

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM ÁREA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM EXPERIMENTO DE  
LONGA DURAÇÃO

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2018

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM ÁREA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM EXPERIMENTO DE  
LONGA DURAÇÃO**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2018

ROSANGELA CORRÊA DE LIMA

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM ÁREA  
DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM EXPERIMENTO DE  
LONGA DURAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tangriani Simioni Assmann

Coorientador: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva

Coorientador: Prof. Dr. André Brugnara Soares

PATO BRANCO

2018

L732a Lima, Rosangela Corrêa de.  
Adubação de sistemas: volatilização de amônia em área de integração  
lavoura-pecuária em experimento de longa duração / Rosangela Corrêa de  
Lima. -- 2018.  
85 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Profa. Dra. Tangriani Simioni Assmann  
Coorientador: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva  
Coorientador: Prof. Dr. André Brugnara Soares  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, PR, 2018.  
Bibliografia: f. 73 - 81.

1. Fertilizantes nitrogenados. 2. Plantas - Efeito do nitrogênio. 3. Adubos  
e fertilizantes. I. Assmann, Tangriani Simioni, orient. II. Piva, Jonatas  
Thiago, coorient. III. Soares, André Brugnara, coorient. IV. Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. V. Título.

CDD (22. ed.) 630

Ficha Catalográfica elaborada por  
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630  
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Pato Branco  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
**Programa de Pós-Graduação em Agronomia**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título da Dissertação nº XXX**

**ADUBAÇÃO DE SISTEMAS: VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA EM ÁREA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

por

**ROSANGELA CORRÊA DE LIMA**

Dissertação apresentada às 14 horas 00 min. do dia 06 de março de 2018 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Integração Lavoura-Pecuária, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Luís César Cassol**  
UTFPR/Pato Branco

---

**Profª. Drª. Marieli Maccari**  
UNOESC/Xanxerê

---

**Profª. Drª. Deonisia Martinichen**  
UTFPR/Pato Branco

---

**Profª. Drª. Tangriani Simioni  
Assmann**  
UTFPR/Pato Branco  
Orientadora

---

**Prof. Dr. Moeses Andriago Danner**  
Coordenador do PPGA

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do PPGAG.

Ao Grupo *GISPA!*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, e por me guiar e abençoar em cada passo.

A minha querida mãe Angenita, “meu alicerce”, pelo incentivo, amor e carinho no decorrer desses anos, e principalmente por estar ao meu lado em cada dificuldade enfrentada.

A meu namorado/noivo/marido *Eider Balena* “meu amor para todo o sempre” pelo carinho, apoio e compreensão durante essa minha caminhada. E pela ajuda de sempre em todas as etapas de desenvolvimento deste trabalho.

A toda minha família pelo apoio e incentivo.

Agradeço infinitamente ao grupo de iniciação científica GISPA - Grupo de Interação Solo Planta Animal, que colaboraram em todas as etapas (campo e laboratório) e foram peças fundamentais para a realização deste trabalho.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tangriani Simioni Assmann, que aceitou o desafio e me recebeu de braços abertos ainda que não me conhecesse. Agradeço imensamente pelo apoio, compreensão e pelos ensinamentos compartilhados durante esta trajetória.

Agradeço também aos meus coorientadores, Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva e ao Prof. Dr. André Brugnara Soares que me ajudaram a projetar este trabalho, e por todos os ensinamentos adquiridos no decorrer deste processo.

Em especial aos meus amigos de pós-graduação, Pablo A. Beltrán, Anderson C. Rhoden e Ricardo B. Aiolfi. Não foi fácil, foram dias de muito trabalho, de angústias, mas também de muito aprendizado, alegrias e de muitas risadas..., fase que apesar de difícil ficará para sempre em meu coração.

As minhas queridas amigas e colegas Luryan T. Kagimura, Márcia Mensor e Angélica C. Zatta, Jéssica M. Nemirski, Rafaela D. Rintzel por toda ajuda neste trabalho.

Agradeço ainda os meus estimados colegas de pós-graduação, Wilson H. Tatto, Flávia Levinsli-Huf, Rodrigo Tonet, Felipe Deifeld e Talita Talyta Zortéa pela ajuda indispensável que recebi.

A todos os professores e membros desta Branca, e em especial ao Prof. Luís César Cassol, pela ajuda sempre que solicitei

Enfim, a todos que de alguma forma me ajudaram a alcançar mais este objetivo, meu sincero Muito Obrigada!!!

“O degrau de uma escada não serve simplesmente para que alguém permaneça em cima dele, destina-se a sustentar o pé de um homem pelo tempo suficiente para que ele coloque o outro um pouco mais alto”.

(Thomas Huxley)



## RESUMO

LIMA, Rosângela Corrêa de. Adubação de Sistemas: Volatilização de amônia em área de Integração Lavoura-Pecuária em experimento de longa duração. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

A integração lavoura-pecuária além de intensificar o uso da terra, acrescentando renda ao produtor rural, traz muitos outros benéficos aos sistemas agrícolas. Um deles é a maior eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados, ocasionado pela maior ciclagem e reciclagem de nutrientes entre a fase pastagem e a fase lavoura, o que diminuí custos de produção e torna o sistema mais sustentável a longo prazo, devido a menor taxa de perdas de N. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função da aplicação de N e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária. O experimento foi realizado em uma área de 14 ha, onde desde 2012 vem sendo conduzido um experimento em longo prazo com ILP sob Plantio Direto. Foram avaliados quatro cultivos em rotação durante duas safras agrícolas, sendo eles: azevém-feijão (2016/2017), e aveia-milho (2017/2018). O delineamento experimental para a cultura de inverno foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (2x2x7), com três repetições. O primeiro fator foi tempo de aplicação de nitrogênio (N) no sistema: N aplicado na pastagem (N-Pastagem) e sendo estas as únicas parcelas a receberem N de cobertura na dose 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em uma única aplicação nesta fase experimental as quais foram comparadas com as parcelas denominadas N-Adubação Grãos, as quais não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo. O segundo fator foi altura de pasto, Alta Altura (AA) e Baixa Altura (BA), 25 e 10 cm (alturas pretendidas), respectivamente. Como terceiro fator foram avaliados os dias de coleta após a aplicação de N, sendo estas realizadas no 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° e 14° dia após a aplicação de ureia. Para a cultura de grãos foram adicionados mais um fator (2x2x7x4), sendo as doses crescentes de N: 0; 50; 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>, e 0; 100; 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>, para a cultura do feijão e milho, respectivamente. As mesmas foram alocadas em subparcelas dentro de cada parcela, no momento da aplicação do N em cobertura no tratamento N-Adubação Grãos. A avaliação de volatilização de amônia foi realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos e a quantificação do teor de amônia foi realizada pelo método de colorimetria. As perdas por volatilização de amônia, tanto para as culturas de inverno como para as culturas de verão foram influenciadas pelos tratamentos a qual forma submetidos, e foram altamente dependentes das condições climáticas no momento da aplicação de N. As perdas acumuladas por volatilização de amônia provocadas pela adubação nitrogenada (ureia) foram mínimas, sendo inferiores a 1,5 % nos dois anos de avaliação na fase de pastejo. Na fase de cultivo de feijão e milho a perda máxima de volatilização amônia acumulada observada foi de 5,37% e 4,0 %, respectivamente. Uma maior pressão de pastejo resultou em menores perdas por volatilização de amônia durante a fase de pastejo e contrariamente, durante a fase de cultivo de grãos uma maior pressão de pastejo, aplicada na pastagem cultivada anteriormente, resultou em maiores perdas por volatilização da amônia.

**Palavras-chave:** Adubação nitrogenada. Perdas de nitrogênio. Ciclagem de nutrientes.

## ABSTRACT

LIMA, Rosangela Corrêa de. Systems Fertilization: Volatilization of ammonia in the area of crop-livestock integration in a long-term experiment. 98 f. Dissertation (Masters in Agronomy)– Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2018.

The crop-livestock integration, besides intensifying the use of land, adding income to the rural producer, brings many other benefits to the agricultural systems. One of them is the greater efficiency in the use of nitrogen fertilizers, caused by the greater cycling and recycling of nutrients between the pasture phase and the cropping phase, which reduces production costs and makes the system more sustainable in the long term, due to the lower rate of losses of N. In this context, the objective of this work was to evaluate the losses by volatilization of ammonia due to the application of N and the height of pasture management in the area of crop-livestock integration. The experiment was carried out in an area of 14 ha, where since 2012 a long-term experiment has been conducted with ILP under Plantio Direto. Four rotating crops were evaluated during two agricultural crops: ryegrass (2016/2017), and oat-corn (2017/2018). The experimental design for the winter crop was in randomized blocks in a factorial scheme (2x2x7), with three replications. The first factor was nitrogen (N) application time in the system: N applied to the pasture (N-Pasture) and these were the only plots to receive coverage N at the dose 200 kg of N ha<sup>-1</sup> in a single application at this stage which were compared with the plots denominated N-Fertilization Grains, which did not receive nitrogen fertilization in the grazing phase. The second factor was grass height, High Height (AA) and Low Height (BA), 25 and 10 cm (intended heights), respectively. As a third factor, the days of collection were evaluated after the application of N, which were performed at 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° and 14° day after the application of urea. For the grain culture, another factor (2x2x7x4) was added, with increasing doses of N: 0; 50; 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>, and 0; 100; 200 and 300 kg ha<sup>-1</sup>, for the bean and corn crop, respectively. They were allocated in subplots within each plot, at the time of application of the N in cover in the treatment N-Fertilization Grains. The evaluation of ammonia volatilization was performed by the method of static semi-open collectors and the quantification of the ammonia content was performed by the colorimetry method. Ammonia volatilization losses for both winter and summer crops were influenced by the treatments in which they were submitted and were highly dependent on the climatic conditions at the time of N application. The accumulated losses caused by ammonia volatilization by nitrogen fertilization (urea) were minimal, being lower than 1.5% in the two years of evaluation in the grazing phase. In the bean and corn cultivation phase the maximum accumulated ammonia volatilization loss observed was 5.37% and 4.0%, respectively. Higher grazing pressure resulted in lower losses due to ammonia volatilization during the grazing phase and, conversely, during the grazing phase a higher grazing pressure applied to previously cultivated grazing resulted in higher losses due to volatilization of ammonia.

