	2,62 c	5,89b
DLBs	2,01b	3,84 a	5,84 b
DLBS + DCD	3,52 a	2,52 d	6,03 b
DLBi	3,74a	2,52d	6,26 ab
DLBi + DCD	3,65 a	3,43b	7,07a

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Além do alto teor de C orgânico do solo e baixo PH, a alta temperatura do solo podem de diminuir a eficácia da DCD (PUTTANNA et al., 1999). Conforme mencionado por Morvan et al. (1996), é possível que a injeção dos dejetos além de diminuir a emissão de  $N-NH_3^+$ , possa ter favorecido a imobilização de parte do N inorgânico dos dejetos, sendo que esse processo de imobilização tenha ficado mais evidente a partir dos 30 dias de cultivo do milho. Em seu estudo, estes autores verificaram que ao final dos 30 dias após a aplicação, a imobilização de N atingiu o valor máximo, correspondente a 23,2% do N amoniacal aplicado com os dejetos. Evidenciando claramente o processo inibitório da nitrificação do N amoniacal pela DCD, o que ocorre devido ao produto bloquear temporariamente o sítio ativo da enzima amônia monooxigenase, principalmente em *Nitrosomonas europea* (MOIR et al., 2007). Na ultima avaliação de N mineral realizada aos 81dias após a aplicação do DLB (Experimento I) e 75 dias (Experimento II), os teores de N mineral em geral foram reduzidos em relação às duas outras primeiras avaliações. No experimento I, o maior teor de N foi observado no tratamento NPK após 81 DAA, seguido pelo tratamento DLBi + DCD. Já no experimento II, os maiores teores de N no florescimento foram observados nos tratamentos injetados, seguidos pelos demais tratamentos, observa-se também, que o tratamento testemunha apresentou o menor teor de N mineral durante todo o período após DAA.

#### 4.3.5 Produtividade e acúmulo de N

A produção de massa seca na maturação do milho para o Experimento I foi superior para o tratamento DLBi + DCD (14,1 Mg ha<sup>-1</sup>), porém não diferindo do tratamentos com aplicação superficial do DLB e da fertilização mineral (Tabela 4). No

comparativo com a testemunha, o incremento na produção de massa seca no tratamentos DLBi + DCD foi de 5,9 Mg ha<sup>-1</sup>, 1,6 Mg ha<sup>-1</sup> em relação a adubação NPK e 4,2 Mg ha<sup>-1</sup> em relação a aplicação superficial. Já no Experimento II, o tratamento sob aplicação injetada + o inibidor (DLBi + DCD), superou o tratamento testemunha em 4 Mg ha<sup>-1</sup> o que mostra benefício agrônômico dessa prática. Observa-se também, em ambos os experimentos, superioridade na produção de massa seca do tratamento DLBs + DCD em relação ao tratamento DLBi, o que pode demonstrar a eficiência do inibidor, mesmo sob a aplicação superficial dos dejetos. A produção de massa seca no milho sob o manejo superficial (DLBs) foi inferior estatisticamente aos demais tratamentos, com exceção do tratamento testemunha.

Tabela 4 - Massa seca da parte aérea do milho, produtividade de grãos, peso de mil sementes (PMS), acúmulo de N na palha e no grão do milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de bovinos no solo, com e sem o inibidor de nitrificação dicianodiamida, em plantio direto.

Tratamentos	Produtividade			N acumulado	
	Palha	Grãos	PMS	Palha	Grãos
Experimento I	-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			-----kg ha <sup>-1</sup> -----	
Testemunha	8,2 c	3,9c	319,24b	75d	58,8d
NPK	12,5 ab	7,4ab	392,17a	129,3b	121,0b
DLBs	9,9 c	7,1b	408,27a	94,4c	103,1c
DLBs + DCD	13,7 ab	7,4ab	402,64a	126,6b	118,7b
DLBi	12,0 b	7,5ab	381,95a	125,1b	137,6a
DLBi + DCD	14,1 a	7,6a	395,14a	157,3a	142,4a
Experimento II					
Testemunha	4,4c	3,1c	314,8b	21,3d	31,9c
NPK	8,1 <sup>a</sup>	4,9a	375,3a	55,0b	86,1a
DLBs	5,8bc	4,1b	367,4a	43,4c	67,2b
DLBs + DCD	6,7ab	4,8a	370,0a	61,6b	82,8a
DLBi	6,5abc	4,3b	367,3a	45,8c	61,0b
DLBi + DCD	8,0a	4,8a	375,7 a	71,9a	79,8a

