

**SULIAN JUNKES DAL MOLIN**

**DESEMPENHO DE FERTILIZANTES  
NITROGENADOS NA VOLATILIZAÇÃO DE  
AMÔNIA, NA LIXIVIAÇÃO E NO  
RENDIMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada ao centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Ph.D. Paulo Roberto Ernani  
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol  
Coorientador: Prof. Dr. Jaime Antonio Almeida

**LAGES, SC**

**2016**

Dal Molin, Sulian Junkes

Desempenho de fertilizantes nitrogenados na volatilização de amônia, lixiviação e no rendimento do feijoeiro / Sulian Junkes Dal Molin. - Lages, 2016.

86 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Paulo Roberto Ernani

Coorientador: Paulo Cezar Cassol

Coorientador: Jaime Antônio Almeida

Inclui bibliografia

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2016.

1. Perdas de nitrogênio. 2. Ureia protegida. 3. Eficiência de fertilizantes. I. Dal Molin, Sulian Junkes. II. Ernani, Paulo Roberto. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. IV. Desempenho de fertilizantes nitrogenados na volatilização de amônia, lixiviação e no rendimento do feijoeiro.

Ficha catalográfica elaborada pelo aluno.

**SULIAN JUNKES DAL MOLIN**

**DESEMPENHO DE FERTILIZANTES  
NITROGENADOS NA VOLATILIZAÇÃO DE  
AMÔNIA, NA LIXIVIAÇÃO E NO  
RENDIMENTO DO FEIJOEIRO**

Dissertação apresentada ao centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

**Banca Examinadora**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Ph.D. Paulo Roberto Ernani  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC  
Departamento de Ciência do Solo

Membro: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Álvaro Luiz Mafra  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC  
Departamento de Ciência do Solo

Membro: \_\_\_\_\_  
Professor Dra. Marlise Nara Ciotta  
Epagri – Estação Experimental de São Joaquim

**Lages/SC, 4 de Fevereiro de 2016.**



Dedico este trabalho aos meus pais, Seonir Antônio Dal Molin e Ivete Junkes Dal Molin, pelo amor e carinho, e aos valores a mim passados.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela possibilidade de realizar mais um sonho na minha trajetória acadêmica-profissional;

Aos meus pais e à minha irmã, pela confiança e apoio;

À minha namorada, pela ajuda, compreensão, carinho e amor;

Ao orientador, professor Paulo Roberto Ernani, pela confiança, ensinamentos e conselhos;

Aos colegas e amigos do laboratório de química e fertilidade do solo;

Aos professores da pós-graduação e;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo, à UDESC e ao CNPq.





## RESUMO

DAL MOLIN, Sulian Junkes. **Desempenho de fertilizantes nitrogenados na volatilização de amônia, na lixiviação e no rendimento do feijoeiro.** 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC. 2016.

Este trabalho visou avaliar o efeito da adição de fertilizantes nitrogenados ao solo na lixiviação, na volatilização e no rendimento de feijoeiro. Para isso foram implantados três experimentos, todos utilizando um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico, argiloso e com médio teor de matéria orgânica. Os fertilizantes utilizados foram: Ureia convencional, Super N<sup>®</sup>, Kimcoat N<sup>®</sup>, Nitro Mais<sup>®</sup>, Super Nitro<sup>®</sup>, Producote<sup>®</sup>, Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, Sulfammo Meta 29<sup>®</sup> e Nitrato de Amônio. O primeiro estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação dos fertilizantes em cobertura, associados a formas de aplicação de calcário, na volatilização de amônia. Ele foi realizado em câmara de crescimento, em Lages, SC. As amostras de solo foram acondicionadas em potes plásticos e acoplados a câmaras de volatilização. Os tratamentos foram constituídos pelos fertilizantes citados, na dose de 157 mg de nitrogênio (N) por unidade experimental, exceto o Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, além da testemunha sem N, combinados com calagem, superficial ou incorporada. A volatilização foi determinada aos 1, 2, 4, 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos fertilizantes. As formas de calagem não influenciaram a volatilização a partir dos fertilizantes amídicos mas aumenta a de fertilizantes amoniacais. O segundo experimento teve como objetivo avaliar a lixiviação de N decorrente da adição dos fertilizantes, também em laboratório, em Lages, SC. Amostras de solo foram acondicionadas em colunas de PVC. Os

fertilizantes, exceto o Sulfammo Meta 29<sup>®</sup>, foram aplicados a 5 cm de profundidade, na dose de 400 mg coluna<sup>-1</sup> de N. Foram feitas 13 percolações semanais de 300 ml por coluna. A lixiviação de amônio foi pequena e não diferiu entre os tratamentos. Os fertilizantes amídicos apresentaram as maiores quantidades de nitrato lixiviadas. Portanto, os mecanismos de proteção da ureia não foram eficientes na redução das perdas por lixiviação de nitrogênio. O terceiro estudo teve como objetivo avaliar a resposta do feijoeiro aos fertilizantes nitrogenados aplicados em cobertura. O experimento foi conduzido em Vacaria, RS, em um Latossolo cultivado anteriormente por vinte anos com um pomar de macieira. Os fertilizantes, exceto o Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, foram aplicados em cobertura, na dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N. O rendimento médio de grãos foi de 3770 kg ha<sup>-1</sup> e, assim como as demais variáveis, não foi influenciado pela adição de nenhum dos fertilizantes, possivelmente devido à alta disponibilidade de N no solo em função da mineralização da matéria orgânica durante o ciclo vegetativo. Sendo assim, verifica-se que não há necessidade da adição de N de cobertura para o feijoeiro nessas condições.

**Palavras-chave:** Perdas de nitrogênio. Ureia protegida. Eficiência de fertilizantes.

## ABSTRACT

DAL MOLIN, Sulian Junkes. **Performance of nitrogen fertilizers on ammonia volatilization, leaching and common bean yield.** 86 f. Dissertation (Master's Degree in the Soil Science) – University of Santa Catarina. Graduate Program in Agricultural Sciences, Lages, SC. 2016.

This study aimed to evaluate the effect of nitrogen fertilizers added to the soil on N leaching, volatilization and common bean yield. Three experiments were conducted, all using a clayey Humic Hapludox with medium organic matter content. The fertilizers used were: conventional Urea, Super N<sup>®</sup>, Kimcoat N<sup>®</sup>, Nitro Mais<sup>®</sup>, Super Nitro<sup>®</sup>, Producote<sup>®</sup>, Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, Sulfammo Meta 29<sup>®</sup> and Ammonium Nitrate. The first study aimed to evaluate the effect of topdressing N fertilizers, combined with two lime application forms, on ammonia volatilization. This experiment was conducted in controlled conditions, in Lages, SC. Soil samples were placed in plastic pots and coupled to volatilization chambers. Treatments included the above fertilizers, except Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, at a rate of 157 mg of nitrogen (N) per experimental unit, plus a control without N, combined with incorporated or broadcast liming. Volatilization was determined at 1, 2, 4, 7, 14, 21, 28 and 35 days after fertilizer application. Liming form did not affect volatilization from amidic fertilizers but increases from ammonium fertilizers. The second experiment evaluated N leaching after fertilizer addition under laboratory conditions, in Lages, SC. Soil samples were placed in PVC columns. The fertilizers, except

Sulfammo Meta 29<sup>®</sup>, were applied at 5 cm deep at a N rate of 400 mg column<sup>-1</sup>. Distilled water (300 ml column<sup>-1</sup>) was applied weekly, during 13 weeks. The ammonium leaching was small and did not differ between treatments. The amidic fertilizers caused the highest leaching of nitrate. Thus, the urea protection mechanisms were not efficient in reducing N losses by leaching. The third study aimed to evaluate the response of bean to nitrogen fertilizers applied in top dressing. The experiment was conducted in Vacaria, RS, in an area previously cultivated with an apple orchard for twenty years. The fertilizers, except Sulfammo Meta 22<sup>®</sup>, were topdressed at a N rate of 60 kg ha<sup>-1</sup>. The average grain yield was 3770 kg ha<sup>-1</sup> and, like all other attributes, was not influenced by the addition of any fertilizer, possibly due to the high N availability in the soil as a result of the organic matter mineralization during the growing season. Thus, apparently there is no need for topdressing for bean under these conditions.

**Keywords:** Nitrogen loss. Urea coated. Fertilizer efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Ilustração resumida das principais reações do nitrogênio no solo..... 21
- Figura 2 - Influência do pH na proporção de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo. .... 22
- Figura 3 - Síntese de fertilizantes nitrogenados a partir de  $\text{N}_2$  atmosférico. .... 25
- Figura 4 - Processo de liberação de N em fertilizantes protegidos. .... 27
- Figura 5 - Cobertura de grânulo de ureia quebrada ou trincada. .... 28
- Figura 6 - Cobertura de grânulo de ureia com camada e enxofre e de polímero. .... 29
- Figura 7 - Câmara de volatilização com garrafa PET. .... 37
- Figura 8 - Volatilização diária de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário incorporado. .... 41
- Figura 9 - Volatilização diária de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário em superfície. .... 43
- Figura 10 - Volatilização acumulada de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário incorporado. .... 44
- Figura 11 - Volatilização acumulada de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de

|   |   |                  |
|---|---|------------------|
|   | diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário em superfície. .... | 45               |
| Figura 12 - Coluna  | de  | lixiviação. .... |
|   |   | 54               |
| Figura 13 - Lixiviação de amônio por percolação em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados. ....      |   | 56               |
| Figura 14 - Lixiviação de amônio acumulada em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados. ....           |   | 57               |
| Figura 15 - Lixiviação de nitrato por percolação em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados. ....     |   | 58               |
| Figura 16 - Lixiviação de nitrato acumulada em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados. ....                            |   | 59               |
| Figura 17 - Concentração de amônio e nitrato no solo após as 13 percolações. ....   |   | 60               |
| Figura 18 - Conteúdo de N mineral no solo antes da aplicação dos fertilizantes e 21 dias após a aplicação dos fertilizantes. .... |   | 71               |
| Figura 19 - Distribuição da precipitação diária ocorridas do momento do plantio à colheita do experimento. ....                   |   | 73               |

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração. .... 36
- Tabela 2 - Valores de pH em função do modo de aplicação de calcário e da aplicação ou não de fertilizantes. .... 40
- Tabela 3 - Valores acumulados de amônia volatilizada em função do modo de aplicação de calcário e dos fertilizantes utilizados..... 46
- Tabela 4 - Porcentagem de N perdido por volatilização de amônia em relação ao aplicado no solo 35 dias após a aplicação do fertilizante..... 47
- Tabela 5 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração. .... 53
- Tabela 6 - Porcentagem de amônio e nitrato mais nitrito do aplicado no solo após as 13 percolações, lixiviado e total..... 61
- Tabela 7 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração. .... 67
- Tabela 8 - Médias de teor de N nas folhas, massa de mil grãos e produtividade de feijoeiro em função da adição ou não de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura a partir de fertilizantes nitrogenados. .... 70





## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>   | <b>19</b> |
| 1.1          | NITROGÊNIO NO AMBIENTE .....   | 19        |
| 1.2          | PERDAS DE NITROGÊNIO .....   | 20        |
| 1.3          | FERTILIZANTES NITROGENADOS .....   | 23        |
| <b>1.3.1</b> | <b>Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada.....</b>  | <b>26</b> |
| <b>1.3.2</b> | <b>Fertilizantes nitrogenados estabilizados.....</b>   | <b>29</b> |
| <b>2</b>     | <b>CAPÍTULO I – VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS SUBMETIDOS A FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO .....</b> | <b>31</b> |
| 2.1          | INTRODUÇÃO.....  | 33        |
| 2.2          | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 35        |
| 2.3          | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 39        |
| 2.4          | CONCLUSÕES.....  | 48        |
| <b>3</b>     | <b>CAPÍTULO II – LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO DECORRENTE DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS.....</b>                     | <b>49</b> |
| 3.1          | INTRODUÇÃO.....  | 50        |
| 3.2          | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 52        |
| 3.3          | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 56        |
| 3.4          | CONCLUSÕES.....  | 62        |
| <b>4</b>     | <b>CAPÍTULO III - EFEITO DE FERTILIZANTES MINERAIS NITROGENADOS NO RENDIMENTO DO FEIJOEIRO .....</b>                         | <b>63</b> |
| 4.1          | INTRODUÇÃO.....  | 64        |
| 4.2          | MATERIAL E MÉTODOS.....  | 66        |
| 4.3          | RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 69        |

|     |                            |    |
|-----|----------------------------|----|
| 4.4 | CONCLUSÃO .....            | 74 |
| 5   | CONSIDERAÇÕES GERAIS ..... | 75 |
| 6   | REFERÊNCIAS.....           | 77 |

# 1 REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1 NITROGÊNIO NO AMBIENTE

De todos os nutrientes minerais o nitrogênio (N) é, quantitativamente, o mais importante para o crescimento das plantas. Ele faz parte de proteínas, ácidos nucleicos e muitos constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais. Isto faz com que as principais reações bioquímicas em plantas envolvam a presença de N (BACON, 1995; CANTARELLA, 2007; SOUZA; FERNANDES, 2006).

O nitrogênio é absorvido pelas raízes das plantas nas formas de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) em sua maior parte. Em menores quantidades, pode ser absorvido na forma  $\text{N}_2$ , ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) e aminoácidos solúveis em água (LOPES, 1998; MALAVOLTA, 2006).

A forma predominantemente absorvida, em condições naturais, é a nítrica em função da proporção que se encontra na rizosfera. Algumas culturas absorvem grandes quantidades de amônio, quando este se encontra presente no solo, devido à forma amoniacal ser incorporada às proteínas com menor gasto energético, diferentemente da forma nítrica que precisa ser reduzida antes de ser incorporada ao metabolismo da planta (LOPES, 1998).