**Keywords:** Nitrogen fertilization. Loss of nitrogen. Nutrient cycling.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (Pastagem e Lavoura) (maio de 2016 a março de 2017) na região de Abelardo Luz – SC. Fonte: INMET, Clevelândia-PR, (2018). ..... 14
- Figura 2.** Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2017. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N-Adubação Grãos); NP (N-Pastagem). ..... 17
- Figura 3.** Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de feijão em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG-N-Adubação Grãos; NP-N-Pastagem..... 18
- Figura 4.** Representação do coletor de amônia utilizado para quantificar as perdas de N por volatilização de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 20
- Figura 5.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após aplicação de ureia na cultura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam cv. Winter Star). Abelardo Luz – SC. Junho de 2016. (A) Dose equivalente de N (200 Kg N<sup>-1</sup>); (B) Solução extratora; (C) Câmera coletora de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 21
- Figura 6.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após a aplicação de ureia na cultura do Feijoeiro (IPR- Tuiuiu). Abelardo Luz – SC. Janeiro de 2017. (A) Condições do experimento no momento da aplicação de ureia (B) Câmera coletora de amônia; (C) Análise em laboratório. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018. .... 22
- Figura 7.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Azevém (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 25
- Figura 8.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, no período de avaliação. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 27
- Figura 9.** Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub>, sobre o efeito do tratamento altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA = alta altura de pasto, BA = baixa altura de pasto. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 28
- Figura 10.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Azevém, interação entre doses de N e dias (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 32
- Figura 11.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, interação entre doses de N e dias (C). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 33
- Figura 12.** Efeito isolado da taxa de volatilização diária em função do tempo de adubação-N (A) e da altura de pasto (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 35

- Figura 13.** Volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulado, em função das doses de N e o tempo de adubação-N (A), e doses de N e Altura de pasto (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 37
- Figura 14.** Volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulado, em função do tempo de adubação-N e da Altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 38
- Figura 15 –** Dados meteorológicos observados durante o período experimental (Pastagem e Lavoura) (abril de 2017 a dezembro 2017) na região de Abelardo Luz – SC. Fonte: INMET, Clevelândia - PR (dados dos meses de abril e maio); Epagri Santa Catarina, Abelardo Luz – SC (dados dos meses de junho a dezembro). Pato Branco - PR, 2018..... 45
- Figura 15.** Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N-Adubação Grãos); NP (N-Pastagem). .... 48
- Figura 17.** Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N- Grãos); NP (N-Pastagem)..... 49
- Figura 18.** Representação do coletor de amônia utilizado para quantificar as perdas de N por volatilização de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 51
- Figura 19.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após aplicação de ureia na cultura da aveia preta comum. Abelardo Luz – SC. Maio de 2017. (A) Condição da pastagem no momento da aplicação de N (ureia); (B) Câmera coletora de amônia; (C) Análise em laboratório das perdas de N, quanto mais intensa a cor, maior a quantidade de N contido na amostra. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 52
- Figura 20.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após a aplicação de ureia na cultura do Milho (AG 9025). Abelardo Luz – SC. Novembro de 2017. (A) Condição do experimento no momento da aplicação de N (ureia); (B) Câmera coletora de amônia; (C) Dose de ureia equivalente a dose de N aplicada em cada subparcela. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 53
- Figura 21.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Aveia (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 55
- Figura 22.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, no período de avaliação. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 57
- Figura 23.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre doses de N e dias após aplicação de N (B). \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 58

- Figura 24.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, efeito isolado de dias após aplicação de N. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 62
- Figura 25.** Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre dias após aplicação de N e altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 63
- Figura 26.** Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> oriunda do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 64
- Figura 27.** Taxa diária de perda de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e doses de N. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. Barras verticais indicam o erro padrão da média. .... 66
- Figura 28.** Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e doses de N (A), e interação entre altura de pasto e doses de N (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média..... 68

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura do azevém cv. Winter Star, solo coletado em 05 de maio de 2016. Pato Branco - PR, 2018. .... 15
- Tabela 2.** Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de ILP – Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018..... 15
- Tabela 3.** Resumo das informações da implantação e condução de dois cultivos (azevém e feijão) conduzidos na área experimental em Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018. .... 16
- Tabela 4** – Datas de avaliações de perdas de amônia após aplicação de ureia na cultura do azevém e na cultura do feijão. Abelardo Luz-SC, 2017. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018. .... 21
- Tabela 5** – Datas de avaliações de perdas de amônia após aplicação de ureia na cultura do feijão. Abelardo Luz-SC, 2017. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018..... 22
- Tabela 6** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura da aveia preta comum, solo coletado em 22 de março de 2017. Pato Branco - PR, 2018..... 45
- Tabela 7.** Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Pato Branco - PR, 2018. .... 46
- Tabela 8.** Resumo das informações da implantação e condução de dois cultivos (aveia e milho) conduzidos na área experimental em Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018. .... 46
- Tabela 9** – Datas de coletas para quantificação das perdas de N-NH<sub>3</sub> na cultura da aveia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018. .... 52
- Tabela 10** – Datas de coletas para quantificação das perdas de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018. .... 53

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

CQFS	Comissão de Química e Fertilidade do Solo
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
ILP	Integração Lavoura – Pecuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
PR	Paraná
SC	Santa Catarina
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE ABREVIATURAS

AA	Alta altura do pasto
BA	Baixa altura do pasto
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
cv.	Cultivar
GL	Graus de Liberdade
ha	Hectare
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
ILP	Integração Lavoura – Pecuária
KCl	Cloreto de Potássio
MO	Matéria Orgânica
MS	Massa Seca
MSR	Massa seca remanescente
NaOCl	Hipoclorito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NH <sub>3</sub>	Amônia
N-Adubação Grãos	Nitrogênio aplicado na fase lavoura (milho antecessor a pastagem)
N-Pastagem	Nitrogênio aplicado na fase pastagem
ns	Não significativo
SB	Soma de Bases
V3	Estádio de desenvolvimento em que a planta de feijão apresenta o 1º trifólio completamente desenvolvido.
V5	Estádio de desenvolvimento em que a planta de milho apresenta cinco folhas completamente desenvolvidas



## LISTA DE SÍMBOLOS

'	Minutos
''	Segundos
%	Porcentagem
% de N	Porcentagem de nitrogênio
@	Arroba
<	Menor
>	Maior
=	Igual
-	à
Al <sup>3+</sup>	Alumínio
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
cm <sup>2</sup>	Centímetro quadrado
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Centimol de carga por decímetro cúbico
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
dm <sup>-3</sup>	Decímetro cúbico
g	Gramma
g dm <sup>-3</sup>	Gramma por decímetro cúbico
H + Al	Hidrogênio + Alumínio
ha <sup>-1</sup>	Por hectare
Hz	Hertz
K	Potássio
kg	Quilograma
kg de MS ha <sup>-1</sup>	Quilograma de Massa Seca por hectare
kg de N ha <sup>-1</sup>	Quilograma de nitrogênio por hectare
kg ha <sup>-1</sup>	Quilograma por hectare

L ha <sup>-1</sup>	Litros por hectare
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m ha <sup>-1</sup>	Metros por hectare
mg	Miligrama
Mg	Magnésio
mg dm <sup>-3</sup>	Miligramas por decímetro cúbico
mL kg <sup>-1</sup>	Mililitros por quilograma
mm	Milímetro
Mn	Manganês
nº	Número
N	Nitrogênio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
°	Graus
°C	Graus Centígrados
P	Fósforo
P<0,05	Menor que 5 % de significância
pH	Potencial hidrogeniônico
V%	Saturação por bases

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>7</b>
<b>2 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NA ROTAÇÃO AZEVÉM-FEIJÃO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA</b> .....	<b>10</b>
RESUMO.....	10
ABSTRACT .....	11
2.1 INTRODUÇÃO .....	12
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	13
2.2.1 Caracterização da área em estudo .....	13
2.2.2 Montagem e Condução do Experimento .....	15
2.2.3 Variáveis estudadas .....	19
2.2.3.1 Perdas por volatilização de amônia.....	19
2.2.4 Análise estatística dos dados .....	23
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	23
2.3.1 Volatilização de amônia na cultura do Azevém .....	23
2.3.2 Volatilização de amônia na cultura do Feijoeiro .....	29
2.4 CONCLUSÕES .....	40
<b>3 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NA ROTAÇÃO AVEIA-MILHO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA</b> .....	<b>41</b>
RESUMO.....	41
ABSTRACT .....	42
3.1 INTRODUÇÃO .....	43
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	44
3.2.1 Caracterização da área em estudo .....	44
3.2.2 Montagem e Condução do Experimento .....	46
3.2.3 Variáveis estudadas .....	50
3.2.3.1 Perdas por volatilização de amônia.....	50
3.2.4 Análise estatística dos dados .....	53
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	54
3.3.1 Volatilização de amônia na cultura da Aveia .....	54
3.3.2 Volatilização de amônia na cultura do milho .....	57
3.4 CONCLUSÕES .....	70
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

É cada vez maior o desafio de se produzir alimentos no mundo. Se por um lado a demanda cresce a cada ano pelo aumento da população, por outro, a necessidade de aumentar a eficiência produtiva dessas áreas é cada vez maior. Esse desafio se torna ainda mais difícil, quando se objetiva produzir alimentos de forma sustentável, sem alterar e/ou agredir o meio ambiente.