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Com relação à produtividade de grãos, no Experimento I, observa-se que esta foi numericamente (7,6 Mg ha<sup>-1</sup>), maior no tratamento sob injeção + inibidor (DLBi + DCD), porém, não diferindo significativamente dos demais tratamentos com fertilização com exceção do tratamento com aplicação superficial do DLB (Tabela 4). Entre os tratamentos com fertilização, independentemente se via DLB ou NPK a menor produtividade

de grãos foi observada no tratamento com aplicação superficial do dejetos líquido de bovinos(DLBs)embora essa não tenha diferença significativa quando da aplicação do DLB com exceção do tratameto com adição da DCD. Quando se compara a aplicação superficial do DLB com e sem a adição de DCD, se observa que a adição dos inibidores mesmo sem diferença significativa incrementou em  $0,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  a produtividade de grãos de milho. Esse incremento na produtividade de grãos de milho com a injeção dos DLB situa-se na faixa encontrada por outros autores, com dejetos líquidos de suínos de  $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (SCHIMITT et al., 1995) a  $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  (SUTTON et al., 1982). Esse incremento na produtividade de grãos de milho com a injeção dos DLB situa-se na faixa encontrada por outros autores, de  $0,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (SCHIMITT et al., 1995) a  $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  (SUTTON et al., 1982).

Estas respostas positivas observada no presente estudam para a injeção dos DLB, superando a aplicação superficial, tanto na produtividade de grãos como no acúmulo de N, também foi relatado e observado em gramíneas por alguns autores estudando dejetos líquidos de bovinos e suínos, sendo em culturas como a cevada (SORENSEN; AMATO, 2002), o milho (FEDEROLF et al., 2016) e trigo (NYORD et al., 2012).

O maior acúmulo de N na palha, tanto no Experimento I, como no Experimento II, assim como a maior produção de massa seca e produtividade de grãos, foi observado no tratamento DLBi + DCD.

Quanto ao acúmulo de N no grão, no Experimento I esse foi estatisticamente superior nos experimentos sob aplicação injetada do DLB independente se com ou sem inibidor de nitrificação. Para os tratamentos NPK e DLBs + DCD o acúmulo de N no grão não diferiram estatisticamente entre si. Já no Experimento II, os tratamentos com inibidor de nitrificação, indiferentemente do modo de aplicação, e a adubação mineral apresentam o maior acúmulo de N no grão.

O acúmulo de N, no experimento I, foi superior no tratamento DLBi + DCD. Já no experimento II, os tratamentos com adição do inibidor e NPK apresentaram os maiores acúmulos de N e não diferiram entre si. Com relação à variável peso de mil sementes, em ambos os experimentos todos os tratamentos que envolveram a adição de N não diferiram entre si e foram superiores estatisticamente superiores a testemunha.

#### 4.5.6 Parâmetros fitométricos de planta

As variáveis alturas de planta e inserção de espigas foram influenciadas pela disponibilidade de nitrogênio no solo, pelo modo de aplicação dos dejetos e pela presença do inibidor de nitrificação (Figura 5). Os tratamentos que receberam a aplicação dos dejetos apresentaram superioridade em relação ao tratamento testemunha, pois o N participa ativamente na divisão e expansão celular e, do processo fotossintético, sendo o efeito na altura de plantas e inserção de espigas do milho, visível desde a fase de crescimento até que a altura máxima das plantas seja atingida (CASTRO et al., 2008).

Tabela 3 - Altura de planta, inserção da primeira espiga e diâmetro do colmo no milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de bovinos no solo, com e sem o inibidor de nitrificação dicianodiamida, em plantio direto.