O N é um importante constituinte da terra, participando da litosfera nas rochas, oceanos, sedimentos e da atmosfera, nesta com concentração de 78% dos gases, além da biosfera onde 96% do N terrestre se encontram na matéria orgânica morta. O solo é o principal elo entre os componentes da biosfera (Figura 1), constituindo um reservatório de N de grande importância agrícola (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Da matéria orgânica do solo, 5% são representados pelo nitrogênio. Porém, destes, 98% estão na forma orgânica e somente 2% estão na forma mineral. Os microrganismos são responsáveis pela mineralização dos compostos nitrogenados,

entretanto, pela dificuldade que os eles encontram para mineralizar o nitrogênio, somente uma fração se torna disponível para as plantas em um ano agrícola (MALAVOLTA, 2006).

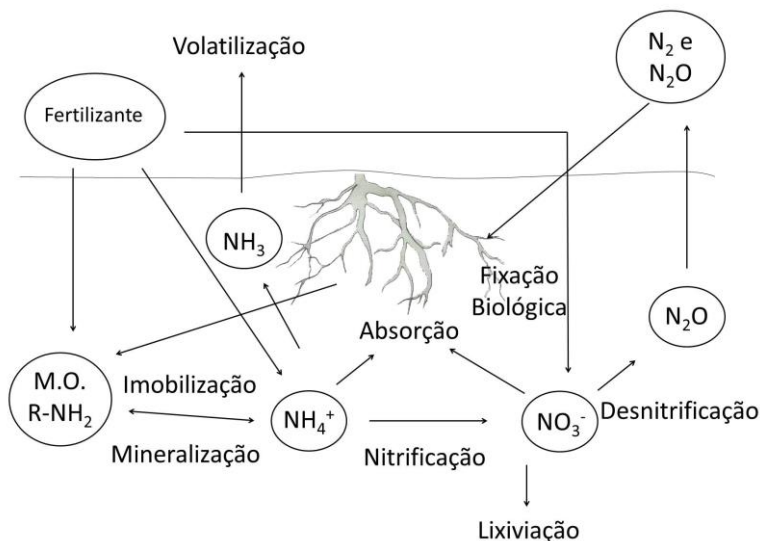
Algumas espécies de plantas realizam associações simbióticas com bactérias fixadoras de N. Plantas como o feijoeiro e a soja, associadas com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* respectivamente, fixam N<sub>2</sub> atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas. A fixação de N, pela inoculação de sementes, pode suprir toda a demanda da planta para obtenção de altas produtividades, como é o caso da soja (CRISPINO et al., 2001; HUNGRIA et al., 2006; MENDES; REIS JUNIOR; HUNGRIA, 2008), porém, para culturas como o feijoeiro, ainda é necessário complementação mineral de N para se alcançar alto rendimento (BRITO et al., 2015; COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004; PELEGRIN et al., 2009; VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000).

A disponibilidade de nitrogênio às plantas está relacionada com as diversas reações, e a velocidade com que as mesmas ocorrem no solo (Figura 1). Isso faz com que o nitrogênio seja o nutriente cuja disponibilidade às plantas seja a de maior complexidade, além de ser o mais susceptível a perdas.

## 1.2 PERDAS DE NITROGÊNIO

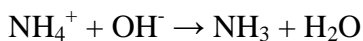
As principais perdas de N são decorrentes dos processos de volatilização, lixiviação e desnitrificação (Figura 1). A predominância de um ou outro processo é dependente da forma em que o N encontra-se no solo. Na forma de amônio, estará sujeito a perdas por volatilização e, embora menos comum, por lixiviação; já na forma nítrica, o N pode ser perdido pelos processos de lixiviação e desnitrificação.

Figura 1 - Ilustração resumida das principais reações do nitrogênio no solo.



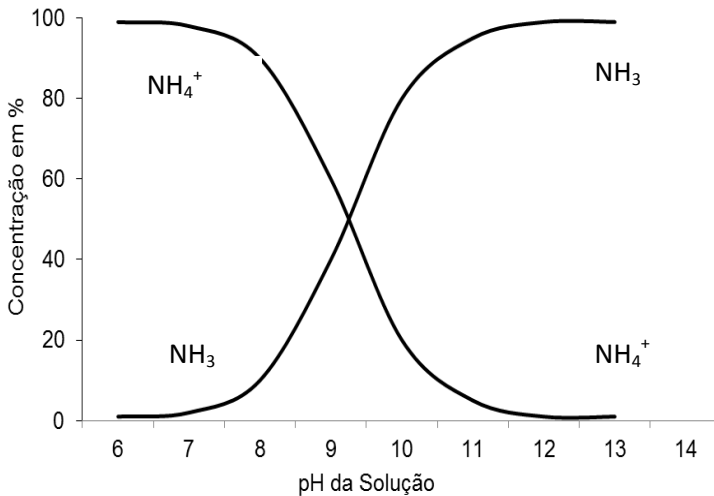
Fonte: Produção do próprio autor (2016), baseado em Cantarella (2007).

As perdas mais comuns de N na forma de amônio são por volatilização. Isto acontece quando ocorre a desprotonação do amônio transformando-o em amônia (NH<sub>3</sub>), quando o pH do solo ao redor da molécula de amônio for alto. A NH<sub>3</sub>, em condições naturais, é um gás volátil. Quando formada no solo, a NH<sub>3</sub> pode ser perdida para atmosfera caso não encontre regiões no solo com pH mais ácido para voltar à forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. A reação de equilíbrio entre amônio e a amônia é a seguinte:



Perdas por volatilização são influenciadas por diversos fatores. Volatilizações de amônia são observadas em solos alcalinos com pH maior do que 7 (Figura 2), como ocorre em países norte-americanos e europeus, quando se utiliza fertilizantes amoniacais, ou em solos ácidos quando a ureia é aplicada sobre a superfície do solo (ERNANI, 2008). As perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  são favorecidas pelo aumento da dose de N aplicada, temperaturas altas, média umidade do solo (TASCA et al., 2011), em solos arenosos e quando a aplicação é realizada sobre a superfície do solo (SANGOI et al., 2003).

Figura 2 - Influência do pH na proporção de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo.



Fonte: Adaptado de Halvin et al. (2005).

Embora a principal perda de N a partir da amônia ocorra por volatilização, podem também ocorrer perdas de amônio por lixiviação (ARAUJO et al., 2004; LORENSINI et al., 2012). O amônio se encontra principalmente ligado nas

cargas elétricas negativas do solo, resultando em baixa concentração na solução. Em solos aerados, praticamente todo o  $\text{NH}_4^+$  é convertido a  $\text{NO}_3^-$  em até 40 dias (ROGERI et al., 2015). Devido aos solos possuírem cargas predominantes negativas e a nitrificação ser rápida, normalmente existe pouca lixiviação de amônio.

As perdas de N por lixiviação são mais frequentes na forma nítrica. O nitrato tem comportamento aniônico e sua configuração não permite que realize ligações específicas aos colóides de solo; ocorrem apenas ligações eletrostáticas, que dependem da carga líquida do solo (ALCANTRA; CAMARGO, 2005). Essas características fazem com que todo o  $\text{NO}_3^-$  se encontre na solução do solo ficando suscetível de ser lixiviado por meio da percolação de água (ARAÚJO et al., 2004; LORENSINI et al., 2012).

O nitrato também pode ser perdido por desnitrificação. A desnitrificação é a redução do nitrato a óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) que, por ser um gás, é perdido para a atmosfera. Este processo ocorre em ambientes onde há restrição de oxigênio, pois o  $\text{NO}_3^-$  passa a ser a primeira molécula a receber elétrons da atividade microbiana anaeróbica. A desnitrificação torna-se a principal forma de perda de N em culturas alagadas, como o arroz, ou onde ocorra acúmulo superficial de água.

### 1.3 FERTILIZANTES NITROGENADOS

Os fertilizantes minerais representam a principal forma de suplementar N para as plantas. O Salitre do Chile foi o único adubo mineral nitrogenado proveniente de mineração a ter importância econômica como fertilizante. Composto por aproximadamente 15% de N, 14% de K e 18% de Na, o Salitre do Chile é obtido do Caliche, rocha proveniente do Deserto do Atacama, no Chile. Porém, sua importância como fertilizante não se sobressaiu à produção sintética de fertilizantes nitrogenados (ARCHIVO NACIONAL DE CHILE, 2016).

O dinitrogênio (N<sub>2</sub>) atmosférico é a principal fonte de N na produção de adubos nitrogenados. A transformação do N<sub>2</sub> em N mineral inicia com o processo de Haber-Bosch, desenvolvido no início do século 20 (CANTARELLA, 2007). Nesta reação, N<sub>2</sub> e o H<sup>+</sup> oriundo de combustíveis fósseis são submetidos a condições de alta temperatura e pressão, onde o produto desta reação é o gás amônia. A partir da amônia se obtém os principais fertilizantes amoniacaais, a ureia e o ácido nítrico. A partir da obtenção do ácido nítrico pode-se produzir os diferentes fertilizantes nítricos (Figura 3).

A ureia é sintetizada através da reação entre a amônia e o dióxido de carbono. A molécula de ureia pura contém 46,67% de nitrogênio em sua composição. Essa alta concentração faz com que ela tenha o menor custo por unidade de N quando comparada aos demais fertilizantes nitrogenados. Isso faz com que a ureia seja o fertilizante nitrogenado mais utilizado nas adubações. A reação de síntese da ureia é a seguinte:



A ureia pode ser absorvida tanto pelas folhas quanto pelas raízes, diretamente ou depois do seu desdobramento pela enzima urease (MALAVOLTA, 2006). A hidrólise da ureia resulta na formação de carbonato de amônio, que é instável e se decompõe rapidamente originando amônio, bicarbonato e hidroxila. Parte do amônio é convertida em amônia, que é um gás e pode se perder para a atmosfera, e a outra parte pode ser nitrificada sendo convertida em nitrato em até 40 dias (ROGERI et al., 2015). As reações de hidrólise da ureia são as seguintes:





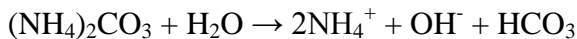
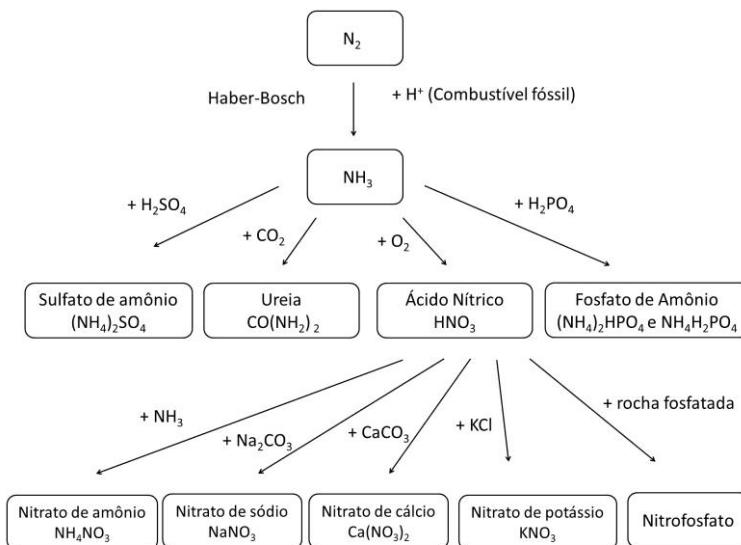


Figura 3 - Síntese de fertilizantes nitrogenados a partir de  $\text{N}_2$  atmosférico.



Fonte: Produção do próprio autor (2016), baseado em Cantarella (2007) e em Villalba et al. (2014).

Os solos do Brasil são predominantemente ácidos, não havendo problemas com volatilização de N na forma de  $\text{NH}_3$  com o uso de fertilizantes amoniacais. No entanto, a volatilização de  $\text{NH}_3$  tem grande importância quando se aplica ureia sobre a superfície do solo, pois no processo da hidrólise da mesma ocorre a elevação do pH ao redor dos grânulos devido às reações da hidroxila e do bicarbonato com o hidrogênio do solo, ocasionando condições favoráveis à volatilização de  $\text{NH}_3$  (CANTARELLA, 2007; CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007; ERNANI, 2003; ERNANI, 2008).

As reações da hidroxila e do bicabornato com o hidrogênio do solo são as seguintes:



Com o objetivo de diminuir a velocidade de hidrólise da ureia, por meio da inibição temporária da urease, alguns compostos químicos têm sido misturados à ureia reduzindo a transformação de N amídico em amônio e, conseqüentemente, a taxa de volatilização (TASCA et al., 2011; VITTI; HEIRINCHS, 2007). Esses fertilizantes estão sendo referidos com o termo “Enhanced Efficiency Fertilizers”, cuja tradução para o português significa “Fertilizantes de Eficiência Aumentada” (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

Os fertilizantes de eficiência aumentada à base de ureia reduzem sua rápida hidrólise e aumentam as chances de que chuvas, irrigação, ou operações mecânicas incorporem a ureia no solo e reduzam o pico de alcalinização, fazendo com que aumente a interação da  $\text{NH}_3$  com o solo (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007). Esses podem ainda serem divididos em dois grupos: os fertilizantes de liberação lenta ou controlada e os fertilizantes estabilizados (CANTARELLA, 2007; CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

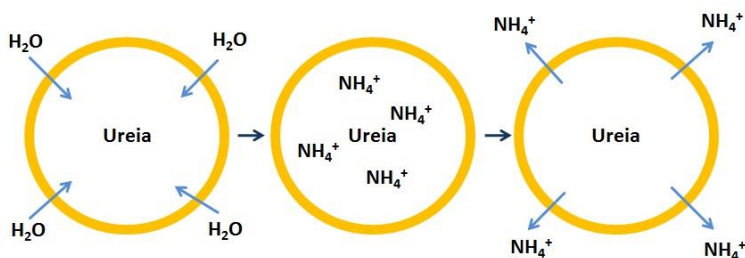
### **1.3.1 Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta ou controlada**

Fertilizantes de liberação lenta ou controlada são caracterizados por serem recobertos. Esses fertilizantes apresentam lenta liberação de N para o solo por um determinado período de tempo que pode variar conforme a natureza da substância utilizada para a cobertura.