Os sistemas integrados de produção surgem no intuito de intensificar a produção agropecuária, diversificando e agregando renda ao produtor rural e ao mesmo tempo, minimizando os impactos aos recursos naturais. Esses sistemas garantem a intensificação sustentável da agricultura, promovendo o aumento da produção de alimentos, fibras e energia, associados à promoção de serviços ecossistêmicos (MORAES et al., 2014). Isso só é possível, pela melhoria da fertilidade do solo, através da ciclagem de nutrientes (Salton et al., 2014) e pela maior eficiência no uso dos fertilizantes.

Uma importante quantidade de N exigido pelas culturas pode ser suprida pelo N contido na matéria orgânica do solo, adubos orgânicos, resíduos vegetais e pelas excretas de fezes e urina dos animais. No entanto, o N presente no solo não é suficiente para sustentar elevadas produções, sendo necessário a adição de fertilizantes nitrogenados (RAIJ, 2011; ANDRADE, 2004).

Diante disso, o manejo racional das adubações é necessário para que os princípios deste sistema sejam alcançados. A adubação nitrogenada é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e para maiores produtividades das culturas. Dentre os fertilizantes nitrogenados a ureia é o mais utilizado no mundo, assim como no Brasil, por ser o fertilizante com maior concentração de nitrogênio (N) e o que possui menor custo. Em 2015, a ureia representou 49,9% do consumo mundial de fertilizantes nitrogenados e 53,7% no Brasil (IFA, 2018).

Do ponto de vista econômico a ureia é potencialmente superior a outras fontes por apresentar alta concentração de N, ser de fácil manipulação, além do menor custo por quilograma de nitrogênio, mas comumente quando aplicado em superfície, apresenta maior perda de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ )

(PRIMAVESI et al., 2004).

A aplicação de ureia sobre a superfície do solo pode ocasionar perdas por volatilização de amônia, sendo este um dos maiores problemas deste produto (OLIVEIRA, 2001; RESENDE ET AL., 1988; LOPES E GUILHERME, 2000; LARA CABEZAS E YAMADA, 1999). Esse assunto tem sido discutido e estudado em diversos trabalhos de pesquisa, cujo resultados apontam que as perdas ocorrem: a) essencialmente na primeira semana após a aplicação de ureia em superfície; b) com o aumento das doses de N aplicada; c) quando a umidade do solo é elevada; d) pela presença de resíduos culturais devido à maior presença da urease na palhada e menor contato da ureia com o solo; e) chuvas abaixo de 10 mm ou que não sejam suficientes para incorporar a ureia ao solo (CANTARELLA , 2007; SANGOI et al., 2003; PRIMAVESI et al., 2001; DA ROS et al., 2005; CANTARELLA et al., 1999; COSTA et al., 2003). Além disso, as perdas de N-NH<sub>3</sub> são influenciadas pelo teor de matéria orgânica, umidade e textura do solo, época e métodos de aplicação do fertilizante (KLUTHCOUSKI, 2006).

Portanto, considerando o sistema solo-planta-animal-atmosfera e as interações que ocorrem dentro deste sistema é necessário compreender esses processos, e medidas devem ser adotadas para maximizar a produção, tanto de grãos como de pastagem, em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), minimizando perdas que representam danos econômicos e ambientais. Deste modo, é preciso conhecer bem os fatores que influenciam essas perdas, orientar o manejo com o propósito de tornar mais eficiente o uso de fertilizantes nitrogenados.

Assim, surge o conceito de *Adubação de Sistemas*, que tem como base a ciclagem biológica de nutrientes entre as fases de um sistema de rotação buscando a máxima eficiência de uso de nutrientes, reduzindo entradas, evitando perdas e mantendo a fertilidade no solo em longo prazo (ASSMANN et al., 2017).

Todos esses processos são intensificados dentro dos sistemas integrados, principalmente pela presença de animais, uma vez que é o grande catalizador na ciclagem de nutrientes. Nesse contexto, as áreas de ILP tem recebido atenção no que se refere ao manejo de pastagem, pois quando realizada de forma correta traz benefícios ao sistema, como aumento da taxa de lotação e da carga animal, os quais retornarão ao sistema através do esterco e urina. Aliado a isso, o

sistema manejado corretamente, possibilitará maior aporte de carbono, tanto da parte aérea como pelos sistemas radiculares, proporcionando melhorias nas características físicas do solo, aumento da biodiversidade e, fundamentalmente, maior ciclagem dos nutrientes. Desta forma, quando se faz um bom manejo das pastagens é possível recuperar o solo e ao mesmo tempo agregar renda no período de inverno.

Com o pastejo, há uma grande deposição de urina e esterco que são consideradas fontes de N para a produção, podendo ser utilizado pela própria pastagem, como também pela cultura sucessora. No entanto, o N por ser um elemento móvel e altamente dinâmico no solo, está sujeito a perdas, as quais podem variar muito devido a influência das condições edafoclimáticas, e também devido a quantidade de N aplicado no sistema. Segundo Townsend (2010), dependendo do manejo aplicado ao sistema essas perdas podem não ser tão expressivas, principalmente em sistemas pastoris bem manejados.

Neste contexto, fundamentado na hipótese que serão observadas menores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, quando a ureia for aplicada na fase pastagem, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função da aplicação de N e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária.

## 2 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NA ROTAÇÃO AZEVÉM-FEIJÃO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

### RESUMO

O nitrogênio por ser um nutriente altamente complexo pode ser perdido do sistema, resultando em prejuízo econômico e impacto ambiental. Por outro lado, o manejo correto dos componentes solo-planta-água-animal dentro dos sistemas integrados de produções, podem assegurar uma melhor eficiência no uso do N no sistema, através da ciclagem de nutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função da aplicação de N e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária. O experimento foi realizado no município de Abelardo Luz – SC em área de LATOSSOLO BRUNO distrófico típico. O delineamento experimental para a cultura do azevém foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (2x2x7), com três repetições. O primeiro fator foi tempo de aplicação de nitrogênio (N) no sistema: N aplicado na pastagem (N-Adubação Pastagem) e sendo estas as únicas parcelas a receberem N de cobertura na dose 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em uma única aplicação nesta fase experimental as quais foram comparadas com as parcelas denominadas N-Adubação Grãos, as quais não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo. O segundo fator foi altura de pasto, Alta Altura (AA) e Baixa Altura (BA), 25,1 e 11,7 cm, respectivamente. Como terceiro fator foram avaliados os dias de coleta após a aplicação de N, sendo estas realizadas no 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° e 14° dia após a aplicação de ureia. Para a cultura do feijão foram adicionados mais um fator (2x2x7x4), sendo as doses crescentes de N: 0; 50; 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup>. As mesmas foram alocadas em subparcelas dentro de cada parcela, no momento da aplicação do N em cobertura no tratamento N-Adubação Grãos. A avaliação de volatilização de amônia foi realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos e a quantificação do teor de amônia foi realizada pelo método de colorimetria. As perdas por volatilização de amônia, tanto para a cultura do azevém como para a cultura feijão foram influenciadas pelos tratamentos a qual foram submetidos, e são altamente dependentes das condições climáticas no momento da aplicação de N. A adubação nitrogenada aplicada na pastagem (azevém) proporcionou baixas perdas de N por volatilização da amônia, sendo inferior a 1,5% do N aplicado na forma de ureia. Menores perdas de N-NH<sub>3</sub> são encontradas em solos manejados em baixa altura de pasto na cultura de inverno. Na fase de cultivo de feijão a perda máxima de volatilização amônia acumulada observada foi de 5,37%. Uma maior pressão de pastejo resultou em menores perdas por volatilização de amônia durante a fase de pastejo e contrariamente, durante a fase de cultivo de feijão, uma maior pressão de pastejo, aplicada na pastagem cultivada anteriormente, resultou em maiores perdas por volatilização da amônia.

**Palavras-chave:** Adubação antecipada. Sistemas integrados. Nitrogênio.

## ABSTRACT

Nitrogen being a highly complex nutrient may be lost from the system, resulting in economic damage and environmental impact. On the other hand, the correct management of soil-plant-water-animal components within integrated production systems, can ensure a better efficiency in the use of N in the system, through the cycling of nutrients. The objective of this work was to evaluate the losses by volatilization of ammonia due to the application of N and the height of pasture management in the area of crop-livestock integration. The experiment was carried out in the municipality of Abelardo Luz - SC in a typical dystrophic LATOSOLO BRUNO area. The experimental design for ryegrass was randomized blocks in a factorial scheme (2x2x7), with three replications. The first factor was nitrogen (N) application time in the system: N applied to pasture (N-Fertilization Pasture) and these were the only plots to receive coverage N at the dose 200 kg of N ha<sup>-1</sup> in a single application in this which were compared with the plots denominated N-Fertilization Grains, which did not receive nitrogen fertilization in the grazing phase. The second factor was grass height, High Height (AA) and Low Height (BA), 25.1 and 11.7 cm, respectively. As a third factor, the days of collection were evaluated after the application of N, which were performed at 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° and 14° day after the application of urea. For the bean culture, another factor (2x2x7x4) was added, increasing doses of N: 0; 50; 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>. They were allocated in subplots within each plot, at the time of application of the N in cover in the treatment N-Fertilization Grains. The evaluation of ammonia volatilization was performed by the method of static semi-open collectors and the quantification of the ammonia content was performed by the colorimetry method. The losses due to volatilization of ammonia, both for the ryegrass and for the bean crop were influenced by the treatments to which they were subjected, and are highly dependent on the climatic conditions at the time of N application. Nitrogen fertilization applied in the pasture (ryegrass) provided low losses of N by volatilization of the ammonia, being inferior to 1.5% of the N applied in the form of urea. Lower losses of N-NH<sub>3</sub> are found in soils managed at low pasture height in the winter crop. In the bean cultivation phase the maximum accumulated ammonia volatilization loss observed was 5.37%. Greater grazing pressure resulted in lower losses due to volatilization of ammonia during the grazing phase and, conversely, during the bean cultivation phase, higher grazing pressure applied to previously cultivated pasture resulted in higher losses due to volatilization of ammonia.