Experimento I	Altura de planta	Inserção da espiga	Diâmetro do colmo
Tratamentos	----- Metros -----	-----	----- Milímetros -----
Testemunha	2,58 b	1,11 b	15,7 b
NPK	2,8 a	1,24 a	17,3 ab
DLBs	2,81 a	1,21 ab	18,4 a
DLBs + DCD	2,77 a	1,24 a	17,8 a
DLBi	2,77 a	1,31 a	17,2 ab
DLBi + DCD	2,7 ab	1,24 a	17,6 ab
<b>Experimento II</b>			
Testemunha	2,48 c	1,13 b	16,6 b
NPK	2,84 a	1,34 a	22,5 a
DLBs	2,74 b	1,32 a	21,4 a
DLBs + DCD	2,8 ab	1,31 a	22,5 a
DLBi	2,84 a	1,29 a	20,8 a
DLBi + DCD	2,8 ab	1,29 a	16,4 a

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

No experimento I quando da fertiização de N via DLB ou NPK não houve diferença significativa entre os tratamentos para as variáveis, altura de planta, inserção da espiga e diâmetro do colmo e o mesmo pode ser observado de uma forma geral para o experimento II. Mesmo não se observando diferença significativa para todos os tratamentos em relação a testemunha, numericamente essa apresentou sempre os menores valores para essas três variáveis. Isso pode estar numericamente relacionado à

potencialização das perdas de N por emissão de amônia ao utilizar DCD em superfície (DAMASCENO, 2010; GONZATTO 2012) e lixiviação do nitrato, quando da aplicação em subsuperfície sem o uso de inibidor (DYNIA et al., 2006).

Normalmente, o diâmetro do colmo apresenta correlação com a produtividade por se tratar de um órgão de reserva da planta. De acordo com Fancelli e Dourado-Neto (2000), o colmo atua como estrutura de armazenamento de sólidos solúveis que serão utilizados posteriormente, na definição e formação dos grãos.

#### 4.5.7 Índices de eficiência

Os índices que avaliam a eficiência de uso de N (EUN), bem como teor de N na palha, teor de N no grão, eficiência agrônômica do N (EAN), recuperação aparente do N (RAN), eficiência fisiológica (EF) e eficiência na produção de grãos (IG) no milho foram significativamente maiores com a injeção dos DLB do que com a sua aplicação na superfície do solo ( $P < 0.05$ ) evidenciando o benefício agrônômico dessa prática e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 4 - Teor de N na palha e no grão, eficiência agrônômica do N (EAN), recuperação aparente do N (RAN), eficiência fisiológica (EF), eficiência de utilização de nitrogênio (EUN) e eficiência na produção de grãos (IG) no milho do Experimento I e II em SPD.

Tratamentos	Teor de N		RAN	EAN	EF	EUN	IG
	Palha	Grão					
Experimento I	-----g kg <sup>-1</sup> -----		%	-----kg kg <sup>-1</sup> -----			
Testemunha	7,1 b	10,8 c	-	-	-	-	-
NPK	9,8 a	15,9 ab	114,9 b	34,3 a	67,4 a	55,8	76,8 ab
DLBs	9,5 a	15,1 b	62,9 c	30,9 b	77,4 a	70,7	48,5 c
DLBs + DCD	9,1 a	15,9 ab	109,9 b	34,1ab	80,3 a	57,7	88,2ab
DLBi	10,1 a	18,6 a	127,1 b	34,9 a	57,8 a	45,2	73,1 b
DLBi + DCD	10,7 a	18,9 a	163,4 a	36,4 a	58,3 a	44,1	95,2 a
Experimento II							
Testemunha	4,2 c	11,7 b	-	-	-	-	-
NPK	6,8 b	17,9 a	73,2 a	14,9 a	62,5 a	33,18a	45,5 a
DLBs	6,8 b	15,7 a	47,7 b	8,5 a	65,9 a	29,64a	29,7 c
DLBs + DCD	7,8 b	16,1 a	75,8 a	14,7 a	44,7 a	35,09a	33,5 bc
DLBi	7,1 b	16,46a	44,6 b	9,8 b	58,7 a	39,87a	26,7 c
DLBi + DCD	8,2 a	16,33a	81,9 a	14,5 a	54,5 a	36,36a	44,3 ab