O que diferencia os fertilizantes de liberação controlada dos de liberação lenta é o mecanismo de liberação do N. A liberação do N nos fertilizantes de liberação controlada acontece pela difusão da água e do amônio ou ureia através da camada protetora. Por outro lado, a liberação do N nos fertilizantes de liberação lenta ocorre pela decomposição do produto (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

A liberação controlada é devida a menor higroscopicidade (REIS JUNIOR; SILVA, 2012) e baixa permeabilidade de água pela cobertura, pois a água precisa passar pela camada protetora e dissolver o fertilizante para após ocorrer a liberação (Figura 4). Os materiais mais comuns para a proteção da ureia são o enxofre, resinas e polímeros, usados de forma individual ou em conjunto (CANTARELLA, 2007; CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

Figura 4 - Processo de liberação de N em fertilizantes protegidos.



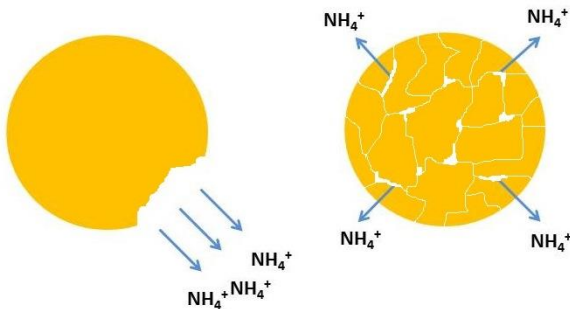
Fonte: Produção do próprio autor (2016).

A cobertura pode ser composta por uma fina camada de enxofre (TRENKEL, 1997). A cobertura dos grânulos de ureia pode ser eficiente na liberação lenta de amônio, porém, esta depende da qualidade da camada de enxofre no grânulo de ureia. A cobertura pode estar trincada logo após o revestimento

ou ocorrer dano mecânico na embalagem, transporte e aplicação do fertilizante (Figura 5). No caso de a cobertura estar danificada o  $\text{NH}_4^+$  é normalmente liberado não havendo retardação na liberação de N.

Ureia recoberta com enxofre pode apresentar liberação lenta diminuindo as perdas por volatilização (NASCIMENTO et al., 2013) aumentando absorção de N e rendimento de grãos comparado a ureia convencional quando aplicado em superfície (DALAL, 1975). Porém, alguns estudos mostram que a cobertura com enxofre não apresenta redução de perdas de amônia por volatilização (FARIA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014).

Figura 5 - Cobertura de grânulo de ureia quebrada ou trincada.



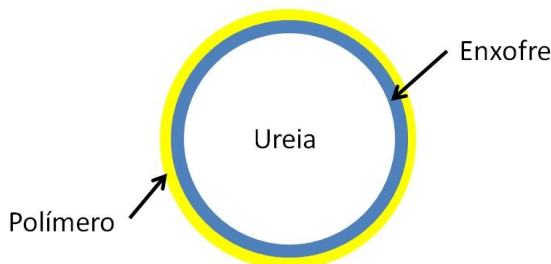
Fonte: Produção do próprio autor (2016).

Polímeros orgânicos também são usados para encapsular ureia no intuito de retardar a liberação de N. O uso de polímeros isolado ou associado com enxofre no revestimento de fertilizantes aumenta a eficiência no retardamento da liberação de N. Quando usado em associação com o enxofre os polímeros podem corrigir as possíveis falhas ocorridas no revestimento (Figura 6). Assim, a liberação de N em fertilizantes com cobertura de enxofre seguida da aplicação

de polímero passa a ser dependente da difusão da água para o interior e do  $\text{NH}_4^+$  para o exterior do grânulo.

O uso de ureia recoberta com polímeros tem apresentado resultados discrepantes. Estudos mostram que ureia protegida com polímeros tanto pode aumentar (FRAZÃO et al., 2014; LYU et al., 2015; SOUZA et al., 2013) como não influenciar o rendimento das culturas (BERNARDES et al., 2015; VALDERRAMA, et al., 2014). Pode ainda apresentar respostas diferentes em função da forma de aplicação (CIVARDI et al., 2011), época do ano (MARTINS; CAZETTA; FUKUDA, 2014) e em safras diferentes (WATTS et al., 2014).

Figura 6 - Cobertura de grânulo de ureia com camada de enxofre e de polímero.



Fonte: Produção do próprio autor (2016).

### 1.3.2 Fertilizantes nitrogenados estabilizados

Além dos fertilizantes de liberação lenta e liberação controlada, os fertilizantes nitrogenados estabilizados têm sido utilizados para reduzir as perdas de volatilização. Os fertilizantes nitrogenados estabilizados são divididos em dois grupos: inibidores de nitrificação e inibidores de urease. Os inibidores de urease bloqueiam temporariamente a atividade da urease, que é responsável pela hidrólise da ureia

(CANTARELA, 2007; CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

Os inibidores de urease que apresentam os melhores resultados são os análogos à ureia. O mais comum no mercado é o n-(n-butyl) tiofosfórico triamida (NBPT -  $C_4H_{14}N_3PS$ ), conhecido mundialmente através da marca comercial Agrotain<sup>®</sup>. No Brasil é utilizado no fertilizante Super N<sup>®</sup> (SHAH; SOOMRO, 2012; VITTI; HEIRINCHS, 2007). O análogo do NBPT, o NBPTO, é mais eficiente em reduzir as perdas por volatilização (CHRISTIANSON; BYRNES; CARMONA, 1990), sendo que em solos aerados a conversão de NBPT para NBPTO ocorre naturalmente (CANTARELLA, 2007).

Em condições onde a incorporação da ureia é difícil, onde há pouca oportunidade de incorporação por infiltração de água e onde há elevada atividade de urease na superfície do solo, a exemplo do plantio direto, o uso de inibidores de urease é benéfico na redução da volatilização de  $NH_3$  (WATSON, 2005).

O NBPT pode apresentar diferentes efeitos na volatilização de amônia e no rendimento das culturas. Ele atua na taxa de hidrólise da ureia, influenciando os níveis de amônio e nitrato no solo (ANTISARI et al., 1996), retardando o pico de volatilização (BERNARDI; MOTA; CARDOSA, 2014; SOARES; CANTARELLA; MENEGALE, 2012; TASCA et al., 2011), diminuindo a volatilização acumulada (FONTOURA; BAYER, 2010; SOARES; CANTARELLA; MENEGALE, 2012; STAFANATO et al., 2013) e aumentando a produtividade das culturas (FRAZÃO et al., 2014). Porém, alguns estudos mostram que a eficiência do NBPT está associada a outros fatores, como disponibilidade hídrica (BERNARDES et al., 2015), matéria orgânica do solo (ANTISARI et al., 1996; WATSON et al., 1994) temperatura do solo (TASCA et al., 2011) e pH do solo (WATSON et al., 1994).

## **2 CAPÍTULO I – VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE FERTILIZANTES NITROGENADOS SUBMETIDOS A FORMAS DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO**

### **RESUMO**

Perdas de nitrogênio (N) por volatilização de amônia podem ocorrer quando a ureia é aplicada sobre a superfície do solo. Este trabalho objetivou avaliar as perdas de amônia por volatilização em função da aplicação superficial de fertilizantes nitrogenados e da forma de aplicação de calcário, incorporado ou em superfície. O experimento foi implantado em câmara de crescimento, em condições controladas, em Lages, SC. Foi utilizado um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico contendo 44 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, 510 g kg<sup>-1</sup> de argila e pH em água 4,3, cujas amostras foram acondicionadas em potes plásticos e acopladas a câmaras de volatilização. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fertilizantes comerciais: Ureia convencional, Super N®, Kimcoat N®, Nitro Mais®, Super Nitro®, Producote®, Sulfammo Meta 29® e Nitrato de Amônio, todos na dose de 157 mg de N por unidade experimental, além de uma testemunha, sem aplicação de N, combinados com aplicação superficial ou incorporada de calcário. A amônia volatilizada foi determinada aos 1, 2, 4, 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos fertilizantes. A aplicação de calcário na superfície proporcionou o maior valor de pH na camada superficial do solo. Os fertilizantes amídicos aumentaram o pH na camada superficial do solo. As formas de calagem não influenciaram a volatilização, com exceção para o nitrato de amônio que foi maior com a calagem na superfície. A aplicação superficial de calcário não influencia a volatilização de amônia a partir de fertilizantes amídicos, mas a favorece a partir dos fertilizantes amoniacais.

**Palavras-chave:** pH próximo aos grânulos. Perdas de nitrogênio. Ureia protegida.



## 2.1 INTRODUÇÃO

Os fertilizantes nitrogenados mais utilizados são a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio. A ureia é sintetizada através da reação entre a amônia e o dióxido de carbono. Sua alta concentração, 46% de N, favorece o transporte, a estocagem e a aplicação de nitrogênio, diminuindo o custo por unidade de N aplicado em relação aos demais.

A ureia, depois de aplicada ao solo, é hidrolisada pela enzima urease onde seu produto final é amônio, dióxido de carbono e água. O amônio resultante da ureia pode ser prontamente absorvido pelas plantas, mas em solos bem aerados, pode ser nitrificado em até 40 dias (ROGERI et al., 2015) por bactérias do gênero *Nitrobacter* e *Nitrossonomas*.

No processo de hidrólise da ureia ocorre a elevação do pH ao redor dos grânulos devido às reações da hidroxila e do bicarbonato com o hidrogênio do solo, ocasionando condições favoráveis à volatilização de  $\text{NH}_3$ . Essa condição pode levar a perdas consideráveis de N, podendo variar de 8% (FARIA et al., 2014) a 77% (LARA CABEZAS; SOUZA, 2008) do N aplicado, dependendo das condições em que foram aplicados. As perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$  são favorecidas pelo aumento da dose de N aplicada, temperaturas altas, média umidade do solo (TASCA et al., 2011), em solos arenosos e quando a aplicação é realizada sobre a superfície do solo (SANGOI et al., 2003).

A incorporação da ureia reduz a volatilização de amônia a valores comparáveis aos obtidos quando não há aplicação da ureia (SANGOI et al., 2003). Porém, a dificuldade para se realizar essa prática, principalmente em adubações de cobertura, inviabiliza a sua utilização em grande escala.

Com o objetivo de reduzir as perdas por volatilização de amônia, novos fertilizantes nitrogenados têm sido disponibilizados no mercado. O principal mecanismo utilizado nesses fertilizantes é diminuir a velocidade de hidrólise da

ureia e ou a inibição temporária da atividade da urease, retardando a transformação do N amídico da ureia em amônio e, conseqüentemente, a transformação de amônio em amônia.

Esses fertilizantes podem ser divididos em dois grupos: os fertilizantes de liberação lenta ou controlada e os fertilizantes estabilizados. Os de liberação lenta ou controlada são os fertilizantes recobertos ou encapsulados que possuem menor solubilidade ou são insolúveis quando comparado ao fertilizante convencional. Nesse grupo se destacam os fertilizantes nitrogenados recobertos com enxofre e ou com polímeros. O segundo grupo é composto por aditivos que inibem a nitrificação e a urease, sendo que o NBPT (n-(n-butyl) tiosfosfórico triamida) é o composto com maior destaque nesse grupo (CANTARELLA, 2007).

Estudos com esses fertilizantes apresentam resultados discrepantes quanto à eficiência na redução da volatilização de amônia. Eles mostram que pode ocorrer redução (CARMONA; CHRISTIANSON; BYRNES, 1990; FONTOURA; BAYER, 2010; NASCIMENTO et al., 2013; SOARES; CANTARELLA; MENEGALE, 2012; STAFANATO et al., 2013) ou não haver influência nas perdas por volatilização de amônia (FARIA et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014). Portanto, há necessidade de mais estudos para melhorar a compreensão das reações desses fertilizantes com o solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a volatilização de amônia decorrente da aplicação superficial de vários fertilizantes nitrogenados combinados com a aplicação de calcário incorporado ou na superfície do solo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV-UDESC), em câmara de crescimento com temperatura e umidade do ar constante de 25°C e 80% respectivamente. Para este estudo foi utilizado um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico, coletado em área de vegetação nativa nas margens da BR-285, no município de Vacaria, RS. O solo apresentava pH em água 4,3, 44 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, 510 g kg<sup>-1</sup> de argila, 1,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca, 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg, 4,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al, 7,19 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC<sub>efetiva</sub>, 0,4 mg dm<sup>-3</sup> de P e 56 mg dm<sup>-3</sup> de K.

Os tratamentos consistiram de oito fontes de N mineral e duas formas de aplicação de calcário, além de uma testemunha, sem adição de fertilizantes, constituindo um fatorial 9 x 2. Os fertilizantes comerciais utilizados foram: Ureia convencional (45% de N); Super N<sup>®</sup> (45% de N); Nitro Mais<sup>®</sup> (45% de N); Super Nitro<sup>®</sup> (45% de N); Producot<sup>®</sup> (39% de N); Kincoat N<sup>®</sup> (45% de N); Nitrato de Amônio (32% de N) e Sulfammo Meta 29<sup>®</sup> (29% de N). Todos foram aplicados sobre a superfície do solo, na dose de 157 mg de N por unidade experimental, equivalente a uma dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. As formas de aplicação de calcário consistiram na incorporação do equivalente a 12 t ha<sup>-1</sup> ou a 4,0 t ha<sup>-1</sup> aplicadas na superfície. Nas unidades experimentais com calcário incorporado, ambos reagiram por trinta dias; naquelas com calcário na superfície, ele foi aplicado no dia da instalação do experimento. Neste dia, em todas unidades experimentais foram aplicados 10 ml de água destilada para proporcionar a reação do calcário com o solo. Após a implantação, o solo não recebeu adições de água ficando susceptível a perdas por evaporação. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

A concentração de N nos fertilizantes foi determinada pelo método de arraste de vapores, em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) (Tabela 1). Foram utilizadas duas formas de extração: diluição em água destilada na concentração de  $1000 \text{ mg dm}^{-3}$  e através de digestão sulfúrica conforme método de extração de N em tecido foliar (TEDESCO et al., 1995).