**Keywords:** Pre-fertilization. Integrated systems. Nitrogen.



## 2.1 INTRODUÇÃO

Para maximizar a produtividade agrícola é fundamental que o manejo de adubação seja realizado, uma vez que o nitrogênio é o nutriente requerido pelas plantas em maior quantidade (FLOSS, 2011; KERBAUY, 2012). Entretanto, o nitrogênio por ser um nutriente altamente complexo e por sofrer várias transformações no solo, pode ser perdido do sistema, resultando em prejuízo econômico e impacto ambiental. Por outro lado, o manejo correto dos componentes solo-planta-água-animal dentro dos sistemas integrados de produções, podem assegurar uma melhor eficiência no uso deste nutriente no sistema, seja, mantendo-o prontamente disponível para as culturas, ou imobilizado nos microrganismos que disponibilizarão esse nutriente no decorrer do tempo.

Trabalhos realizados em diferentes sistemas de manejo estimam perdas acima de 50% do N aplicado na forma de ureia (Martha Júnior, 1999; Cantarella et al., 1999; Lara Cabezas e Yamada, 1999), isso levou a necessidade da utilização de mecanismos de proteção com o propósito de diminuir as perdas e aumentar a produtividade das culturas. Contudo, o que se observa é que mesmo que a ureia convencional resulte em maiores perdas, estas são compensadas pelo menor custo por unidade de N (PRIMAVESI et al., 2004; ERNANI, 2003). Além disso, na maioria dos trabalhos que encontraram maiores perdas na utilização de ureia em sistema de plantio direto, não verificou-se menores produtividades das culturas estudadas (FONTOURA E BAYER, 2010; ZAVASCHI et al., 2014; VIEIRO et al., 2017).

As perdas pelo processo de volatilização são altamente influenciadas pelas condições ambientais, principalmente por temperatura e umidade, por características inerentes a fertilidade, química, física e biológica do solo, além do próprio sistema produtivo adotado. A magnitude dessas perdas varia muito dependendo da região de estudo, sendo necessário portanto, conhecer as peculiaridades de cada local para obter estratégias eficientes no uso dos fertilizantes, principalmente se tratando de ureia.

Assim, a integração lavoura-pecuária (ILP) além de intensificar o uso da terra, acrescentando renda ao produtor rural, traz muitos outros benefícios aos

sistemas agrícolas. Um deles é a ciclagem de nutrientes, uma vez que a utilização da adubação nitrogenada no inverno, além de atender a demanda da produção de forragem e da produção animal, supre a necessidade da cultura de grãos subsequente, como já comprovado em estudos realizados por Assmann (2001), onde pode-se concluir que é possível adubar a cultura de inverno e dispensar a adubação nitrogenada na cultura de verão, e mesmo assim, obter altas produtividades. Esse processo é chamado de “adubação de sistema”, da qual visa aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes através da ciclagem biológica de nutrientes entre uma cultura de outra, reduzindo entrada e evitando que este nutriente seja perdido do sistema. Além disso, o N aplicado no inverno está menos sujeito as perdas (volatilização, lixiviação e escoamento superficial), devido às condições ambientais de temperaturas mais amenas e precipitações menos intensas.

Também, se evidencia que o manejo da pastagem é relevante para a redução das perdas de N, pelo menor espaçamento entre linhas e entre plantas, pelas características do próprio sistema radicular das plantas forrageiras, e que devido ao pastejo, tem a parte aérea renovada constantemente, o que estimula o crescimento radicular e com isso a absorção do N, reduzindo a possibilidade de perdas. Além disso, o pastejo intensifica esse processo de reciclagem de nutrientes, mantendo-o disponível a cultura subsequente.

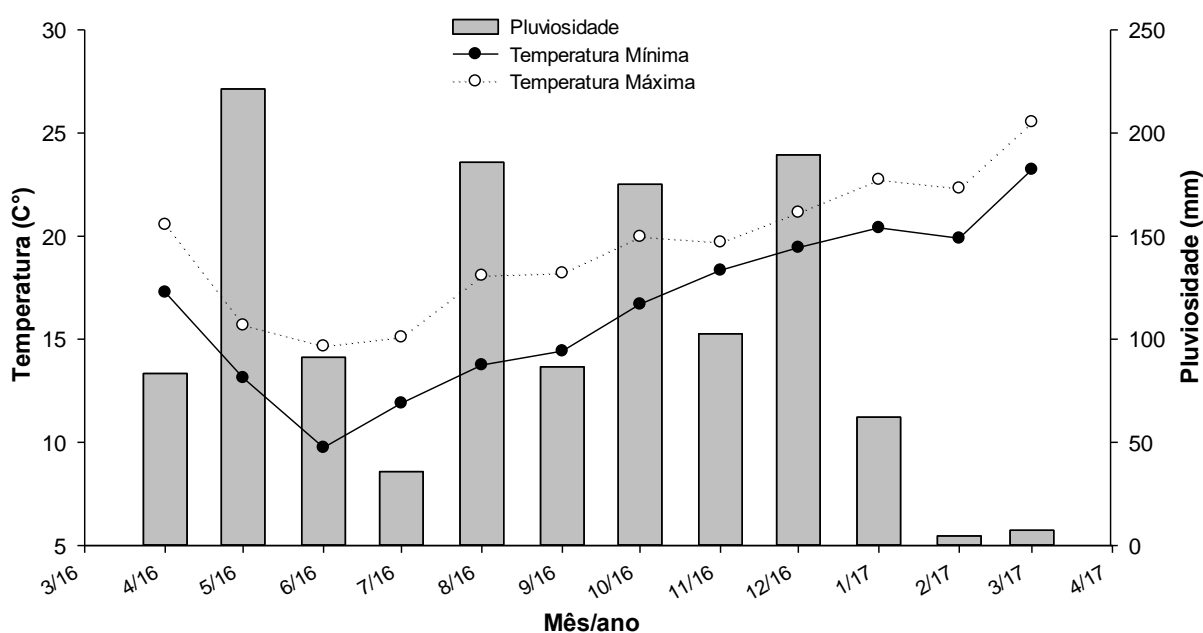
Portanto, aumentar a eficiência do uso de fertilizantes é um grande desafio. Para isso busca-se o entendimento do comportamento das principais reações do N no sistema solo-planta-animal, maximizando o uso desse recurso, tanto na produção de grãos como de pastagens. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função do tempo de aplicação de nitrogênio e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização da área em estudo

O trabalho foi conduzido na fazenda C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz. A região compreende a área do planalto catarinense, na microbacia hidrográfica, meio oeste catarinense, com altitude de 850 m, latitude de 26° 31` 29,67" Sul e longitude de 53° 04" Oeste.

O clima predominante na região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação de Koppen (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 1.



**Figura 1** – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (Pastagem e Lavoura) (maio de 2016 a março de 2017) na região de Abelardo Luz – SC. Fonte: INMET, Clevelândia-PR, (2018).

O solo do experimento é classificado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura muito argilosa com horizonte A proeminente, horizonte B latossólico e relevo suave ondulado (7% de declividade). A análise granulométrica do perfil do solo apresenta teores de argila maiores que 690 g kg<sup>-1</sup> até 40 cm de profundidade, aumentando pouco ao longo do perfil do solo, caracterizando o Latossolo (SANTOS et al., 2013).

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm em 05 de maio de 2016 para recomendação de adubação e calagem, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS,

2004). A análise de solo de rotina apresentou os seguintes resultados (Tabela 1).

**Tabela 1** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura do azevém cv. Winter Star, solo coletado em 05 de maio de 2016. Pato Branco - PR, 2018.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----							%
4,71	51,71	14,37	0,44	4,36	2,24	0,13	7,19	7,04	14,23	49,10

Laboratório de análises de solos UTFPR/IAPAR. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich <sup>-1</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

A partir da análise de solo, evidenciou-se a necessidade de aplicação de calcário buscando elevar o pH do solo. Foram aplicadas 3 t de calcário (PRNT 75%) de forma superficial, a qual se deu com a cultura do azevém já implantada, no dia 01 de junho de 2016.

## 2.2.2 Montagem e Condução do Experimento

A área da propriedade rural destinada ao experimento era manejada no sistema de cultivo mínimo, com gradagem para semeadura de cereais de inverno e plantio de culturas de verão. A partir de meados de 2012 passou a ser utilizada para fins de experimentação com Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob plantio direto. Os ciclos de cultivo durante os anos anteriores ao presente estudo estão detalhados na tabela 2.

**Tabela 2.** Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de ILP – Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018.

Período	Culturas
Verão 2012/2013	Sorgo Forrageiro ( <i>Sorghum bicolor</i> )
Inverno 2013	Aveia preta comum ( <i>Avena strigosa</i> )
Verão 2013/2014	Milho grãos ( <i>Zea mays</i> )
Inverno 2014	Aveia preta ( <i>Avena strigosa</i> ) + azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2014/2015	Soja ( <i>Glycine max</i> )
Inverno 2015	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2015/2016	Milho para silagem ( <i>Zea mays</i> L.)
Verão 2016	Feijão safrinha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )
Inverno 2016	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2016/2017	Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )

O experimento objeto desta pesquisa ocorreu durante o inverno de 2016 com a implantação da cultura do azevém tetraploide, cultivar Winter Star,

material de qualidade visando alta produtividade de pasto, e no verão, safra 2016/2017, a cultura implantada foi o feijão, cultivar Tuiuiú. Na tabela 3 são apresentadas as principais informações referentes a implantação e condução das culturas estudadas.

**Tabela 3.** Resumo das informações da implantação e condução de dois cultivos (azevém e feijão) conduzidos na área experimental em Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018.