(1) NPK= Fertilizante mineral; DLBs= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de modo superficial; DLBi= Dejetos líquidos de bovinos aplicados de forma injetada no solo; DCD= Dicianodiamida. Médias seguidas da mesma letra na

vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados superiores da injeção, quando comparados à aplicação superficial dos DLB, foi observada e relatada também por Ball Coelho et al. (2006), ao estudarem os dejetos líquidos de suínos sendo que os valores obtidos apresentaram uma variação entre 3 e 4,5 kg de grão kg<sup>-1</sup> N, e foram dependentes da dose de dejetos líquidos de suínos aplicado pelos autores. O efeito positivo da injeção de DLB na eficiência de uso do N dos mesmos confirma resultados obtidos em pastagem (GROOT et al., 2007; KLOP et al., 2012), milho (FEDEROLF et al., 2016), canola, trigo e cevada (MOOLEKI et al., 2002).

Nesse contexto, o melhor desempenho observado no milho nos tratamentos injetados, pode ser resultado direto ao controle da emissão de N-NH<sub>3</sub> (DELL et al., 2012), pois o N amoniacal que seria perdido para a atmosfera ficou conservado no solo e disponível para a cultura do milho, pois a injeção como observado no presente trabalho controla eficientemente a emissão de N-NH<sub>3</sub>, devido a redução da exposição do DLB a atmosfera, vento, temperatura (NYORD et al., 2012; AITA et al., 2014).

#### 4.4 CONCLUSÃO

- a) A injeção no solo de dejetos líquidos de bovinos reduziu as emissões de amônia no milho em sistema plantio direto
- b) A injeção no solo de dejetos líquidos de bovinos aumentou a eficiência de uso do N dos dejetos pela cultura do milho, o acúmulo de N, produtividade de massa seca, produtividade de grãos e apresentando efeito positivo nos parâmetros de planta do milho,
- c) A eficiência do inibidor de nitrificação DCD e da injeção foi comprovada nos dois experimentos em condições de clima e solo distintas.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C. R. et al. Injection of DCD-treated pig slurry reduced NH<sub>3</sub> volatilization without enhancing soil N<sub>2</sub>O emissions from no-till corn in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**. v. 43, p. 789-800, 2014.

- ASING, J. et AL. Assesment of nitrogen losses from urea and na organic maure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 535-541, 2008.
- ASGEDOM, H. et al. Nitrous oxide emissions from a clay soil receiving granular urea formulations and dairy manure. **Agronomy Journal**. v. 106, n. 2, p. 732–744, 2014.
- BALL COELHO, B.R. et al. Nitrogen recovery and partitioning with different rates and methods of sidedressed manure. **Soil Science Society of America Journal**. v.70, 464-473, 2006.
- BELYAEVA, O.N. et al. Use of the agricultural practice of pasture termination in reducing soil N<sub>2</sub>O emissions in high-rainfall cropping systems of south-eastern Australia. **Soil Research**, v.5, n.4, p. 585-597, 2016.
- BOLAN, N.S. et al. Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modelling, environmental implications and mitigation. **Advances in Agronomy**, v.84, p. 37–120, 2004.
- BRONSON, K.F. et al. Control of ammonia volatilization with N- (n-butyl) thiofosporic triamide in loamy sands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.20, p.1439-1459, 1989.
- BOUWMAN, A. F. et al. Nutrient dynamics, transfer and retention along the aquatic continuum from land to ocean: towards integration of ecological and biogeochemical models, **Biogeosciences**, v.10, p. 1–23, 2013.
- CASTRO, P. R. C. et al. Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p. 864, 2008.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DE SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Porto Alegre, 2004.
- CHANTIGNY, M.H. et al. Gaseous N emissions and forage N uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. **Journal of Environmental Quality**, v.36, p. 1864–1872, 2007.
- CRASWELL, E.T.; GODWIN, D.G. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals grown in different climates. In: Tinker PB, Lauchil A (eds) **Advanced Plant Nutrition**, Praeger Publishers, USA, v.1, p 1-56, 1984.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Editora UFV, Viçosa (MG), v.1, p. 382. 2006.
- DAMASCENO, F. **Injeção de dejetos líquidos suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso**. 2010. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

DYNIA, J. F.; SOUZA, M. D.; BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 855-862, 2006.