Tabela 1 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração.

|                               | Digestão Sulfúrica <sup>(1)</sup> | Diluída em água <sup>(2)</sup> |
|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                               | ----- % de N -----                |                                |
| Ureia                         | 43                                | 0                              |
| Super N                       | 43                                | 0                              |
| Kincoat N                     | 42                                | 0                              |
| Super Nitro                   | 43                                | 0                              |
| Producote                     | 39                                | 0                              |
| Nitro Mais                    | 42                                | 0                              |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$      | 10                                | 34                             |
| Sulfammo Meta 29              | 30                                | 4                              |
| $\text{KNO}_3$ <sup>(3)</sup> | 0                                 | 14                             |

<sup>(1)</sup> Extração de N através de digestão sulfúrica dos fertilizantes (TEDESCO et al., 1995);

<sup>(2)</sup> Extração de N através da diluição dos fertilizantes em água destilada na concentração de  $1000 \text{ mg L}^{-1}$ ;

<sup>(3)</sup> Reagente analítico contendo apenas a forma nítrica como padrão de análise.

Fonte: Produção do próprio autor (2016).

As unidades experimentais foram construídas segundo método proposto por Hernandes e Cazetta (2001), com adaptações. Essas foram constituídas por um conjunto de potes

plásticos de 10 cm de diâmetro, onde foi acondicionado o solo, sobre os quais foram acopladas garrafas PET para servir como câmara de volatilização (Figura 7). Cada pote recebeu 500 g de solo (umidade gravimétrica de  $0,44 \text{ g g}^{-1}$ ). As garrafas PET tiveram o fundo cortado para acoplar no pote onde havia o solo. A amônia foi coletada em copos descartáveis de 50 ml suportados por meio de arame, conforme é mostrado na Figura 7; a tampa da garrafa foi mantida.

Figura 7 - Câmara de volatilização com garrafa PET.



Fonte: produção do próprio autor (2016).

A quantidade de amônia volatilizada foi determinada aos 1, 2, 4, 7, 14, 21, 28 e 35 dias após a aplicação dos fertilizantes. Para sequestrar a amônia volatilizada foi utilizado solução de indicador ácido bórico a 2% com verde de bomocresol e vermelho de metila, preparada conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Para titulação, foi utilizado ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) em duas concentrações, de 0,005 N e 0,01 N. O teor de amônia volatilizada, em mg por tratamento, foi determinado através da seguinte fórmula:

$$\text{NH}_3 \text{ mg} = (\text{ml At} - \text{PB}) \times \text{NAt} \times 14$$

Onde:

ml At: volume utilizado do ácido H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

PB: prova em branco

NAt: normalidade do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

14: massa molar do nitrogênio

Ao fim das avaliações de volatilização foi determinado o pH do solo do centímetro superficial. Para isto, o solo foi hidratado com 20 ml de água e congelado para retirar uma fatia de 1,0 cm da superfície do mesmo. As amostras de solo foram secas em estufa de circulação de ar a 65°C, moídas, submetidas à passagem em peneira com abertura de 2,0 mm e nelas foi determinado o pH em água, na relação solo:solvente de 1:1 (TEDESCO et al., 1995).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste F (P<0,05). Quando alcançada significância estatística para efeitos principais e interações, a comparação de médias entre tratamentos foi realizada através do teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Os fertilizantes Ureia, Super N, Nitro Mais, Super Nitro, Producode e Kimcoat N são amílicos e serão doravante assim denominados quando seus efeitos forem semelhantes.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A forma de aplicação de calcário influenciou o pH superficial do solo (Tabela 2). O pH da superfície do solo resultante da aplicação de calcário superficial foi maior que a aplicação incorporada, chegando a um valor médio igual a 7,0 na aplicação superficial e 5,8 na aplicação incorporada. A aplicação de calcário sobre a superfície do solo eleva o pH da camada superficial para valores altos devido à baixa mobilidade do calcário no solo, mesmo em doses menores do que aquelas incorporadas (ERNANI; RIBEIRO; BAYER, 2001). O pH superficial do solo foi determinado na mistura homogênea do solo correspondente ao primeiro centímetro da unidade experimental podendo haver interferência de parte do solo que não teve contato com o calcário.

A adição de fertilizantes também interferiu no pH superficial do solo (Tabela 2). Os fertilizantes amídicos e o fertilizante Sulfammo Meta 29 apresentaram, na média das formas de aplicação de calcário, valores de pH maiores que o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e a testemunha. Isto se deve ao aumento do pH nas regiões próximas aos grânulos destes fertilizantes promovido pela hidrólise da ureia (FAN; MACKENZIE, 1993). O efeito dos fertilizantes no pH superficial do solo nos tratamentos que receberam a calagem em superfície foi menos pronunciado quando comparado com a média dos métodos, onde apenas o fertilizante amídico Kimcoat N apresentou pH maior que a testemunha e o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Para os tratamentos que receberam calagem incorporada, o efeito dos fertilizantes foi semelhante ao encontrado na média, comprovando a alcalinização das zonas próximas os fertilizantes amídicos (FAN; MACKENZIE, 1993), principalmente com o pH mais baixo do solo.

A volatilização diária de amônia, para os tratamentos com calagem incorporada, apresentou comportamento diferente entre os tratamentos (Figura 8). A aplicação de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  assim como a testemunha não apresentou volatilização de amônia. Não foi observada volatilização no tratamento com nitrato de amônio devido ao pH ácido na camada superficial do solo (Tabela 2), não havendo assim condições para transformação de amônio em amônia.

Tabela 2 - Valores de pH em função do modo de aplicação de calcário e da aplicação ou não de fertilizantes.

|                          | Calcário incorporado | Calcário superficial | Média |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-------|
| ----- pH -----           |                      |                      |       |
| Testemunha               | 4,9 bB*              | 6,7 bA               | 5,8 b |
| Ureia                    | 6,1 aB               | 7,1 abA              | 6,6 a |
| Super N                  | 6,1 aB               | 7,0 abA              | 6,5 a |
| Kincoat N                | 6,0 aB               | 7,3 aA               | 6,6 a |
| Nitro Mais               | 6,0 aB               | 7,1 abA              | 6,5 a |
| Super Nitro              | 6,3 aB               | 7,1 abA              | 6,7 a |
| Producoat                | 6,2 aB               | 7,0 abA              | 6,6 a |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$ | 4,7 bB               | 6,7 bA               | 5,7 b |
| Sulfammo 29              | 5,9 aB               | 7,0 abA              | 6,5 a |
| Média                    | 5,8 B                | 7,0 A                |       |
| CV%                      | 4,43                 | 2,88                 |       |

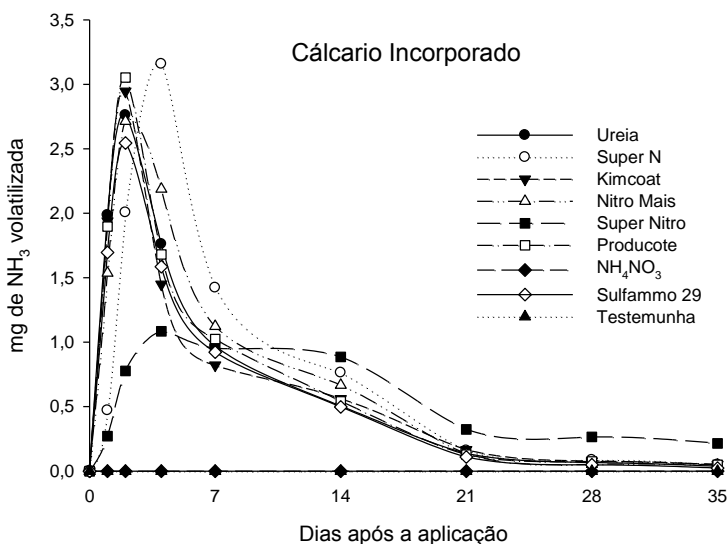
\* Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

Para os demais tratamentos foram observados dois picos de máxima volatilização diária, um aos dois e o outro aos quatro dias após a aplicação dos fertilizantes (Figura 8). Os



fertilizantes Super Nitro e Super N foram mais eficientes em retardar o pico de máxima volatilização diária para o quarto dia, diferente dos demais tratamentos que atingiram o pico no segundo dia após a aplicação. Destaca-se a baixa volatilização diária apresentada pelo fertilizante Super Nitro, com pico de volatilização máxima inferior a 50% dos demais fertilizantes amílicos.

Figura 8 - Volatilização diária de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário incorporado.



Fonte: produção do próprio autor (2016).

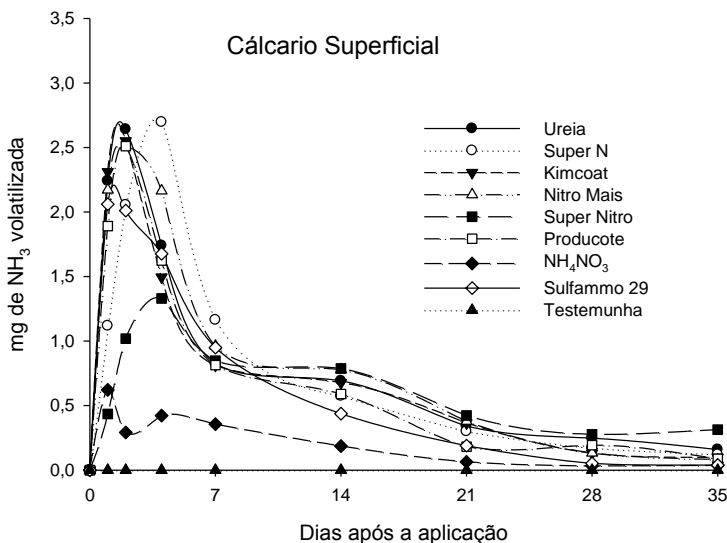
Todos os fertilizantes que receberam calagem superficial apresentaram volatilização (Figura 9). Semelhante ao ocorrido nos tratamentos com calagem incorporada, foram

observados dois picos de máxima volatilização diária para os tratamentos com calagem superficial, onde os fertilizantes Super N e Super Nitro apresentaram seus picos no quarto dia após a aplicação, tendo o segundo, apresentado valores bem abaixo dos demais tratamentos. Para o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , a calagem superficial promoveu volatilizações de amônia com o pico no primeiro dia após a aplicação do fertilizante. Essa resposta é devido ao alto pH do solo nas proximidades do fertilizante (Tabela 2) e ao fato de parte desse fertilizante estar na forma de amônio sendo suscetível de ser transformado em amônia. A calagem superficial não influenciou a volatilização da testemunha, provavelmente devido a maior parte do N no solo estar na forma nítrica.

Estudos realizados com avaliações de volatilização proveniente de fertilizantes amídicos demonstram que o fertilizante Super N, que é uma mistura de ureia + NBPT, retarda o pico de volatilização de amônia (BERNARDI; MOTA; CARDOSA, 2014; SOARES; CANTARELLA; MENEGALE, 2012; TASCA et al., 2011), fato também observado em nosso estudo, possivelmente pela redução na taxa de hidrólise da ureia proporcionada pelos inibidores de urease (MAGID; MAHL, 1986).

A volatilização acumulada aos 35 dias após a aplicação dos fertilizantes diferiu entre os tratamentos. Naqueles que receberam calagem incorporada não houve volatilização na testemunha e para o nitrato de amônio. As maiores volatilizações acumuladas se deram nos tratamentos com o fertilizante Sulfammo Meta 29 e com os fertilizantes amídicos, exceto o Super Nitro, com volatilizações de até 8,46 mg de  $\text{NH}_3$  por unidade experimental (Figura 10). O pH mais alto observado nos tratamentos que apresentaram volatilização (Tabela 2) mostra que a elevação do pH ao redor dos grânulos desses fertilizantes é suficiente para causar perdas de amônia.

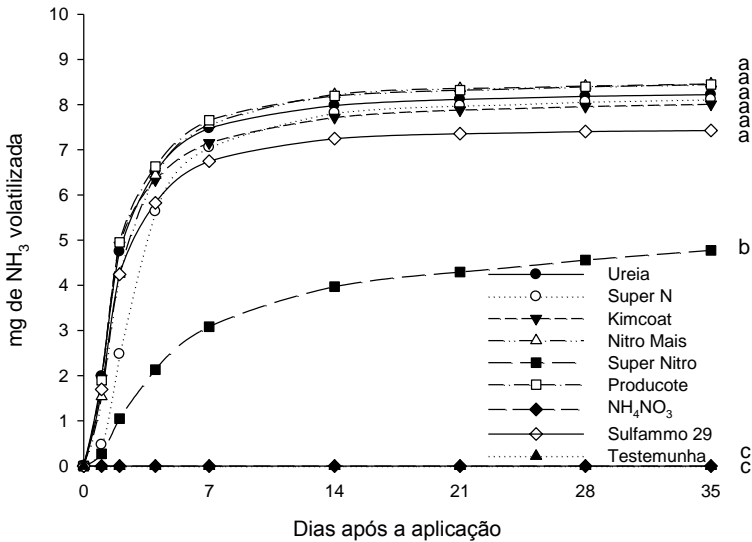
Figura 9 - Volatilização diária de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário em superfície.



Fonte: produção do próprio autor (2016).

Até o sétimo dia após a aplicação dos fertilizantes a volatilização acumulada, para os tratamentos que apresentaram volatilização, foi maior que 80% do total volatilizado, com exceção para o Super Nitro que apresentou essa proporção no décimo quarto dia. Esses dados demonstram que as perdas mais significativas de  $\text{NH}_3$  proveniente de fertilizantes à base de ureia ocorrem nos primeiros dias após a aplicação, reforçando dados obtidos em outros estudos com volatilização (OLIVEIRA et al., 2014; SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011; WERNECK et al., 2012).

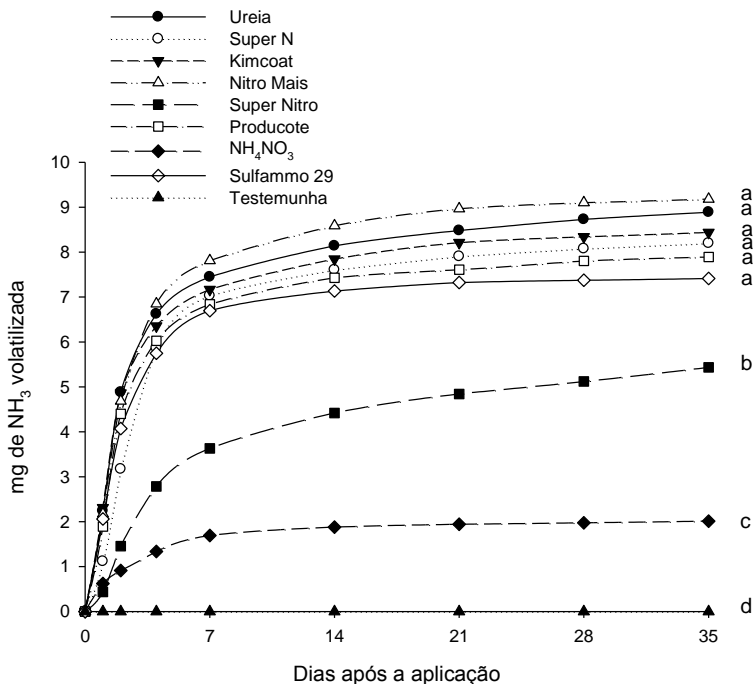
Figura 10 - Volatilização acumulada de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental (200 kg ha<sup>-1</sup> de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário incorporado.