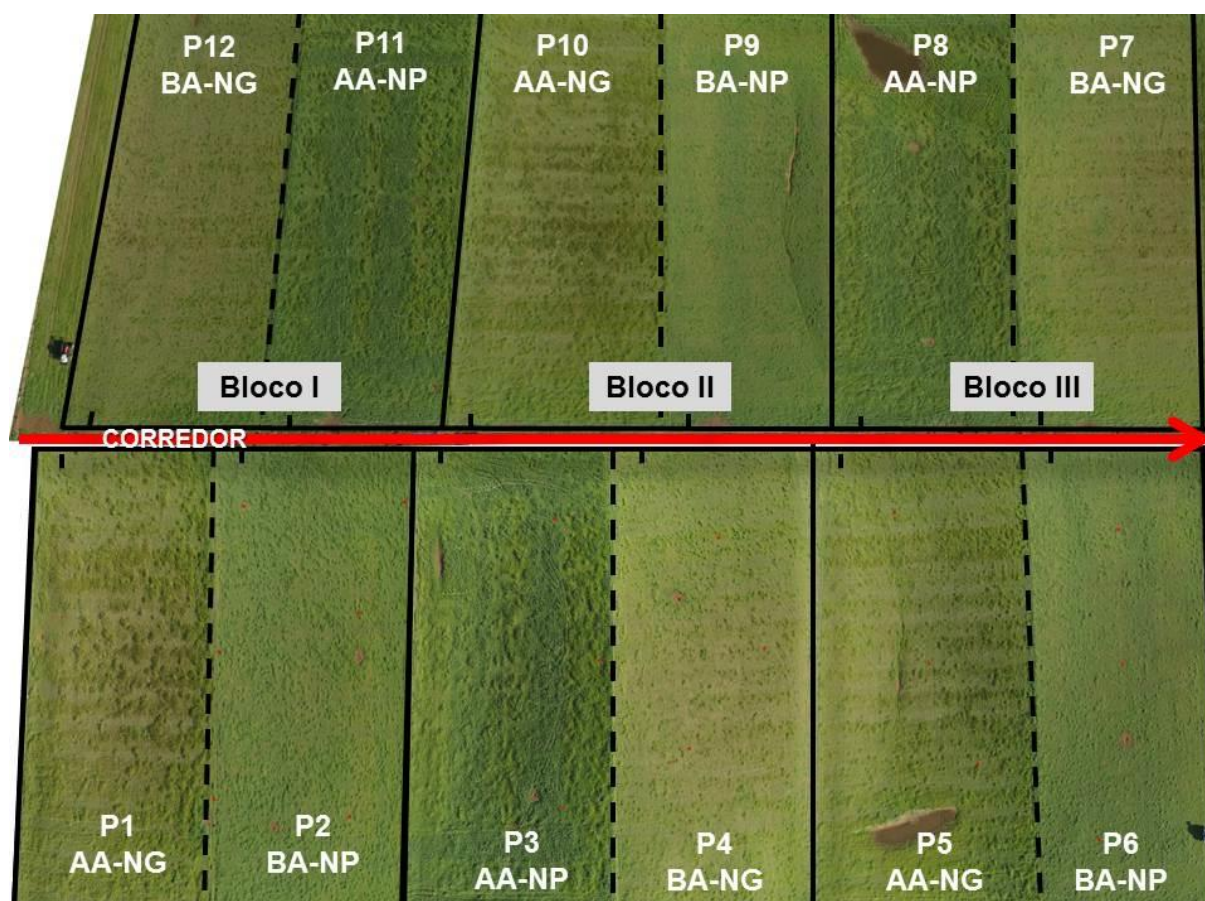
Cultura	População/ Densidade	Data de semeadura	Adubação de base kg ha <sup>-1</sup> (N-P-K)	Dose de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Dessecação
Azevém	25 kg sem ha <sup>-1</sup>	12/05/2016	32-80-80	200 (Perfilhamento)	24/11/2016
Feijão	311 mil pl ha <sup>-1</sup>	01/12/2016	00-72-72	100 (V3)	15/05/2017

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso em esquema fatorial (2x2), com três repetições, perfazendo 3 blocos, cada um com 4 tratamentos, num total de 12 parcelas (Figura 3). Os tratamentos principais do experimento foram dois, sendo o primeiro constituído pelo tempo de adubação de nitrogênio (N) no sistema, sendo: N aplicado na pastagem (N-Pastagem) e N aplicado na fase grãos (N-Adubação Grãos). As parcelas N-Adubação Pastagem receberam 200 kg de N ha<sup>-1</sup> no cultivo de azevém, no inverno de 2016, aplicado em uma única vez, com as plantas em estágio de perfilhamento, e sendo estas as únicas parcelas a receberem N de cobertura as quais foram comparadas com as parcelas denominadas N-Adubação Grãos, as quais não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo, e receberam no cultivo de feijão (cultivo de verão) na dose de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>, na safra 2016/2017, em uma única aplicação, com as plantas no estágio V3. Cabe destacar que nos anos anteriores a cultura de grãos recebia adubação nitrogenada na dose de 200 kg de ha<sup>-1</sup>, assim como a cultura de inverno, entretanto, devido a cultura do feijão possuir menor requerimento de N e também pela possibilidade de acamamento das plantas, optou-se por aplicar uma dose menor (100 kg de N ha<sup>-1</sup>). Portanto parcelas que receberam aplicação de N em cobertura durante o cultivo da pastagem no inverno foram às que não receberam a aplicação de N durante o cultivo de grãos no verão.

O segundo fator foi altura de pasto, sendo alta altura (AA) e baixa altura (BA). As alturas de pasto pretendidas eram de 25 cm nas parcelas AA, para um máximo de produção por ha, e de 10 cm nas parcelas BA. Entretanto, as médias das

alturas de pasto reais durante o período de pastejo foram de 25,1 cm para a alta altura e de 11,7 cm para a baixa altura.

Para a avaliação de perdas de amônia, os dias de coletas construíram o terceiro fator (2x2x7), das quais foram realizadas a cada dois dias, após a aplicação de N em cada fase dos cultivos.



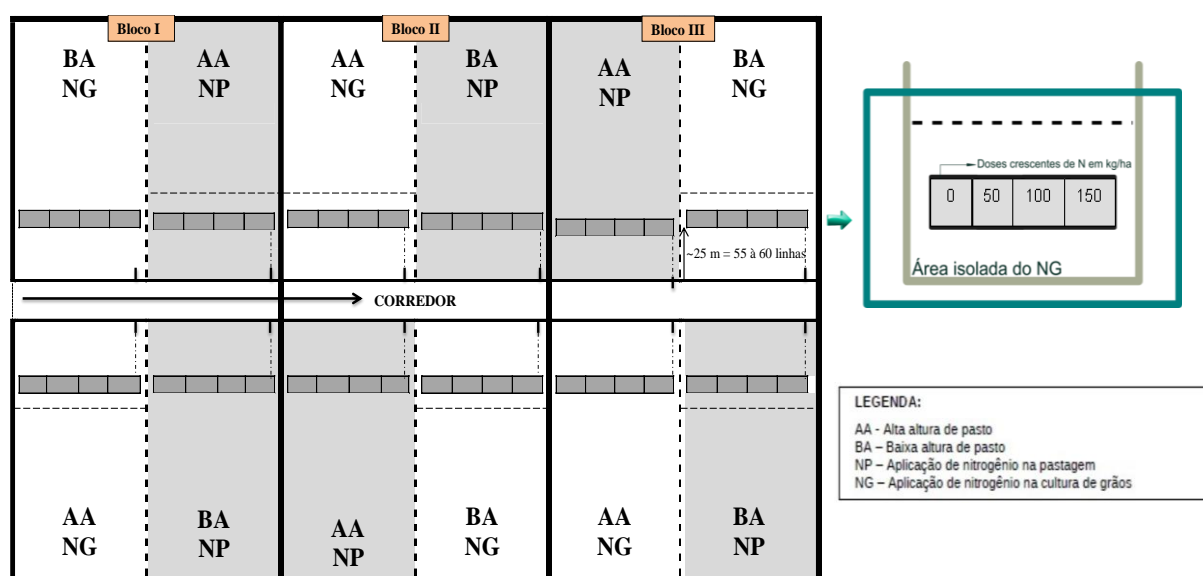
**Figura 2.** Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2017. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N-Adubação Grãos); NP (N-Pastagem).

Assim, como unidades experimentais foram utilizadas doze parcelas, já alocadas desde o início do experimento com ILP em 2012, sendo a área total do experimento de aproximadamente 14 ha e, adjacente à está, uma área de cerca de 10 ha para manutenção dos animais reguladores. O dimensionamento do tamanho das parcelas foi realizado de modo a permitir a manutenção de no mínimo três animais denominados testers, os quais estiveram sobre avaliação juntamente com a pastagem. A área das parcelas foi determinada de acordo com os tratamentos, variando de 10727,2 a 12973,55 m<sup>2</sup> (Figura 2), principalmente, devido ao manejo

adotado no uso do nitrogênio (N) e na altura da pastagem.

As alturas do pasto foram mantidas por meio de pastejo contínuo com taxa de lotação variável seguindo as recomendações de Moot e Lucas (1952). Para verificação da altura do pasto em cada tratamento foi utilizando uma regra graduada para mensurar a mesma, avaliando-se uma vez por semana 40 pontos aleatórios dentro de cada parcela.

A entrada dos animais no pasto foi em 18 de julho de 2016, 67 dias após a semeadura, quando o azevém apresentava altura média de 13 cm em todos os tratamentos (BA N-Pastagem; BA N-Adubação Grãos; AA N-Pastagem; AA N-Adubação Grãos), sendo este pastejado até o dia 21 de novembro de 2016. Foram utilizados bovinos de corte da raça Charolês x Nelore, e peso vivo médio de  $252,6 \pm 31,8$  kg, conforme aquisição do proprietário da fazenda. A entrada e saída dos animais reguladores da pastagem foram dependentes da distância entre o valor real de altura da pastagem e o valor preconizado para cada altura do pasto (10 cm para BA e 25 cm para AA). Por meio do ajuste na taxa de lotação, buscou-se manter sempre três animais testers em cada unidade experimental e um número variável de animais reguladores para o ajuste da altura do pasto. O período de avaliação da pastagem e dos animais foi dividido em 5 períodos de pastejo, sendo 4 de 28 dias e 1 de 14 dias, totalizando 126 dias de pastejo.