DELL, C.J. Low disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss. **Journal of Environmental Quality**, v.41, p. 928-937, 2012.

DI H.J.; CAMERON K.C. How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures? **Soil Use and Management**, 28: 54–61, 2012.

DI, H.J.; CAMERON, K.C. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor – a lysimeter study. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 79, 281–290, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos** (Boletim técnico) Embrapa, Rio de Janeiro, 2013.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n.1, p. 6-16, 1998.

FEDEROLF, C. P. et al. Enhanced nutrient use efficiencies from liquid manure by positioned injection in maize cropping in northwest Germany. **European Journal of Agronomy**. v.75, p.130-138, 2016.

GROOT, J.C.J. **Interpretation of results from on-farm experiments: manure-nitrogen recovery on grassland as affected by manure quality and application technique**. 1. An agronomic analysis. *NJAS - Wagen J Life Scien*.v.54, p. 235-254, 2007.

GONZATTO, R. Injeção de dejetos líquidos suínos no solo em plantio direto associada a um inibidor de nitrificação: efeito sobre as emissões de óxido nitroso e amônia. 2010. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

GONZATTO, R. et al. Volatilização de amônia e emissão de óxido nitroso após aplicação de dejetos líquidos de suínos em solo cultivado com milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 9, p. 1590-1596, 2013.

HARRIS, R, et al. The effect of nitrogen (N) fertiliser management on soil mineral N, nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) losses, yield and N uptake of wheat growing in waterlogged prone soils of South Eastern Australia. **Soil Research**, v.54, n.5, p. 619-633, 2016.

HUIJSMANS, J. F. M. et al. Effect of application method, manure characteristics, weather and field conditions on ammonia volatilization from manure applied to arable land. **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 3669-3680, 2003.

- KIEHL, J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica CERES, 1979.
- KLOP, G. et al. Application technique affects the potential of mineral concentrates from livestock manure to replace inorganic nitrogen fertilizer. **Soil Use and Management**. 28:468-477, 2012.
- KUNZ, A. et al. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, v. 22, p. 5485-5489, 2009.
- LAZCANO, C. Soil nitrous oxide emissions in forage systems fertilized with liquid dairy manure and inorganic fertilizers. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.225, n.1, p. 160-172, 2016.
- LI, H, et al. **Relationships of strawberry nursery plant propagation with soil phosphorus, iron and water variation**. In 'Proc. 16th International Plant Nutrition Colloquium. Functions, Interactions and Diagnosis of Nutrient Status'. p. 17-19, 2009.
- MA, B. L.; WU, T. Y. et al. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. **Agronomy Journal**, v. 102, n. 1, p. 134-144, 2010.
- MULVANEY, R. L.; BREMNER, J. M. **Use of urease and nitrification inhibitors for control of urea transformations in soils**. p. 153-196. In E. A. Paul and J. N. Ladd (ed.) Soil biochemistry, vol. 5. Marcel Dekker, New York, 1981.
- MA, L. Mechanism and regulatory strategies of nitrogen flow in food chain of China. Dissertation, **Agricultural University of Hebei**, v.29, p. 475-483, 2010.
- MAGUIRE, R.O. et al. Manure application technology in reduced tillage and forage systems: A Review. **Journal of Environmental Quality**, v.40, p. 292-301, 2011.
- MEADE, G. et al. An evaluation of the combined usage of separated liquid pig manure and inorganic fertiliser in nutrient programmes for winter wheat production. **European Journal of Agronomy**, v.34, p.62-70, 2011.
- MELLO, J.C.A. et al. Alterações nos atributos químicos de um Latossolo Distroférico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 553-561, 2003.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 395 p.
- MISSELBROOK, T. H. et al. Slurry application techniques to reduce ammonia emissions: results of some UK field-scale experiments. **Biosystems Engineering**, v. 81, n. 3, p. 313-321, 2002.

MOOLEKI, S.P. et al. Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**. v.82, p. 57-467, 2002.

MORVAN, T.; LETERME, P.; MARY, B. Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticales en automne par marquage isotopique  $^{15}\text{N}$ . **Agronomie**, v. 16, p. 541-522, 1996.