Médias acumuladas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

Resultados semelhantes, com exceção do NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, foram observados nos tratamentos que receberam calagem superficial. Com volatilizações acumuladas de até 9,18 mg de NH<sub>3</sub> por unidade experimental, o tratamento Sulfammo Meta 29 e os tratamentos com fertilizantes amídicos, à exceção do Super Nitro, apresentaram as maiores volatilizações de NH<sub>3</sub> (Figura 11). Diferente do ocorrido no tratamento com calcário incorporado, o NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> sofreu influência da aplicação superficial na volatilização acumulada de NH<sub>3</sub> chegando a aproximadamente 2 mg de NH<sub>3</sub> volatilizada.

Figura 11 - Volatilização acumulada de amônia em função da aplicação de 157 mg de N por unidade experimental ( $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) na forma de diferentes fertilizantes minerais e com aplicação de calcário em superfície.



Médias acumuladas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

Na média dos tratamentos, para cada forma de aplicação de calcário, a calagem superficial proporcionou maiores volatilizações em relação à aplicação de calcário incorporado (Tabela 3). Essa diferença foi influenciada pela volatilização de  $\text{NH}_3$  do tratamento com  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  e aplicação de calcário em superfície, visto que a volatilização de cada tratamento não foi influenciada pelo método de

aplicação de calcário, com exceção daquele com  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Esses resultados demonstram que a elevação do pH do solo em decorrência da aplicação superficial de calcário não foi maior que a elevação do pH ao redor dos grânulos de fertilizantes à base de ureia, não influenciando na transformação do  $\text{NH}_4$  em  $\text{NH}_3$  a partir da aplicação de fertilizantes amídicos.

Tabela 3 - Valores acumulados de amônia volatilizada em função do modo de aplicação de calcário e dos fertilizantes utilizados.

|                          | Calcário<br>incorporado         | Calcário<br>superficial | Média   |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------|
|                          | ----- mg de $\text{NH}_3$ ----- |                         |         |
| Testemunha               | 0,00 cA*                        | 0,00 eA                 | 0,00 d  |
| Ureia                    | 8,22 aA                         | 8,89 abA                | 8,55 ab |
| Super N                  | 8,11 aA                         | 8,20 abA                | 8,16 ab |
| Kimcoat N                | 8,01 aA                         | 8,44 abA                | 8,22 ab |
| Nitro Mais               | 8,46 aA                         | 9,18 aA                 | 8,82 a  |
| Super Nitro              | 4,78 bA                         | 5,43 cA                 | 5,10 c  |
| Producote                | 8,44 aA                         | 7,89 abA                | 8,16 ab |
| $\text{NH}_4\text{NO}_3$ | 0,00 cB                         | 2,01 dA                 | 1,00 d  |
| Sulfammo 29              | 7,43 aA                         | 7,41 bA                 | 7,42 b  |
| Média                    | 5,94 B                          | 6,38 A                  |         |
| CV%                      | 9,43                            | 10,12                   |         |

\* Médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

As porcentagens de N perdidas por volatilização de amônia em relação ao aplicado foram baixas (Tabela 4). O Nitro Mais combinado com a aplicação de calcário superficial proporcionou a maior porcentagem de perda em

relação ao aplicado, contudo, foi similar às perdas provocadas pela ureia e quando combinado com a calagem incorporada. O Super Nitro foi o fertilizante amídico que apresentou as menores perdas por volatilização de amônia, reduzindo essas perdas de 39 a 42 % relativamente à Ureia (Tabela 3). Entretanto as baixas perdas de N em relação ao aplicado minimizam essa magnitude (Tabela 4).

Tabela 4 - Porcentagem de N perdido por volatilização de amônia em relação ao aplicado no solo 35 dias após a aplicação do fertilizante.

|                   | Calcário<br>incorporado | Calcário<br>superficial |
|-------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   | % do aplicado           |                         |
| Ureia             | 5,2                     | 5,7                     |
| Super N           | 5,2                     | 5,2                     |
| Kimcoat N         | 5,1                     | 5,4                     |
| Nitro Mais        | 5,4                     | 5,8                     |
| Super Nitro       | 3,0                     | 3,5                     |
| Producote         | 5,4                     | 5,0                     |
| Nitrato de Amônio | 0,0                     | 1,3                     |
| Sulfamo Meta 29   | 4,7                     | 4,7                     |

Assim como neste estudo, outros trabalhos mostram baixas perdas por volatilização de amônia decorrente da aplicação de ureia sobre a superfície do solo (FARIA et al., 2014) confrontando dados que apresentam grandes perdas de N por volatilização de amônia (LARA CABEZAS; SOUZA, 2008). A baixa umidade e a ausência de palhada na superfície do solo podem ter reduzido a hidrólise da ureia, pois maior atividade da urease e maiores perdas de N por volatilização são encontradas em solos com média umidade e presença de resíduos vegetais (SANGOI et al., 2003; TASCA et al., 2011).

## 2.4 CONCLUSÕES

A aplicação superficial de calcário não influencia as perdas por volatilização de amônia de fertilizantes amídicos, mas favorece a volatilização de amônia de fertilizantes amoniacais.

A aplicação de fertilizantes amídicos sobre a superfície do solo, eleva o pH na camada superficial.

Os fertilizantes protegidos não foram eficientes em reduzir a volatilização de amônia, à exceção do Super Nitro.



### 3 CAPÍTULO II – LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO DECORRENTE DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a lixiviação de amônio e nitrato decorrente da adição de fontes de fertilizantes minerais nitrogenados ao solo. O experimento foi implantado em laboratório, em Lages, SC. Foi utilizado um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico, contendo  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica, pH em água de 7,0 e  $490 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, cujas amostras foram acondicionadas em tubos de PVC com 30 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro, que formaram as unidades experimentais. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fertilizantes comerciais minerais: Ureia convencional, Super N<sup>®</sup>, Kimcoat N<sup>®</sup>, Nitromais<sup>®</sup>, Super Nitro<sup>®</sup>, Producode<sup>®</sup>, Sulfammo Meta 22<sup>®</sup> e Nitrato de Amônio, todos na dose de  $400 \text{ mg coluna}^{-1}$  de nitrogênio aplicados a 5 cm de profundidade, além de uma testemunha, sem aplicação de N. As percolações foram de 300 ml por coluna e repetidas semanalmente por treze semanas. A lixiviação de amônio foi pequena e não diferiu entre os tratamentos. Os fertilizantes amídicos foram semelhantes entre si e apresentaram as maiores quantidades de nitrato lixiviadas, seguidos dos fertilizantes Sulfammo Meta 22 e nitrato de amônio. Os mecanismos de proteção da ureia não foram eficientes em reduzir as perdas de nitrogênio por lixiviação.

**Palavras-chave:** Ureia protegida. Percolação de amônio. Percolação de nitrato.

### 3.1 INTRODUÇÃO

No manejo da adubação de culturas, o nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais suscetíveis a perdas devido ao dinamismo das reações que ocorrem no solo envolvendo esse elemento. O N mineral de fertilizantes pode ser perdido principalmente na forma de volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ), de lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para camadas mais profundas do solo e na forma de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) quando o  $\text{NO}_3^-$  é desnitrificado.

A ureia  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , juntamente com nitrato de amônio  $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$  e o sulfato de amônio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , são os fertilizantes nitrogenados mais utilizados no Brasil. A hidrólise da ureia resulta na formação de carbonato de amônio, que é instável e se decompõe rapidamente originando amônio, bicarbonato e hidroxila. Parte do amônio é convertida em amônia, que é um gás e pode se perder para a atmosfera; a outra parte será nitrificada sendo convertida em nitrato em até 40 dias (ROGERI et al., 2015) por bactérias dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*.

A volatilização de amônia a partir da adição de fertilizantes amoniacais possui grande importância em solos alcalinos com pH maior do que 7,0 ou quando a ureia é aplicada sobre a superfície do solo. O processo da hidrólise da ureia eleva o pH ao redor dos grânulos de fertilizantes, devido às reações da hidroxila e do bicarbonato com o hidrogênio do solo, ocasionando condições favoráveis à volatilização de  $\text{NH}_3$  (ERNANI, 2008).

A aplicação de ureia também pode promover lixiviação de nitrogênio. O nitrato tem comportamento aniônico e sua configuração eletrônica não permite que se ligue quimicamente aos colóides de solo; ele se liga apenas eletrostaticamente, cuja ligação depende da carga líquida do solo (ALCANTRA; CAMARGO, 2005). Essas características fazem com que todo o  $\text{NO}_3^-$  se encontre na solução do solo, ficando suscetível à

lixiviação (ARAÚJO et al., 2004; LORENSINI et al., 2012). O amônio, por outro lado, se encontra principalmente ligado nas cargas elétricas negativas do solo e, por isso, existe em baixa concentração na solução. Em solos aerados, praticamente todo o  $\text{NH}_4^+$  é convertido a  $\text{NO}_3^-$  em até 40 dias (ROGERI et al., 2015). Devido aos solos possuírem cargas predominantes negativas e a nitrificação ser rápida, normalmente há pouca lixiviação de amônio. As perdas de N por lixiviação proveniente da aplicação de ureia podem variar de 25 a 70% do aplicado (ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002).

Com o objetivo de diminuir a velocidade de hidrólise da ureia e ou a inibição temporária da atividade da urease, alguns compostos químicos têm sido misturados à ureia para tal finalidade, retardando a transformação do N amídico em amônio e, conseqüentemente, a nitrificação. Alguns estudos mostram que esse mecanismo de proteção da ureia pode diminuir as perdas por lixiviação de N (CHITOLINA: GLÓRIA, 1980). Recentemente vários novos fertilizantes nitrogenados têm sido disponibilizados no mercado com o objetivo de aumentar a eficiência de uso do N pelas plantas.

Este trabalho visou avaliar o efeito da adição de fertilizantes nitrogenados modificados na lixiviação de nitrato e amônio em um Latossolo Bruno acondicionado em colunas de lixiviação.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório, em Lages, SC. Foi utilizado um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico coletado em um pomar comercial de macieira no município de Vacaria, Rio Grande do Sul. O solo apresentava  $35 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica, 7,0 de pH em água,  $490 \text{ g kg}^{-1}$  de argila,  $11,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca,  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg,  $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Al,  $14,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de CTC<sub>efetiva</sub>,  $56 \text{ mg dm}^{-3}$  de K e  $0,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de P.

Os tratamentos consistiram oito fontes de N mineral, além de uma testemunha, sem adição N. Os fertilizantes comerciais utilizados foram: Ureia convencional (45% de N); Super N<sup>®</sup> (45% de N); Nitro Mais<sup>®</sup> (45% de N); Super Nitro<sup>®</sup> (45% de N); Producode<sup>®</sup> (39% de N); Kincoat N<sup>®</sup> (45% de N); Nitrato de Amônio (32% de N) e Sulfammo Meta 22<sup>®</sup> (22% de N), todos na dose de  $400 \text{ mg coluna}^{-1}$  de N. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

A concentração de N nos fertilizantes, apresentados na Tabela 5, foi determinada pelo método de arraste de vapores, em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) com duas formas de extração: diluição em água destilada na concentração de  $1000 \text{ mg dm}^{-3}$  e através de digestão sulfúrica conforme método de extração de N em tecido foliar (TEDESCO et al., 1995).

As unidades experimentais foram constituídas por colunas de lixiviação, confeccionadas a partir de tubos de PVC com 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro. No fundo dos mesmos, foi colocado um tampão de PVC contendo um orifício na parte central de aproximadamente um cm de diâmetro, a fim de permitir a saída da solução percolada. Na extremidade inferior de cada coluna foi colocado um saco plástico com um furo em um dos lados da extremidade inferior com a finalidade de direcionar a solução percolada para os frascos de coleta,

onde foram utilizados potes plásticos com capacidade de 0,8 L (Figura 12).

Tabela 5 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração.

|                                 | Digestão Sulfúrica <sup>(1)</sup> | Diluída em água <sup>(2)</sup> |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                                 | ----- % de N -----                |                                |
| Ureia                           | 43                                | 0                              |
| Super N                         | 43                                | 0                              |
| Kincoat N                       | 42                                | 0                              |
| Super Nitro                     | 43                                | 0                              |
| Producote                       | 39                                | 0                              |
| Nitro Mais                      | 42                                | 0                              |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 10                                | 34                             |
| Sulfammo Meta 22                | 21                                | 9                              |
| KNO <sub>3</sub> <sup>(3)</sup> | 0                                 | 14                             |

<sup>(1)</sup> Extração de N através de digestão sulfúrica dos fertilizantes (TEDESCO et al., 1995);

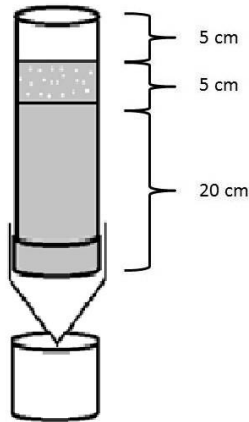
<sup>(2)</sup> Extração de N através da diluição dos fertilizantes em água destilada na concentração de 1000 mg L<sup>-1</sup>;

<sup>(3)</sup> Reagente analítico contendo apenas a forma nítrica como padrão de análise.

Fonte: Produção do próprio autor (2016).