**Figura 3.** Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de feijão em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG-N-Adubação Grãos; NP-N-Pastagem.

No período da condução do cultivo de grãos foi incluído aos tratamentos mais um fator ( $2 \times 2 \times 7 \times 4$ ), doses crescentes de nitrogênio na cultura do feijão em todas as parcelas estudadas, N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos conforme figura 3. Para que fosse possível trabalhar com estas doses foram alocadas quatro subparcelas de  $61,2 \text{ m}^2$  cada ( $17 \text{ linhas} \times 8,0 \text{ m}$ ), nas doze parcelas, para avaliar a aplicação de doses de N, sendo: 0; 50; 100 e  $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . Além das subparcelas, as parcelas denominadas N-Adubação Grãos receberam N no restante da parcela e nesta fase as parcelas N-Adubação Pastagem não receberam pois foram aquelas que já haviam recebido na cultura de inverno.

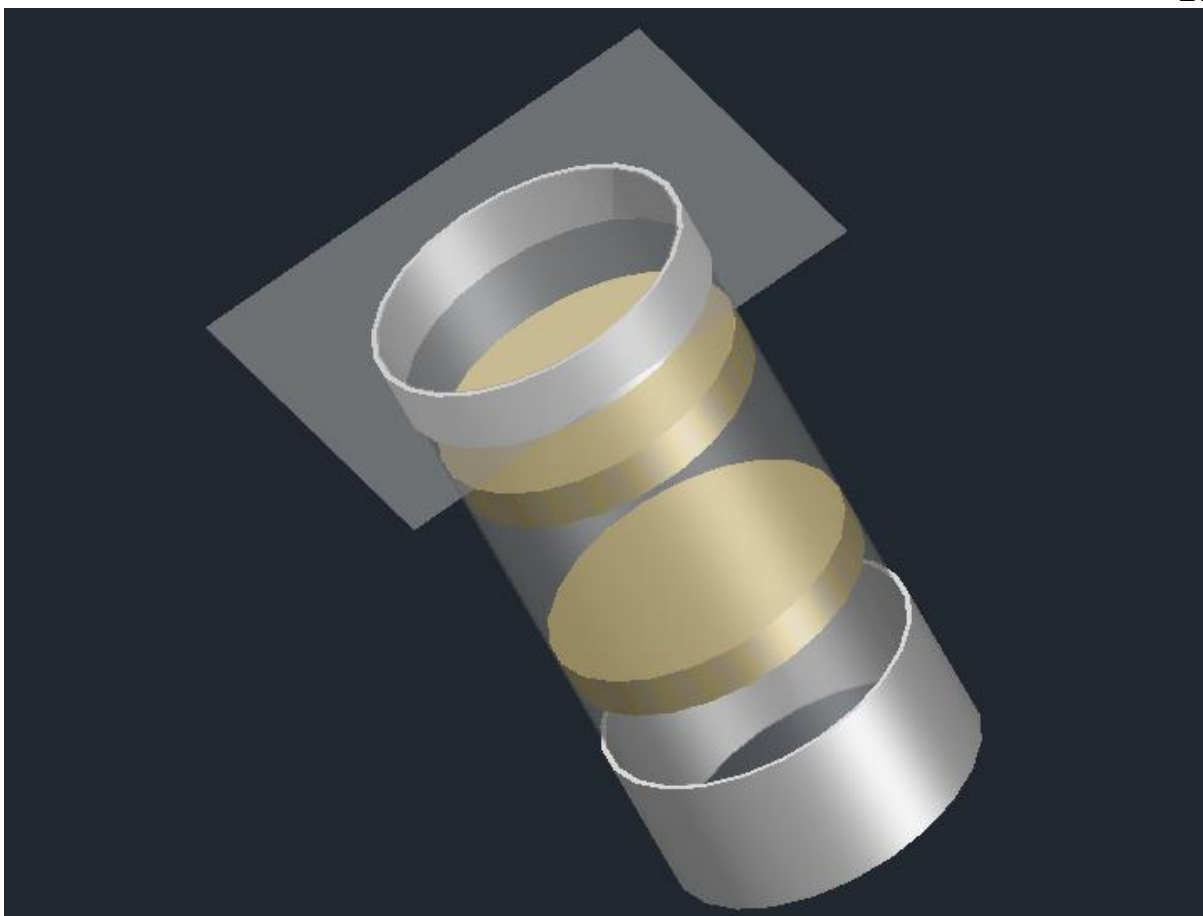
### 2.2.3 Variáveis estudadas

#### 2.2.3.1 Perdas por volatilização de amônia

A avaliação de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  foi realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos (CABEZAS E TREVELIN, 1990). O método de coleta consiste em alocar uma base de PVC fixa ao solo de  $15 \text{ cm}$  de diâmetro e sobre a base uma câmara cilíndrica de  $35 \text{ cm}$  de altura em lâmina de plástico transparente.

Os coletores foram instalados previamente a aplicação do fertilizante e fechadas para não haver entrada de fertilizante. Após o fertilizante ser aplicado na área total das parcelas, foi aplicada uma dose equivalente de N na área de cada base. Em cada câmara foram alocados dois anéis de espuma de mesmo diâmetro com  $2 \text{ cm}$  de espessura, embebidos com  $50 \text{ mL}$  de uma solução de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  $0,1 \text{ N}$  + glicerina  $2\%$ . Um dos anéis estava alocado no topo da câmara, visando eliminar interferências da  $\text{NH}_3$  da atmosfera, e o outro a  $11 \text{ cm}$  do solo visando a coleta do  $\text{NH}_3$  volatilizado do solo, conforme ilustrado na figura 4.





**Figura 4.** Representação do coletor de amônia utilizado para quantificar as perdas de N por volatilização de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

A cada 2 dias eram recolhidas as amostras, onde a espuma da parte inferior era colocada em saco zip, vedado e transportado em caixa de isopor com gelo para o laboratório, onde o conteúdo de solução que reagiu era extraído para análise ou armazenado em refrigerador por no máximo 10 dias. A espuma da parte superior era trazida ao laboratório para a lavagem e secagem da mesma.

A quantificação do teor de amônia se deu através do método de colorimetria descrito por Miyazawa et al. (1992). Para a determinação utilizou-se três soluções reagentes, A, B e C, onde a solução A é composta por ácido salicílico 5% + citrato de sódio tribásico 5% + hidróxido de sódio (NaOH) 2,1%, a solução B por nitroprussiato de sódio 0,1%, e a solução C por hipoclorito de sódio (NaOCl) 0,15%. Coletou-se em tubo de ensaio 6 mL de água deionizada, 1 mL de cada uma das soluções A, B e C e 1 mL da amostra. Agita-se o tubo, e posteriormente repousa por 1 hora, para realizar a leitura em espectrofotômetro em absorvância com

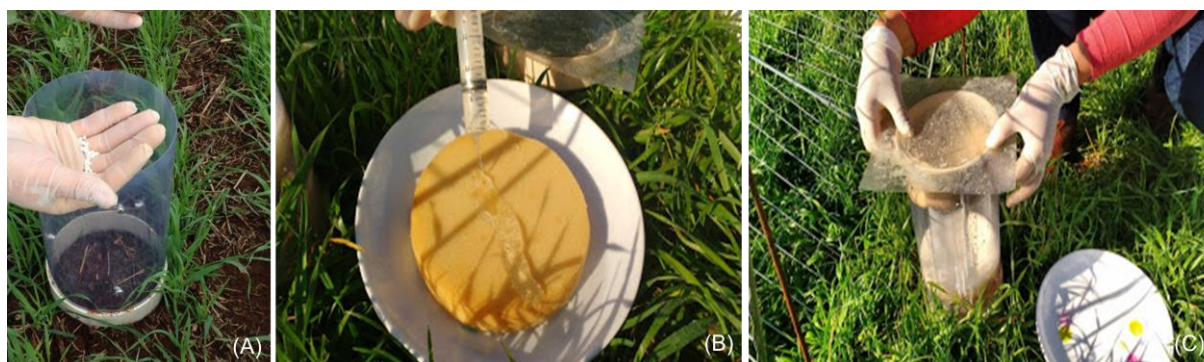
comprimento de onda de 697 nm.

As coletas a campo foram realizadas em dois ciclos durante o ano agrícola de 2016/2017: 1) após a aplicação de nitrogênio em cobertura na pastagem de azevém; e 2) após aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijão. As coletas foram realizadas no 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° e 14° dias após a aplicação de N.

A aplicação da ureia (46% de N) na cultura do azevém ocorreu no dia 20/06/2017, sendo instalado os coletores de amônia, conforme verifica-se na figura 5. No segundo dia (após 48 horas) foi realizada a primeira coleta para a quantificação das perdas de N (Tabela 4).