MONACO, S. et al. Laboratory assessment of ammonia emission after soil application of treated and untreated manures. **Journal of Agricultural Science**, v. 150, p. 65-73, 2012.

MOAL, J. F. et al. Ammonia volatilization following surface-applied pig and cattle slurry in France. **Journal of Agricultural Science**, v. 125, p. 245-252, 1995.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização**, Seção de Geografia, 1961. 46p.

MOIR, J. L. et al. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 111-120, 2007.

MOOLEKI, S.P. et al. Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**. v.82, p. 57-467, 2002.

MATSUNAKA, T. et al. Ammonia volatilization factors following the surface application of dairy cattle slurry to grassland in Japan: Results from pot and field experiments. **Soil Science & Plant Nutrition**, v. 54, p. 627-637, 2008.

NÔMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest. **Plant and Soil**, v. 39, p. 309-318, 1973.

NYORD, T., M.N. et al. Ammonia volatilization and crop yield following land application of solid-liquid separated, anaerobically digested, and soil injection animal slurry to winter wheat. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.160, p. 75-81, 2012.

OENEMA, O. ET AL. Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 72, p. 51-65, 2005.

OENEMA, O. Modeling nutrient flows in the food chain of China. **Journal of Environmental Quality**, v.39, p. 1279-1289, 2010.

PANETTA, D.M., et al. Management strategy impacts on ammonia volatilization from swine manure. **Journal of Environmental Quality**, v- 34, p.1119-1130, 2005.

PUJOL, S. B. **Emissão de amônia e dinâmica do nitrogênio no Solo com parcelamento da dose e adição de Inibidor de nitrificação em dejetos de suínos**. 2012. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

PETTYGROVE, G.S. Dairy manure nutrient content and forms. **Manure Technical Guide Series. University of California Cooperative Extension**, p. 1–10. <http://manuremanagement.ucdavis.edu>, 2009.

PUTTANNA, K., N.M. Evaluation of nitrification inhibitors for use under tropical conditions. **Commun. Soil Science Plant Analysis**, v.30, n.4, p. 519-524, 1999.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J. **How a corn plant develops. Ames: Iowa State University of Science and Technology/ Cooperative Extension Service**, 1989. (Special Report, 48)

ROCHETTE, P., D.A. et al. Gasser, and N. Bertrand. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 84, p. 71-80, 2009.

SMITH, E., R. Management strategies to simultaneously reduce ammonia, nitrous oxide and odour emissions from surface-applied swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v 88, p. 571–584, 2008.

SCHIMITT, M.A. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. **Journal of Production Agriculture**. v. 8, p.2, 1995.

SMITH, E. et al. Management strategies to simultaneously reduce ammonia, nitrous oxide and odour emissions from surface-applied swine manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 88: 571-584, 2008.

SMITH, E. et al. Comparison of three simple field methods for ammonia volatilization from manure. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 87, p. 469-477, 2007.

SMITH, L. C.; DEKLEIN, C. A. M.; CATTO, V. D. Simulated management effects on ammonia emissions from field applied manure. **Journal Environmental of Management**, 90:2531-2536, 2009.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service**, U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, 2014.

SOMMER, S. G. et al. Ammonia volatilization from surface-applied livestock slurry as affected by slurry composition and slurry infiltration depth. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, 229–235, 2006.

SOMMER, S. G. et al. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 465-486, 2003.

SOMMER, S. G.; JACOBSEN, O. H. Infiltration of slurry liquid and volatilization of ammonia from surface applied pig slurry as affected by soil water content. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, 132, 297-303. 1999.

SMOLDERS A. J. et al. How nitrate leaching from agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. **Biogeochemistry**, v.98, p. 1–7, 2010.

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.

SØGAARD, H. T.; et al. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry-the ALFAM model. **Atmospheric Environment**. 36: 3309-3319, 2002.

SUTTON, A.L. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. **Journal of Environmental Quality**. v.11, p.468-472, 1982.

TAO, X.; et al. Dicyandiamide application plus incorporation into soil reduces N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from anaerobically digested cattle slurry. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p. 169-174, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, p.174, (Boletim Técnico, 5), 1995.

VALLEJO, A., G.L. et al. Comparison of N losses (NO<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. **Plant Soil**, v. 272, p. 313-325, 2005.