Cada coluna recebeu 2,0 kg de solo (com umidade gravimétrica de 0,43 g g<sup>-1</sup>). O solo foi acondicionado a uma altura de 25 cm nas colunas, sendo que os fertilizantes foram incorporados apenas nos cinco cm superficiais. Acima do solo foi deixado um espaço de cinco centímetros para facilitar a adição de água durante as percolações.

Figura 12 - Coluna de lixiviação.



Fonte: produção do próprio autor (2016).

As percolações iniciaram sete dias após a aplicação dos fertilizantes, e foram repetidas semanalmente por treze semanas. Em cada percolação foram adicionados 300 ml de água destilada, aplicada com o auxílio de pipetas volumétricas de 100 ml, correspondendo a precipitações de 38 mm e totalizando 494 mm após as treze percolações. As percolações foram realizadas sempre no final da tarde e o líquido percolado foi coletado no início da manhã do dia seguinte.

Na solução percolada foram determinados o volume lixiviado, o pH e a concentração de nitrato e amônio. O amônio e o nitrato nas amostras de solo coletadas ao término do experimento foram extraídos com  $\text{KCl } 1,0 \text{ mol L}^{-1}$ . Tanto no percolado quanto no solo eles foram determinados por arraste de vapor, em aparelho semi-micro Kjeldahl, conforme método proposto por Tedesco et al. (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística. A magnitude dos efeitos dos tratamentos foi avaliada com o teste F ( $P < 0,05$ ). Quando alcançada significância estatística, a

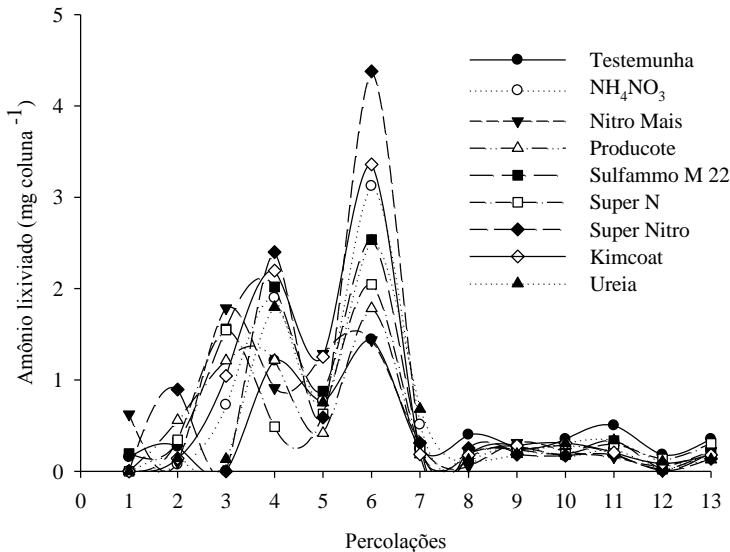
comparação de médias entre tratamentos foi realizada através do teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por serem todos amídicos, os fertilizantes Ureia, Super N, Nitro Mais, Super Nitro, Producode e Kimcoat N serão assim denominados nas situações onde apresentarem o mesmo efeito sobre determinado atributo.

As quantidades de amônio lixiviado foram baixas e semelhantes para os diferentes tratamentos (Figura 13). Independente da fonte de nitrogênio aplicada, as quantidades lixiviadas de amônio foram maiores até a sexta percolação; após, diminuíram ao longo das percolações.

Figura 13 - Lixiviação de amônio por percolação em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados.

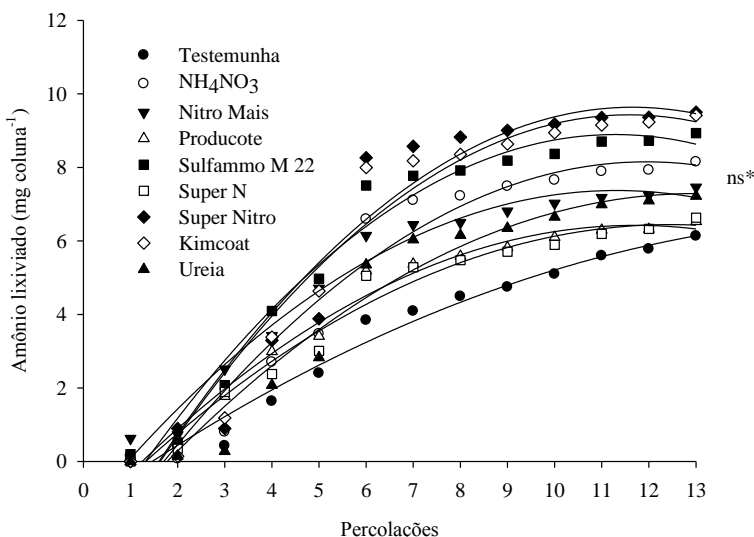


Fonte: produção do próprio autor (2016).



Devido ao  $\text{NH}_4^+$  estar ligado às cargas elétricas negativas do solo e à semelhança dos valores lixiviados entre os fertilizantes e a testemunha, os mesmos não afetaram a lixiviação de amônio (Figura 14).

Figura 14 - Lixiviação de amônio acumulada em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados.

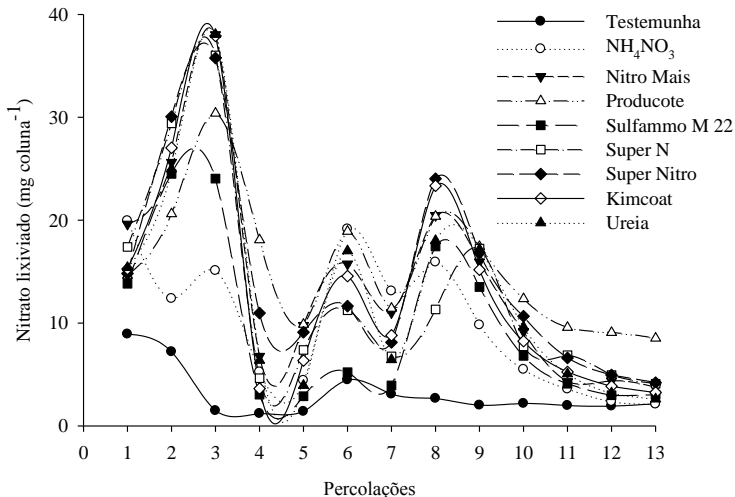


ns\* = não significativo pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor (2016).

A quantidade de nitrato lixiviado ao longo das percolações oscilou até a oitava percolação (Figura 15). A nitrificação do  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_3^-$  é dependente de variáveis como umidade e temperatura do solo (ROCHA et al., 2008), mostrando que, possivelmente, as variações de nitrato e amônio entre as percolações são devido a fatores ambientais.

Figura 15 - Lixiviação de nitrato por percolação em função da aplicação, ou não, de fertilizantes minerais nitrogenados.



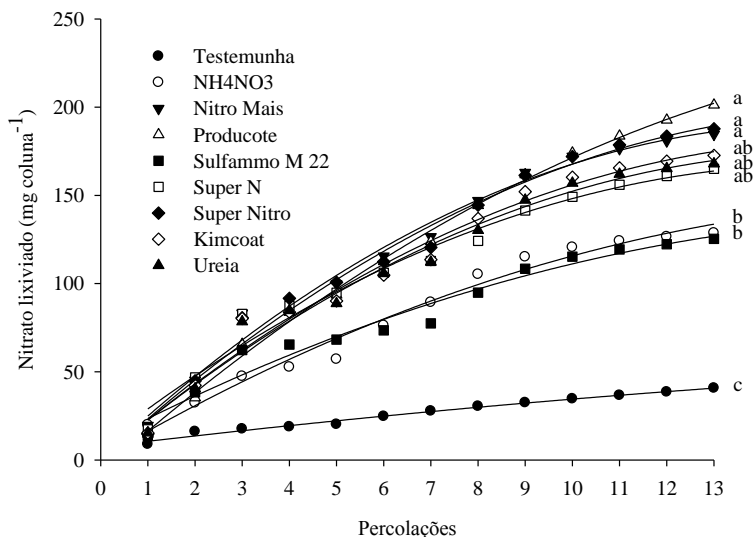
Fonte: produção do próprio autor (2016).

As lixiviações acumuladas de nitrato foram maiores nos tratamentos com os fertilizantes nitrogenados do que naquele que não recebeu N mineral (Figura 16). A lixiviação de nitrato não variou entre as fontes de fertilizantes amídicos, porém ocorreram diferenças entre os fertilizantes amídicos Super Nitro, Producode e Nitro Mais em relação ao nitrato de amônio e ao Sulfammo Meta 22.

Sangoi et al. (2003) observaram maiores valores de nitrogênio lixiviado em Nitossolo Vermelho com a aplicação de ureia incorporada comparado a tratamentos que não receberam fertilizante mineral. Fertilizantes que possuem nitrato como fonte de N apresentam maiores concentrações de  $\text{NO}_3^-$  nas lixiviações iniciais por não necessitarem de reações de transformação em  $\text{NO}_3^-$  (LOURENÇO et al. 2013), fato não observado neste trabalho com o nitrato de amônio que

apresentou menores lixiviações de  $\text{NO}_3^-$  que os fertilizantes amídicos.

Figura 16 - Lixiviação de nitrato acumulada em função da aplicação de fertilizantes nitrogenados.



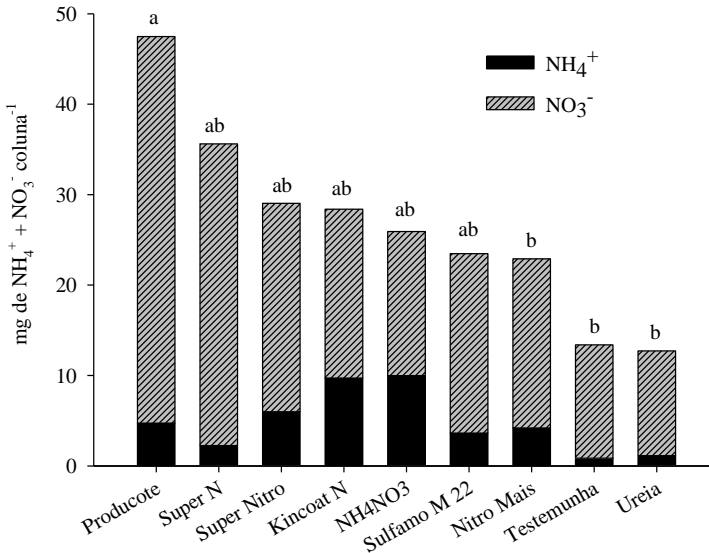
\* Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

Os tratamentos apresentaram diferentes quantidades de N mineral nas amostras de solo coletadas após todas as percolações (Figura 17). O fertilizante Producote proporcionou a maior concentração de N mineral quando comparado à testemunha e aos fertilizantes ureia e Nitro Mais.

A porcentagem de  $\text{NH}_4^+$  tanto lixiviada quanto remanescente no solo após as percolações, em relação ao N total aplicado, foram baixas, com valores abaixo dos 3 % (Tabela 6). Para nitrato, entretanto, as porcentagens médias

remanescentes no solo e lixiviadas foram, respectivamente, de 5,7 % e 41,6 % do total de N aplicado.

Figura 17 - Concentração de amônio e nitrato no solo após as 13 percolações.



Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Fonte: produção do próprio autor (2016).

A forma nítrica de N mineral no solo e na solução lixiviada é maior que a amoniacal devido à transformação de  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_3^-$  (ROCHA et al., 2008; ROGERI et al., 2015) e ao fato do nitrato estar todo na solução em solos com predomínio de cargas negativas, ficando suscetível à lixiviação (ALCÂNTARA & CAMARGO, 2005). Isso justifica a predominância da forma nítrica nas porcentagens de N em relação ao aplicado.

Tabela 6 - Porcentagem de amônio e nitrato mais nitrito do aplicado no solo após as 13 percolações, lixiviado e total.

| Tratamento                      | No Solo                   |                 | Lixiviado       |                 | Total |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|                                 | NH <sub>4</sub>           | NO <sub>3</sub> | NH <sub>4</sub> | NO <sub>3</sub> |       |
|                                 | ----- % do aplicado ----- |                 |                 |                 |       |
| Ureia                           | 0,3                       | 2,9             | 1,8             | 42,0            | 47,0  |
| Super N                         | 0,6                       | 8,3             | 1,7             | 41,3            | 51,9  |
| Kincoat N                       | 2,4                       | 4,7             | 2,4             | 43,2            | 52,7  |
| Nitro Mais                      | 1,1                       | 4,7             | 1,9             | 46,1            | 53,8  |
| Super Nitro                     | 1,5                       | 5,8             | 2,4             | 46,9            | 56,6  |
| Producote                       | 1,2                       | 10,7            | 1,6             | 50,3            | 63,8  |
| Sulfammo M 22                   | 0,9                       | 5,0             | 2,2             | 31,3            | 39,4  |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 2,5                       | 4,0             | 2,0             | 32,2            | 40,7  |

Fonte: produção do próprio autor (2016).

As porcentagens totais de N recuperadas, incluindo a soma de N nas amostras de solo e de N lixiviado, foram, em média, de 50,7 % do total aplicado. Os tratamentos com Producote ou com Sulfammo Meta 22 apresentaram a menor porcentagem de recuperação do N aplicado.

Em condições de baixa oxigenação, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> é reduzido a N<sub>2</sub>O que por ser um gás é perdido para a atmosfera (AULAKH; KHERA; DORAN, 2000), o que justifica as baixas porcentagens de N determinadas em relação ao aplicado. Rocha et al. 2008, ao avaliarem concentrações de nitrato em diferentes profundidades de uma coluna, também atribuíram a baixa concentração de nitrato ao processo de desnitrificação devido à saturação do solo com água.

### 3.4 CONCLUSÕES

Os mecanismos de proteção da ureia não foram eficientes na redução das perdas por lixiviação de nitrogênio.

Em solos com alta umidade as perdas por desnitrificação podem chegar próximas a 50% do N aplicado.