**Tabela 4** – Datas de avaliações de perdas de amônia após aplicação de ureia na cultura do azevém e na cultura do feijão. Abelardo Luz-SC, 2017. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

Coletas para quantificação das perdas de N-NH <sub>3</sub>	Datas
Aplicação de N	20/06/2016
1° coleta – Dia 02	22/06/2016
2° coleta – Dia 04	24/06/2016
3° coleta – Dia 06	26/06/2016
4° coleta – Dia 08	28/06/2016
5° coleta – Dia 10	30/06/2016
6° coleta – Dia 12	02/07/2016
7° coleta – Dia 14	04/07/2016



**Figura 5.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após aplicação de ureia na cultura do azevém (*Lolium multiflorum* Lam cv. Winter Star). Abelardo Luz – SC. Junho de 2016. (A) Dose equivalente de N (200 Kg N<sup>-1</sup>); (B) Solução extratora; (C) Câmera coletora de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

A adubação nitrogenada do feijão ocorreu em cobertura no dia 05 de janeiro de 2017 em todas as subparcelas e parcelas N-Adubação Grãos, momento em que as plantas se encontravam no estágio V3 (Figura 6). Nas parcelas N-Adubação Grãos foi aplicada a dose 100 kg de N ha<sup>-1</sup> em única aplicação, tendo

como fonte a ureia (46% de N). Nas quatro subparcelas, em cada tratamento, foram aplicadas as doses crescentes de N, conforme alocação das mesmas, aleatoriamente em cada parcela (Figura 4), sendo 0; 50; 100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> em única aplicação, utilizando-se também ureia (46% de N) como fonte de N. Foram utilizados um coletor por subparcela, totalizado 48 coletores. Na tabela 5 apresenta-se as datas de coleta.

**Tabela 5** – Datas de avaliações de perdas de amônia após aplicação de ureia na cultura do feijão. Abelardo Luz-SC, 2017. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

Coletas para quantificação das perdas de N-NH <sub>3</sub>	Datas
Aplicação de N	05/01/2017
1º coleta – Dia 02	07/01/2017
2º coleta – Dia 04	09/01/2017
3º coleta – Dia 06	11/01/2017
4º coleta – Dia 08	13/01/2017
5º coleta – Dia 10	15/01/2017
6º coleta – Dia 12	17/01/2017
7º coleta – Dia 14	19/01/2017



**Figura 6.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após a aplicação de ureia na cultura do Feijoeiro (IPR- Tuiuiu). Abelardo Luz – SC. Janeiro de 2017. (A) Condições do experimento no momento da aplicação de ureia (B) Câmera coletora de amônia; (C) Análise em laboratório. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

O manejo fitossanitário e de plantas daninhas foi efetuado a rigor durante o ciclo da cultura. No dia 20 de janeiro de 2017 foi efetuada a aplicação do fungicida Fox (Trifloxistrobina + Protiocanazole), na dose de 400 mL ha<sup>-1</sup>, juntamente com os inseticidas Engeo Pleno (Lambda-cialotrina + Tiametoxan), na dose 250 mL ha<sup>-1</sup>, Certero (Triflumurom), na dose de 80 mL ha<sup>-1</sup>, além do herbicida Select (Cletodim), na dose 500 mL ha<sup>-1</sup> e o óleo mineral Aureo (adjuvante), na dose de 200 mL ha<sup>-1</sup>. Procedeu-se a mistura em tanque dos produtos supracitados, todavia, seguindo a orientação técnica das empresas fabricantes.

No dia 15 de fevereiro de 2017 procedeu-se a segunda aplicação de agroquímicos com vistas ao controle de pragas e de plantas invasoras, utilizando-se os seguintes produtos, herbicidas Basagran (Bentazona), na dose de 1 L ha<sup>-1</sup>, Flex (Fomesafem), na dose 400 mL ha<sup>-1</sup>, além do inseticida Curyon (Profenofós + Lufenuron), na dose de 400 mL ha<sup>-1</sup>, procedendo-se também a mistura em tanque conforme orientação técnicas das empresas fabricantes dos produtos.

Visando a uniformização de maturação do feijão para colheita de toda a área experimental, no dia 15 de março de 2017 foi realizada a dessecação utilizando-se os herbicidas Reglone (Diquate), na dose de 2,5 L ha<sup>-1</sup> e Gramoxone (Paraquate), na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup>. No dia 23 de março de 2017 foi realizada a colheita total do experimento, sendo esta mecanizada, com uso de colhedora automotriz e os grãos destinados à propriedade rural.

#### 2.2.4 Análise estatística dos dados

Os resultados das variáveis observadas foram submetidos à análise de variância com as hipóteses testadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ) para cada cultivo, e as características que apresentarem diferença significativa para interação foram comparadas pelo teste de LSD em nível de 5% de significância, usando o software estatístico Statgraphics. As médias e respectiva DMS de LSD foram representadas graficamente, utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.5 (Systat Software, San Jose, CA).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

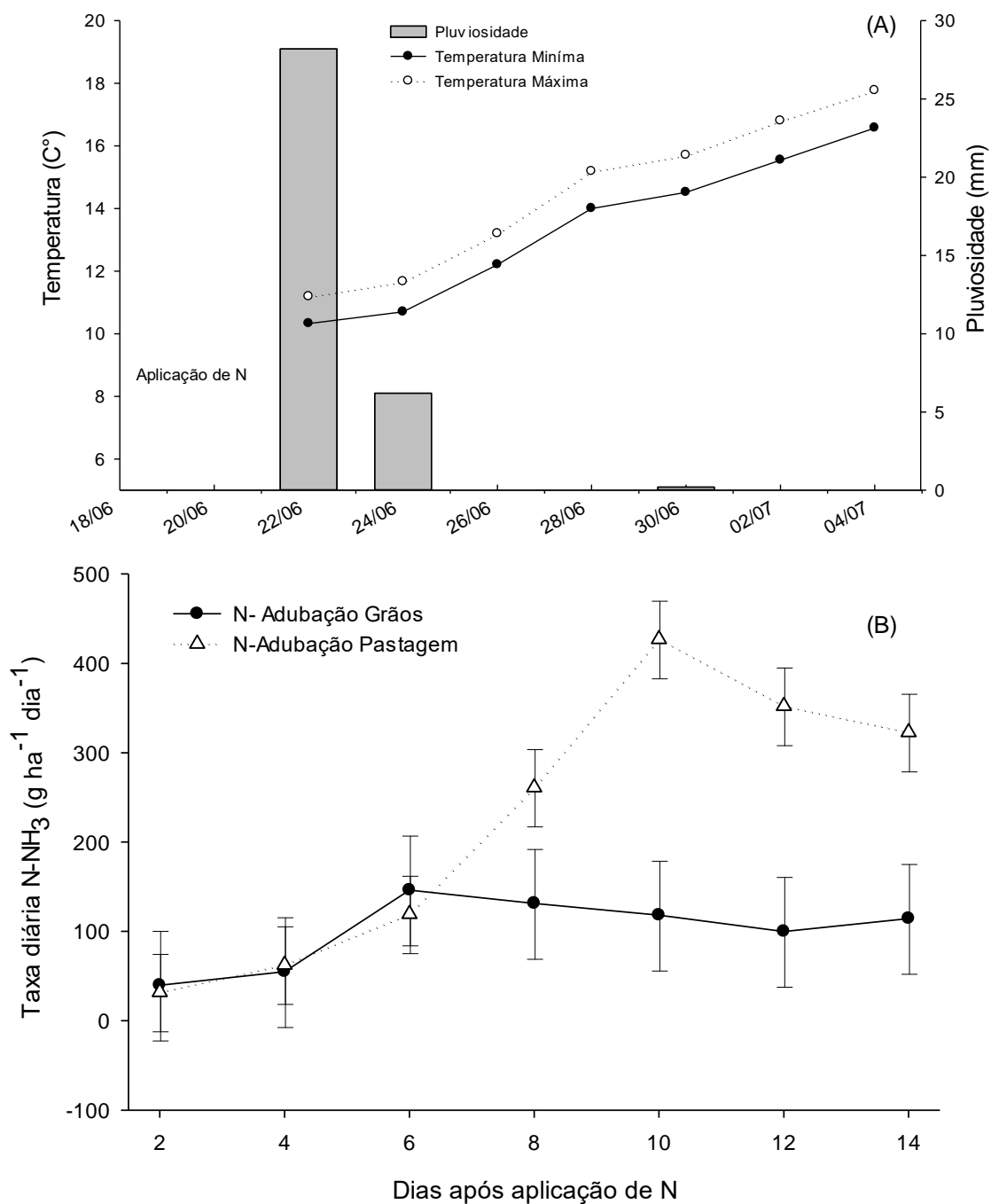
#### 2.3.1 Volatilização de amônia na cultura do Azevém

As perdas por volatilização de amônia foram influenciadas pelos dias após a aplicação de ureia e pelo tempo de adubação nitrogenada, havendo interação entre esses dois fatores ( $P = 0,0054$ ), (Figura 7 B), e efeito significativo isolado para o tratamento altura de pasto.

Evidenciaram-se perdas semelhantes nos tratamentos N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos, não havendo diferença até o sexto dia de avaliação. Entretanto, do oitavo ao décimo quarto dia o tratamento N-Pastagem, que recebeu 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, apresentou maiores perdas de N-NH<sub>3</sub> (Figura 7 B). Destaca-se que as perdas de N-NH<sub>3</sub> durante os dias avaliados, permaneceram abaixo de 500 g N-NH<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Logo nos primeiros dias após a aplicação da ureia (2º ao 6º dia), houve precipitação de 34,2 mm (Figura 7 A). Chuvas entre 10 a 20 mm são suficientes para reduzir, substancialmente, o processo de volatilização, pela incorporação da ureia ao solo (BLACK et al., 1987), além de diluir a concentração de hidroxilas (OH<sup>-</sup>) ao redor dos grânulos de ureia produzidos pela reação de hidrólise (Lara Cabezas et al., 1997), as quais são responsáveis pela transformação do amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) à NH<sub>3</sub>, resultando em menores perdas de N por volatilização (ZAVASCHI et al., 2014).

Outro fator importante nesse processo foram as baixas temperaturas registradas neste período. Temperaturas amenas reduzem a atividade microbiana e conseqüentemente a hidrólise da ureia, o que diminui as perdas de N por volatilização. Ernst e Massey (1960) determinaram incremento de 1% na volatilização de N-NH<sub>3</sub> para cada 8°C de aumento na temperatura. O efeito do incremento da temperatura na volatilização de N-NH<sub>3</sub> se deve à aceleração na hidrólise da ureia pelo aumento da atividade da urease (MOYO et al., 1989; CLAY et al., 1990).