VAN DER HOEK, K.W. Nitrogen efficiency in global animal production, **Environmental Pollution**, Amsterdam, v. 102, n. 1, p. 127-132, 1998.

VELTHOF, G. L.; MOSQUERA, J. The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 298-308, 2011.

ZAMAN, et al. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology & Biochemistry**, v.41, p.1270–1280, 2009.

ZAMAN, M. et al. Nitrous oxide generation, denitrification and nitrate removal in a seepage wetland intercepting surface and subsurface flows from a grazed dairy catchment. **Australian Journal of Soil Research**, v.46, p. 565–577, 2008.

ZAMAN, M. et al. Can soil amendments (zeolite or lime) shift the balance between nitrous oxide and dinitrogen emissions from pasture and wetland soils receiving urine or urea-N. **Australian Journal of Soil Research**, v.45, p.543–553, 2009.

ZAMAN, M. et al. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in different soil depths after surface applications of dairy shed effluent and ammonium fertilizer. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.63, p. 275–290. 2002.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos com os quatro experimentos é possível considerar que, nas condições do presente trabalho, que a injeção dos DLB e o uso da dicianodiamida foram positivos nos parâmetros estudados.

A injeção dos DLB em SPD é eficiente na redução das perdas de N para atmosfera via emissão de amônia ( $N-NH_3$ ) em solos cultivado com gramíneas, como o milho e o trigo. Além do benefício ambiental proporcionado pela injeção dos DLB, o estudo demonstrou os benefícios agrônômicos, que também são fundamentais para a sustentabilidade das atividades leiteiras, destacando-se o aumento da produtividade de grãos e o acúmulo de N. Estes resultados se devem ao fato da injeção do DLB juntamente com a DCD aumentarem a eficiência de uso do N, devido a maior recuperação do  $N-NH_4^+$  do DLB pelo trigo e milho em comparação a aplicação superficial. Além disso, os demais parâmetros fitométricos avaliados, ainda que, embora não significativo para alguns parâmetros a injeção do DLB + DCD mostrou-se uma fonte eficiente de N para o trigo e milho, principalmente para a produção de massa seca, importante para a sustentabilidade do sistema plantio direto e atividades leiteiras, além da produtividade de grãos, sendo que, o aumento no tratamento DLBi + DCD foi superior a adubação mineral via NPK tradicionalmente utilizada. As culturas do milho e trigo utilizando exclusivamente adubação com DLB+ DCD podem promover um aporte de massa seca ao sistema produtivo de até  $14 \text{ Mg ha}^{-1}$  no milho e  $8180,6 \text{ kg ha}^{-1}$  no trigo, sendo necessários mais estudos utilizando doses mais elevadas e parceladas de DLB + DCD injetado a fim de se obter resultados mais detalhados destas culturas com esta fonte de nutriente.

Além disso, estas práticas apresentam a vantagem de possibilitar a aplicação em SPD, devido a pequena mobilização do solo, pois a aplicação é restrita aos sulcos onde ocorre a injeção, dessa forma preservando os restos culturais e a palhada da cultura anterior.

Com relação ao uso do inibidor de nitrificação, a dicianodiamida aplicada com DLB aumenta a eficiência de uso do N por gramíneas, entretanto esta eficiência pode variar, bem como as demais respostas, sendo que estas são dependentes das condições climáticas e edáficas, como a temperatura, e chuvas ocorridas no período, umidade do

solo, capacidade de infiltração do solo. Mas, de maneira geral a injeção de DLB e uso de DCD proporcionam efeito benéfico na retenção de  $N-NH_4^+$  no sistema solo-planta, pois a DCD preserva por maior período de tempo o N amoniacal do DLB no solo, o que resulta em maior aproveitamento do N pelo trigo e milho.

Todavia, ainda há grande necessidade de mais detalhes e estudos avaliando a viabilidade econômica da injeção do DLB, combinada ou não ao uso do inibidor de nitrificação dicianodiamida. Ademais, outros modos de aplicação e demais inibidores de nitrificação precisam ser avaliados, bem como estudar o comportamento das culturas em respostas a aplicação de altas e diferentes doses ou do parcelamento de DLB..