#### **4 CAPÍTULO III - EFEITO DE FERTILIZANTES MINERAIS NITROGENADOS NO RENDIMENTO DO FEIJOEIRO**

##### **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta do feijoeiro a fontes de fertilizantes minerais nitrogenados aplicados em cobertura. O experimento foi conduzido no município de Vacaria, RS, sobre um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico que apresentava  $516 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, pH em água de 5,2 e  $46 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica. No local foi cultivado por vinte anos um pomar de macieira. Os tratamentos foram constituídos pelos seguintes fertilizantes comerciais minerais: Ureia convencional, Super N®, Kimcoat N®, Nitromais®, Super Nitro®, Producoate®, Sulfammo Meta 29® e Nitrato de Amônio, todos na dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  e por uma testemunha, sem aplicação de nitrogênio (N). A eficiência dos fertilizantes foi avaliada somente por ocasião da adubação de cobertura. Foi avaliado o teor de N nas folhas, teor de proteína no grão, a massa de 1000 grãos, e o rendimento de grãos. O rendimento médio de grãos foi de  $3770 \text{ kg ha}^{-1}$ , e, assim como as demais variáveis, não foi influenciado pela adição de nenhum dos fertilizantes. Essa falta de resposta a N ocorreu devido à alta disponibilidade de N no solo em função da mineralização da matéria orgânica e da boa distribuição da precipitação pluviométrica durante o ciclo vegetativo. Sendo assim, verifica-se que não há necessidade da adição de N de cobertura para o feijoeiro nessas condições.

**Palavras-chave:** Ureia protegida, NBPT e eficiência de fertilizantes.

## 4.1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro é uma importante fonte alimento e de renda para os produtores rurais. Seu cultivo foi historicamente realizado por agricultores familiares devido ao alto custo de mão de obra. Porém, com a mecanização da cultura, adequação das técnicas de cultivo, e o alto valor do produto, médios e grandes produtores incorporaram o feijoeiro em seus sistemas de cultivo. Isso fez com que a área cultivada no município de Vacaria, aumentasse consideravelmente nos últimos anos.

O feijoeiro é considerado uma espécie altamente exigente em nutrientes, com destaque para o nitrogênio (AMARAL et al., 1980). Parte dessa demanda de N pela planta pode ser suprida através fixação biológica, porém ainda é necessária complementação com N mineral para se alcançar altos rendimentos (BRITO et al., 2015; COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004; PELEGRIN et al., 2009; VARGAS; MENDES; HUNGRIA, 2000).

Dos fertilizantes minerais nitrogenados a ureia é o mais utilizado nas adubações. A alta concentração de N facilita o transporte, a estocagem e a aplicação, reduzindo o custo por unidade de N aplicado em relação aos demais fertilizantes. Porém, quando a ureia é aplicada sobre a superfície do solo pode proporcionar perdas consideráveis por volatilização de amônia. Essas perdas são devido à elevação do pH ao redor dos grânulos promovida pela urease ao hidrolisar a ureia.

Recentemente vários fertilizantes nitrogenados têm sido disponibilizados no mercado com o objetivo de reduzir as perdas por volatilização de amônia. O principal mecanismo utilizado nesses fertilizantes é diminuir a velocidade de hidrólise da ureia e ou a inibição temporária da atividade da urease, retardando a transformação de N amídico em amônio e, conseqüentemente, a transformação de amônio em amônia.

Esses fertilizantes podem ser divididos em dois grupos: os fertilizantes de liberação lenta ou controlada e os



fertilizantes estabilizados. Os de liberação lenta ou controlada são os fertilizantes recobertos ou encapsulados que possuem menor solubilidade ou são insolúveis quando comparado ao fertilizante convencional. Nesse grupo se destacam os fertilizantes nitrogenados recobertos com enxofre e ou com polímeros. O segundo grupo é composto por aditivos que inibem a nitrificação e a urease, sendo que o NBPT (n-(n-butyl) tiofosfórico triamida) é o composto com maior destaque neste grupo (CANTARELLA, 2007).

A hipótese deste trabalho é que os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta e aqueles com inibidor da urease são mais eficientes no fornecimento de N para o feijoeiro, em função de proporcionarem menores perdas por volatilização de amônia relativamente à ureia convencional.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta dos componentes de rendimento do feijoeiro, conduzido em condições de campo no município de Vacaria, RS, à aplicação de fertilizantes nitrogenados modificados em cobertura.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em condições de campo em uma propriedade comercial, no município de Vacaria – RS, na safra 2014/2015, onde havia um pomar de macieira durante os últimos vinte anos. O experimento foi implantado sobre um Latossolo Bruno Aluminoférrico típico contendo  $516 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, pH em água de 5,2,  $46 \text{ g kg}^{-1}$  de matéria orgânica,  $116 \text{ mg dm}^{-3}$  de K,  $1,45 \text{ mg dm}^{-3}$  de P, argila  $9,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Ca,  $1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Mg,  $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de Al e  $11,03 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de CTC<sub>efetiva</sub>.

A semeadura, com a cultivar BRS Estilo, do grupo carioca, foi realizada em janeiro de 2015 com uma semeadeira de plantio direto. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m com 13 sementes por metro linear, totalizando o estimado de 280 000 sementes por hectare. Foram aplicados  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de fosfato monoamônico no momento da semeadura, em todos os tratamentos, equivalendo a uma dose de  $18 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Foram utilizados os seguintes fertilizantes minerais: Ureia convencional (45% de N); Super N<sup>®</sup> (45% de N); Nitro Mais<sup>®</sup> (45% de N); Super Nitro<sup>®</sup> (45% de N); Producote<sup>®</sup> (39% de N); Kincoat N<sup>®</sup> (45% de N); Nitrato de Amônio (32% de N) e Sulfammo Meta 29<sup>®</sup> (29% de N), além de uma testemunha, sem adição de N. Os fertilizantes foram aplicados na dose de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, manualmente, sobre a superfície do solo, sem incorporação, 23 dias após a semeadura. A eficiência dos fertilizantes foi, portanto, avaliada somente por ocasião da adubação de cobertura. A umidade gravimétrica do solo no momento da aplicação era de  $0,39 \text{ g g}^{-1}$ .

A concentração de N nos fertilizantes (Tabela 7) foi determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) com duas formas de extração: diluição em água destilada na concentração de  $1000 \text{ mg dm}^{-3}$  e através de digestão sulfúrica, conforme método de extração de N em tecido foliar (TEDESCO et al., 1995).

Tabela 7 - Porcentagem de nitrogênio nos fertilizantes determinada pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995) e com duas formas de extração.

|                                 | Digestão Sulfúrica <sup>(1)</sup> | Diluída em água <sup>(2)</sup> |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                                 | ----- % de N -----                |                                |
| Ureia                           | 43                                | 0                              |
| Super N                         | 43                                | 0                              |
| Kincoat N                       | 42                                | 0                              |
| Super Nitro                     | 43                                | 0                              |
| Producote                       | 39                                | 0                              |
| Nitro Mais                      | 42                                | 0                              |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 10                                | 34                             |
| Sulfammo Meta 29                | 30                                | 4                              |
| KNO <sub>3</sub> <sup>(3)</sup> | 0                                 | 14                             |

<sup>(1)</sup> Extração de N através de digestão sulfúrica dos fertilizantes (TEDESCO et al., 1995);

<sup>(2)</sup> Extração de N através da diluição dos fertilizantes em água destilada na concentração de 1000 mg L<sup>-1</sup>;

<sup>(3)</sup> Reagente analítico contendo apenas a forma nítrica como padrão de análise.

Fonte: Produção do próprio autor (2016).

As parcelas tinham 5,0 m de comprimento e oito linhas de plantas distanciados em 0,45 m, totalizando 18 m<sup>2</sup>. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. As aplicações de herbicidas, fungicidas e inseticidas foram efetuadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do feijoeiro.

Em cada parcela foram coletadas cinco subamostras de solo, na profundidade de 0 a 20 cm, antes e 21 dias após a aplicação dos tratamentos, para determinar o N mineral. Ele foi extraído com solução de KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup> e determinado pelo método de arraste de vapores, em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). Aos 44 dias após o plantio foram

coletadas 30 folhas por parcela, sendo o primeiro trifólio expandido do ápice em direção à raiz. Essas folhas foram secas em estufa de circulação de ar a 65°C, moídas e submetidas à digestão sulfúrica, para determinação do teor de N pelo método de arraste de vapores em aparelho semimicro Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

As avaliações, incluindo o rendimento de grãos, foram realizadas em uma área útil central de 7,30m<sup>2</sup>, correspondendo a seis linhas de 2,70 m. Ela foi realizada com corte das plantas rente ao solo, com auxílio de tesouras de poda. A seguir, as plantas foram recolhidas para posterior debulha, realizada em implemento batedor acoplado em trator. A umidade dos grãos foi determinada e a produtividade foi expressa contendo 13% de umidade. Uma amostra de grãos de cada parcela foi obtida para determinar a massa de mil grãos.

O teor de proteína no grão foi determinado em amostra previamente seca em estufa de circulação de ar a 65°C, moída e submetidas à digestão sulfúrica, sendo o teor de N determinado da mesma forma que o N nas folhas (TEDESCO et al., 1995) e multiplicado por 6,25.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nenhum dos fertilizantes minerais influenciou o teor de nitrogênio nas folhas do feijoeiro (Tabela 8). Os valores variaram entre 4,22 e 4,79 %, e são considerados acima da faixa adequada, de acordo com Rosolem e Marubayashi (1994), e um pouco abaixo do valor considerado adequado por Malavolta (2006), que é de 5,2 %. Os teores de N em folhas de feijoeiro normalmente aumentam com a aplicação de adubos nitrogenados (SANT'ANA; SANTOS; SILVEIRA, 2010), fenômeno esse não observado em nosso trabalho, à semelhança do encontrado por Almeida et al. (2000) e por Fornasieri Filho et al. (2007).

A massa de mil grãos também não foi influenciada pelos tratamentos (Tabela 8). Resultados semelhantes também foram encontrados por Almeida et al. (2000) avaliando formas de aplicação e doses de ureia em feijoeiro. Valores diferentes desses podem ser encontrados com diferentes cultivares (FORNASIERI FILHO et al., 2007) ou na mesma cultivar em anos diferentes (FARINELLI et al., 2006).

Os teores de proteína no grão, estimados a partir dos valores de N nos grãos, foram semelhantes entre os tratamentos (Tabela 8). Os valores de proteína ficaram entre 18 e 20%, e estão um pouco abaixo dos valores encontrados por outros autores (AMARAL et al. 1980; LONDERO et al. 2008; SANTOS; FERNANDE; ANTONAGELO, 2016). Esses valores mais baixos possivelmente são devido à variação nos teores de proteína em grãos de feijão de acordo com a cultivar e lugar cultivado (BURATTO et al. 2009).

A aplicação de N em cobertura, independente da fonte utilizada, não aumentou o rendimento de grãos do feijoeiro (Tabela 8). A produtividade média dos tratamentos foi de 3.770 kg ha<sup>-1</sup>. A ausência de incremento no rendimento pela adição dos adubos nitrogenados ao solo provavelmente se deve à boa liberação de N oriunda da matéria orgânica nativa, em função

do acúmulo de resíduos de plantas por vários anos sem revolvimento do solo durante os vinte anos em que permaneceu o pomar de macieira.

Tabela 8 - Médias de teor de N nas folhas, massa de mil grãos e produtividade de feijoeiro em função da adição ou não de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura a partir de fertilizantes nitrogenados.

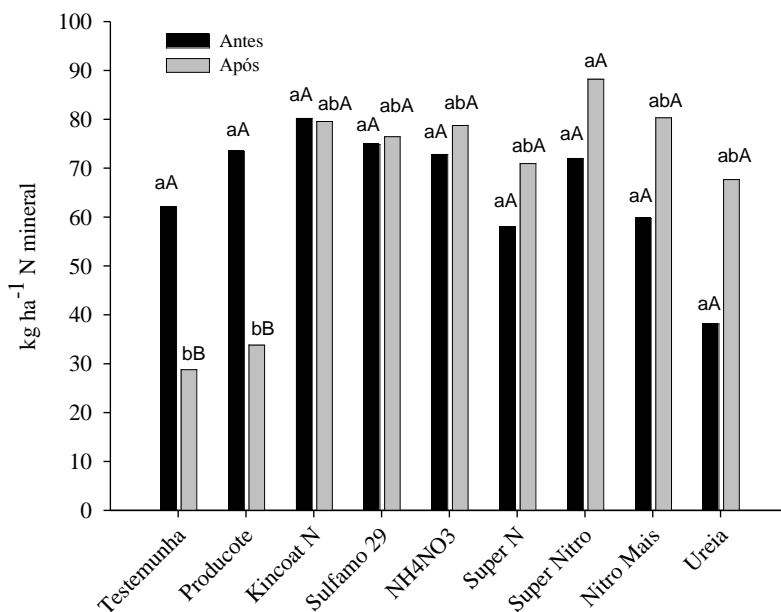
| Fertilizante                    | N em folhas | Massa de mil grãos | Proteína no grão | Produtividade       |
|---------------------------------|-------------|--------------------|------------------|---------------------|
|                                 | %           | g                  | %                | kg ha <sup>-1</sup> |
| Testemunha                      | 4,29 ns*    | 239,5 ns*          | 19 ns*           | 3.710 ns*           |
| Ureia                           | 4,43        | 242,1              | 19               | 3.700               |
| Super N                         | 4,63        | 241,4              | 19               | 3.740               |
| Kincoat N                       | 4,60        | 242,9              | 18               | 3.780               |
| Nirto Mais                      | 4,51        | 239,9              | 20               | 3.690               |
| Super Nitro                     | 4,22        | 240,8              | 20               | 3.720               |
| Producote                       | 4,53        | 241,4              | 19               | 3.980               |
| Sulfammo M. 29                  | 4,79        | 240,2              | 19               | 3.800               |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | 4,61        | 243,3              | 20               | 3.790               |
| CV%                             | 8,29        | 2,16               | 5,27             | 6,3                 |

ns\* = não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.  
Fonte: produção do próprio autor (2016).

O N mineral no solo antes da adubação de cobertura mostrou haver boa disponibilidade de N em todos os tratamentos (Figura 18). A maior disponibilidade de N no solo antes da aplicação dos fertilizantes foi para o Kincoat N com aproximadamente 80 kg ha<sup>-1</sup> e a menor foi para a ureia com aproximadamente 38 kg ha<sup>-1</sup>. Apesar de apresentar o dobro de N no solo, Kincoat não foi diferente estatisticamente que ureia devido ao alto coeficiente de variação. Essa condição, reforçada pelas altas produtividades obtidas no tratamento testemunha (Tabela 8), demonstra que a adubação de

semeadura (18 kg de N ha<sup>-1</sup>) e a mineralização da matéria orgânica do solo foram capazes de suprir a demanda de N para a cultura. O preparo do solo, após vários anos sem ocorrer o revolvimento do mesmo, enquanto este foi cultivado com macieira, favoreceu a rápida mineralização da fração leve da matéria orgânica que é facilmente decomponível.

Figura 18 - Conteúdo de N mineral no solo antes da aplicação dos fertilizantes e 21 dias após a aplicação dos fertilizantes.



Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para época de amostragem e minúscula para tratamento, não diferem pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro com CV% de 34,98. Fonte: produção do próprio autor (2016).

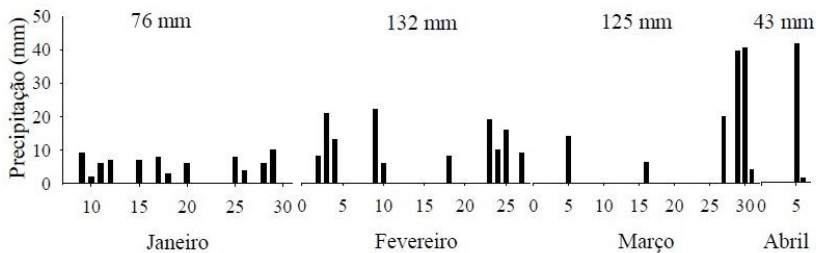
O Super Nitro proporcionou a maior disponibilidade de N no solo 21 dias após a aplicação dos tratamentos. Esse apresentou aproximadamente 88 kg de N ha<sup>-1</sup> diferindo de Producode e da testemunha. As quantidades de N mineral na camada arável do solo se mantiveram altas na amostragem realizada 21 dias após a aplicação dos adubos em cobertura (Figura 18). Exceção ocorreu para a testemunha e para o Producode, onde os valores de N diminuíram em relação à amostragem anterior.

A precipitação ao longo do experimento foi de 376 mm (Figura 19). Ocorreu uma boa distribuição desse volume nos meses de desenvolvimento da cultura, com acumulados mensais de 76, 132, 125 e 43 mm nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril respectivamente. No momento da aplicação dos fertilizantes, a umidade gravimétrica do solo era de 0,39 g g<sup>-1</sup>, ficando acima da capacidade de campo para esse solo (STRECK 2007). Essa umidade foi devido a uma precipitação de 10 mm que ocorreu no dia anterior à aplicação dos tratamentos. Até o quinto dia após a aplicação dos mesmos ocorreu precipitação acumulada de 42 mm (Figura 19). Essas condições possibilitaram uma rápida incorporação dos fertilizantes ao solo. Além disso, as boas condições de umidade do solo e a boa distribuição de chuvas ao longo do ciclo favorecem a mobilidade de N em direção às raízes, por fluxo de massa, tornando a planta menos dependente de fontes externas de N.

Outro fator que possivelmente contribuiu no fornecimento de N para as plantas foi a fixação biológica através de associações com bactérias do gênero *Rhizobium*, nativas do solo, que podem fornecer N para o feijoeiro (RUFINI et al., 2011).



Figura 19 - Distribuição da precipitação diária ocorridas do momento do plantio à colheita do experimento.



Fonte: produção do próprio autor (2016).

#### 4.4 CONCLUSÃO

A aplicação de N ao solo, independente da fonte, não aumentou o rendimento de feijoeiro nem tampouco os componentes do rendimento. Isso provavelmente ocorreu em função do adequado suprimento de N a partir da mineralização da matéria orgânica do solo, principalmente em função dos altos teores, da boa distribuição de chuvas e de o solo ter permanecido anteriormente por vinte anos sem ser revolvido.

## 5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Ao contrario do que se esperava a calagem superficial não aumentou a volatilização de amônia a partir da aplicação de fertilizantes amídicos sobre a superfície do solo. Estudos combinando as formas de calagem, diferentes umidades de solo e presença de resíduos culturais são necessários para se entender melhor a dinâmica de perda de N por volatilização em ambientes produtivos.

As lixiviações de amônio e nitrato sofreram interferência da desnitrificação ocorrida nas colunas durante a condução do experimento. Para experimentos futuros, deverão ser utilizados mecanismos que evitem a saturação do solo da parte inferior da coluna com água.

Para avaliar a eficiência desses fertilizantes no fornecimento de N para as plantas deverá se utilizar plantas mais responsivas à adição de N como, por exemplo, o milho e o trigo.

Diante do fato que algum desses fertilizantes possam apresentar liberação lenta de N, faz-se necessário avaliar a mineralização desses ao longo do tempo quando aplicados no solo.



## 6 REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p. 369-376, abr. 2005.

ALMEIDA, C. et al. Ureia em cobertura e via foliar em feijoeiro. **Scientia Agrícola**, v.57, p. 293-298, 2000.

AMARAL, F. A. L. et al. Exigências de nitrogênio, fósforo e potássio de alguns cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz**, v. 37 p. 223–239, 1980.

ANTISARI, L. V. et al. Effects of the urease inhibitor N- ( n-butyl ) phosphorothioic triamide in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and fertility of soils**, v. 22, p. 196–2001, 1996.

ARAÚJO, A. R. et al. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 537–541, 2004.

ARCHIVO NACIONAL DE CHILE. Salitre de chile. 2016. Disponível em: <<http://www.salitredechile.cl>> Acesso em 21 jan. 2016, 20:17.

AULAKH, M. S.; KHERA, T. S.; DORAN, J. W. Mineralization and denitrification in ipland, nearly saturated and flooded subtropical soil: I. Effect of nitrate and ammoniacal nitrogen. **Biol Fertil Soils**, v.31, p. 162-167, 2000.

BACON, P. E. **Nitrogen fertilization in the environment**. New York. M. Dekker, 1995. 608p.

BERNARDES, T. G. et al. Produtividade do feijoeiro irrigado em razão de fontes de adubo nitrogenado estabilizado e de liberação controlada. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, p. 507–509, 2015.

BERNARDI, A. C. C.; MOTA, E. P.; CARDOSA, R. D. Ammonia Volatilization from Soil, Dry- Matter Yield , and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 153–162, 2014.

BRITO, L. F. DE et al. Resposta do Feijoeiro Comum à Inoculação com Rizóbio e Suplementação com Nitrogênio Mineral em Dois Biomas Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 981–992, 2015.

BURATTO, J. S. et al. Variabilidade genética e efeito do ambiente para o teor de proteína em grãos de feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 593–597, 2009.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In; NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. Viçosa, MG; **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. 1017p. 375 a 470.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana de açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. Anais do Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba. IPNI Brasil. 2007. 722p. 355 a 412.

CARMONA, G.; CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nBTPT) on

ammonia volatilization from urea. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22, p. 933–937, 1990.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. **Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts**. In: *Advances in Agronomy*. 1. ed. Academic Press, 2009. v. 102,. p. 267–322.

CHITOLINA, J. C.; GLÓRIA, N. A. Efeito da ureia coberta com enxofre sobre a perda de nitrogênio por lixiviação em um latossol roxo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz**, v. 37, p. 719–735, 1980.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, v. 26, p. 21–27, 1990.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia De Liberação Lenta Aplicada Superficialmente E Ureia Comum Incorporada Ao Solo No Rendimento Do Milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, p. 52–59, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Porto Alegre 10. ed., 2004. 400 p.

CRISPINO, C. C. Adubação Nitrogenada na Cultura da Soja. Embrapa Soja, Londrina PR, p. 1-6, 2001. (**Comunicado Técnico n.75**)

DALAL, R. C. The use of urea and sulfur-coated urea for corn production in a tropical soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 39, p. 104–105, 1975.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 825–831, 2001.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 26, p. 993–1000, 2002.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages, SC. 2003. 76p.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade dos nutrientes**. Lages, SC. 2008. 230p.

FAN, M. X.; MACKENZIE. Urea and Phosphate Interactions in Fertilizer Microsites: Ammonia Volatilization and pH Changes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 839–845, 1993.

FARIA, L. D. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 942–948, 2014.

FARINELLI, R. et al. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 41:307-312, 2006.



FORNASIERI FILHO, D. et al. Resposta de cultivares de feijoeiro comum à adubação nitrogenada em sistema de plantio direto. **Científica**, Jaboticabal, 35: 115-121, 2007.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the state of paraná, brazil. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, p. 1677–1684, 2010.

FRAZÃO, J. J. et al. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1262–1267, 2014.

HAVLIN, J. L. et al. **Soil Fertility and Fertilizers**. An introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey. Pearson Education. 2005. 515p.

HERNANDES, R.; CAZETTA, J. O. Método simples e acessível para determinar amônia liberada pela cama aviária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, p. 824–829, 2001.

HUNGRIA, M. et al. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil : Contributions of biological N<sub>2</sub> fixation and N fertilizer to grain yield. **Canadian journal of plant science**, p. 927–939, 2006.

LARA CABEZAS, W. A R.; SOUZA, M. A. Volatilização de amônia, lixiviação de nitrogênio e produtividade de milho em resposta à aplicação de misturas de uréia com sulfato de amônio ou com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2331–2342, 2008.

LYU, X. et al. Polymer-Coated Tablet Urea Improved Rice Yield and Nitrogen Use Efficiency. **Agronomy Journal**, v. 107, p. 1837–1844, 2015.

LONDERO, P. M. G. et al. Variabilidade genética para proteína e rendimento de grãos em populações de feijão. **Pesquisa Agropecuaria Gaúcha**, v. 14, p. 105–111, 2008.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2. ed. rev. e amp. Piracicaba: POTAFÓS, 1998. 177p.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um Argissolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 1173–1179, 2012.

LOURENÇO, K. S. et al. Lixiviação de Nitrogênio influenciada pela presença de inibidores da urease em adubos orgânicos e minerais. **Anais XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Florianópolis, 4p., 2013

MAGID, H. M. A.; MAHI, Y. E. E. L. In vitro effects of urease inhibitors on rate of urea hydrolysis in soils. **Fertilizer Research**, v. 8, p. 203–212, 1986.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições , modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, p. 271–279, 2014.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; HUNGRIA, M. Adubação nitrogenada suplementar tardia em soja cultivada em latossolos do Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1053–1060, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. atualizado e ampliado. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1057–1063, 2013.

OLIVEIRA, J. A. et al. Volatilização de amônia proveniente de ureia compactada com enxofre e bentonita, em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 38, p. 1558–1564, 2014.

PELEGRIN, R. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, p. 219–226, 2009.

REIS JUNIOR, R. D. A.; SILVA, D. R. G. Avaliação das características físicas e físico-químicas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados revestidos por polímeros. **Magistra**, v. 24, p. 145–150, 2012.

ROCHA, F. A. et al. Modelo numérico do transporte de nitrogênio no solo: Parte II: Reações biológicas durante a lixiviação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p. 54–61, 2008.

ROGERI, D. A. et al. Mineralização e nitrificação do nitrogênio proveniente da cama de aves aplicada ao solo.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,  
Campina Grande, v.19, n.6, p. 534–540, 2015.

ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas**, 68,1994. p. 1-18.

RUFINI, M. et al. Simbiose de bactérias fixadoras de nitrogênio com feijoeiro-comum em diferentes valores de pH. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 46:81-88, 2011.

SANGOI, L. et al. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da ureia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p. 65-70, jan.-fev. 2003.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura Spad e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 40:491-496, 2010.

SANTOS, S. M. C.; FERNANDE, D. M.; ANTONAGELO, J. A. Fontes e doses de nitrogênio na nutrição, produção e qualidade de grãos do feijoeiro comum. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 5, p. 69–82, 2016.

SHAH, M. R.; SOOMRO, Z. H. **Urease Inhibition**. In: *Enzyme Inhibition and Bioapplications*. 2012, p. 303–314.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALE, M. L. DE C. Ammonia volatilization losses from surface- applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 52, p. 82–89, 2012.

SOUZA, J. et al. Manejo de nitrogênio revestido com polímeros na cultura do algodão. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, p. 43–49, 2013.

SOUZA, R. S.; FERNANDES, M.S. **Nitrogênio**. In: Nutrição Mineral de Plantas Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, 2006. Cap. 4 p. 215 a 252

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 726–732, 2013.

STRECK, C. A. Índice s e fluxo de água e ar em solos do sul do Brasil. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria. 2007. 95p.

TASCA, F. A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35:493-502, 2011.

TEDESCO, M.J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5)

TRENKEL, M. E. **Use efficiency controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture**. International Fertilizer Industry Association, Paris, 1997. 151 p.

VALDERRAMA, M. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 659–670, 2014.

- VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Response of field-grown bean ( *Phaseolus vulgaris* L. ) to Rhizobium inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. **Biology and fertility of soils**, v. 32, p. 228–233, 2000.
- VILLALBA, H. A. G. et al. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. **Informações Agronômicas**, v. 148, p. 12–20, 2014.
- VITTI. A. C.; HEIRINCHS. R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: Uma visão holística. In: YAMADA. T.; ABDALLA. S. R. S.; VITTI. G. C. Anais do Simpósio sobre Nitrogênio e Enxofre na Agricultura Brasileira. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba. IPNI Brasil. 2007. 722p. 109-160.
- WATSON, C. J. et al. Soil properties and the ability of the urease inhibitor n-(n-butyl) thiophosphoric triamide (nbtpt) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biol. Biochem**, v. 26, p. 1165–1171, 1994.
- WATSON, C. J. Urease inhibitors. In: IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers. Frankfurt. **Anais...** Frankfurt, Germany. 2005. 10.p
- WATTS, D. B. et al. Enhanced-Efficiency Fertilizer Effects on Cotton Yield and Quality in the Coastal Plains. **Agronomy Journal**, v. 106, p. 745–752, 2014.
- WERNECK, C. G. et al. Volatilização de amônia proveniente de ureia com zeólita natural. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 466–470, 2012.