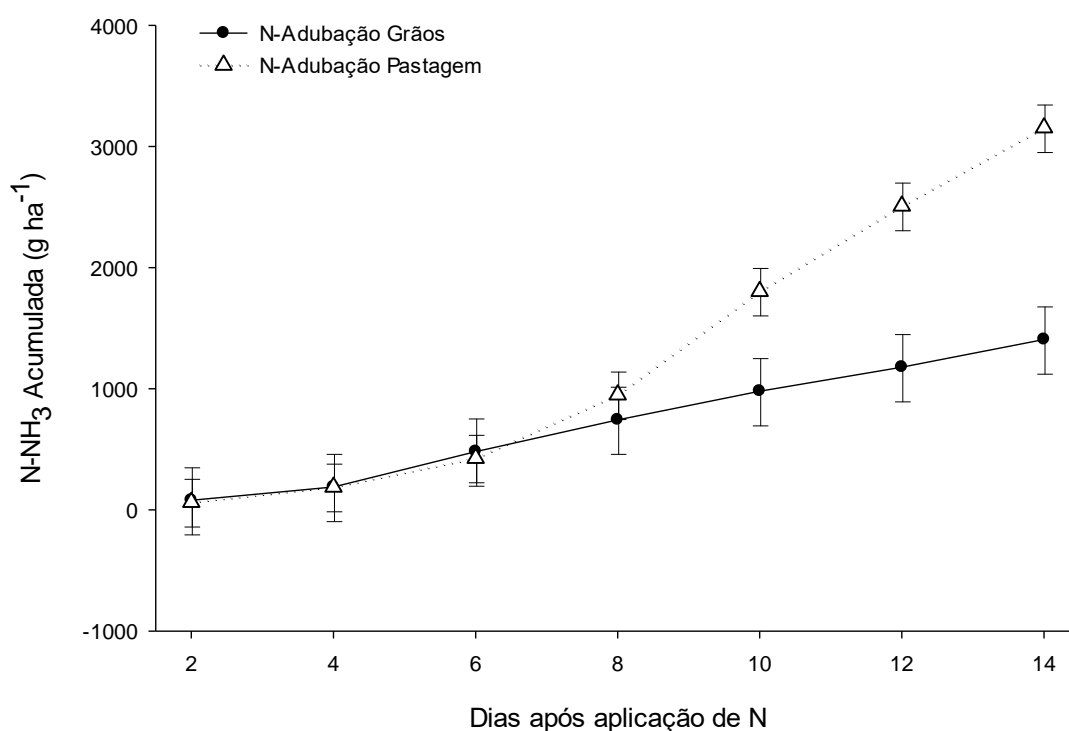
**Figura 7.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Azevém (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Corroborando a estes resultados, baixas perdas de  $N-NH_3$  foram encontradas por Viero et al. (2014), que concluíram que as temperaturas de inverno, geralmente abaixo dos  $15^\circ C$  na região centro-sul do Paraná, levaram às baixas perdas de N por volatilização de amônia a partir de ureia, e de outros fertilizantes nitrogenadas na cultura do trigo em SPD, sendo estes inferiores a 5,5 % (2,75 kg de N) do N aplicado.

A partir do sexto dia se observa no tratamento N-Adubação Pastagem um aumento na taxa diária de perdas, se prolongando até o décimo dia onde ocorreu o pico de volatilização, diminuindo nos dias subsequentes. A combinação entre o aumento de temperatura ( $\pm 3^\circ C$ ) e uma precipitação de 0,2 mm, podem ter favorecido esse aumento. Uma vez que as perdas de ureia por volatilização de amônia são altamente dependentes das condições do clima, principalmente temperatura e umidade (PEREIRA et al., 2009; FONTOURA e BAYER, 2010). Ainda, as perdas por volatilização de amônia se caracterizam por um pico de perdas e em seguida pela diminuição da mesma. De acordo com Whitehead (1995), após o pico de volatilização as perdas diminuem, provavelmente, em consequência da queda do pH do solo associada ao consumo de  $OH^-$  durante a volatilização e a nitrificação do amônio.

Para as perdas diárias de  $N-NH_3$  (média de  $200 \text{ g ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) encontradas no tratamento N-Adubação Grãos, onde não foi aplicado N, pode ser explicado pelo processo de mineralização da matéria orgânica, que ocorre naturalmente no solo pela ação dos microrganismos, ocorrendo a formação de amônia. Uma vez que a amônia permaneça livre no solo, esta torna-se sujeita a perdas pelo processo de volatilização (FENN e KISSEL, 1973).

O acumulado das perdas de  $N-NH_3$  no período de avaliação (Figura 8) também foi influenciado pelos tratamentos, dias após aplicação de N e tempo de adubação nitrogenada ( $P=0,0003$ ). O tratamento N-Adubação Pastagem apresentou volatilização de  $3,15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, e no tratamento N-Adubação Grãos, a perda acumulada foi de  $1,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.



**Figura 8.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, no período de avaliação. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

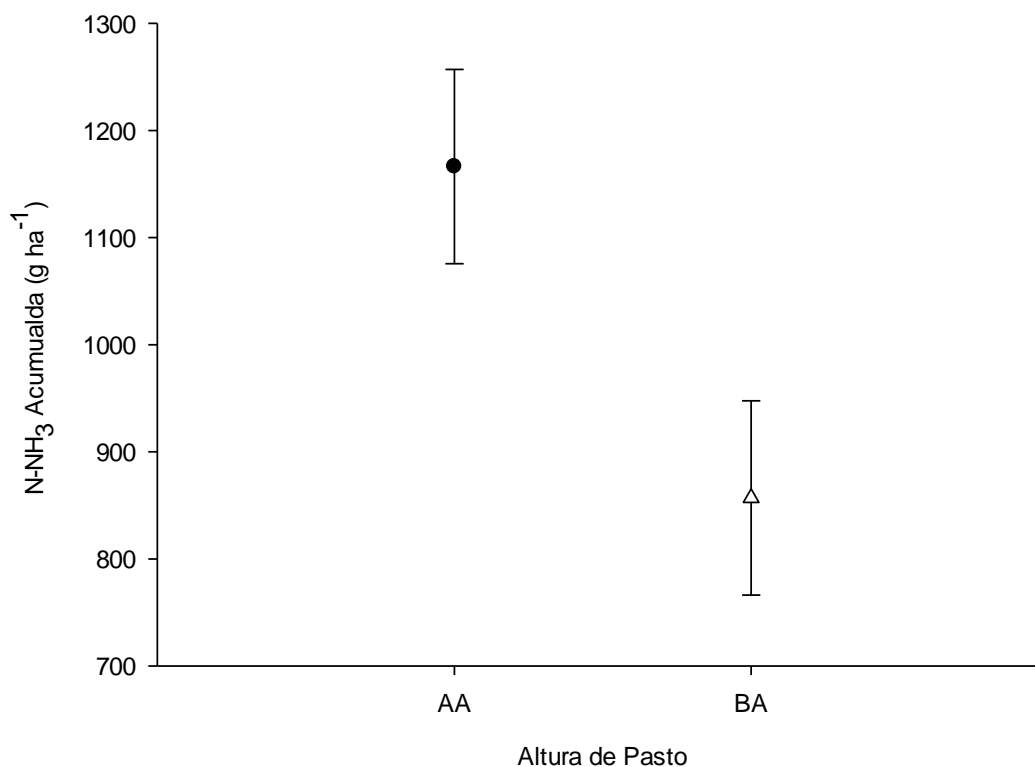
É importante ressaltar que os valores acumulados encontrados nesse trabalho podem ser considerados baixos, evidenciando, portanto, que 1,5 % do total do N aplicado se perdeu sob a forma de N-NH<sub>3</sub>. Alguns fatores podem estar associados a essas baixas perdas, como; a alta densidade de plantas por m<sup>2</sup>, e conseqüentemente alta concentração de raízes, proporcionada pela cultura de inverno, além das condições de temperatura e precipitação, discutidas anteriormente, favorecem a redução das perdas desse nutriente.

De acordo com Assmann et al. (2017) algumas características próprias do sistema ILP justificam a maior eficiência no uso de fertilizantes nitrogenados. O menor espaçamento entre linhas no cultivo da pastagem aumenta a probabilidade de contato das raízes com os fertilizantes aplicados, favorecendo sua absorção; o pastejo estimula as plantas ao rebrote, e conseqüentemente uma maior absorção desse nutriente visando repor o aparato fotossintético, diminuindo a possibilidade de perdas; e o intervalo de tempo para a aplicação de adubações nitrogenadas em



pastagens são maiores quando comparado à cultura de grãos, isso possibilita que a aplicação seja feita em condições climáticas mais propícias, o que potencializa o aproveitamento do N proveniente dos fertilizantes.

Ainda nos valores acumulados de perdas de  $\text{N-NH}_3$  (Figura 9), o tratamento manejado em BA de pasto foi o que apresentou as menores perdas de N ( $P=0,0178$ ). Este resultado é decorrente do manejo adotado ao longo do experimento, uma vez que no momento da avaliação as plantas ainda não estavam sendo pastejadas. O manejo de BA de pasto intensifica a ciclagem de nutrientes dentro do sistema, pela presença de um maior número de animais e, conseqüentemente de urina e fezes. Assim, o pastejo pode influenciar nos processos de mineralização/imobilização de N, promovendo uma rápida decomposição de substratos (Singh et al., 1991) e aumentando a taxa de ciclagem de N resultante da decomposição de urina e fezes (BAUER et al., 1987). Esse processo é bastante pronunciado no verão, servindo de aporte constante de N durante o desenvolvimento da cultura de grãos.



**Figura 9.** Perda acumulada de  $\text{N-NH}_3$ , sobre o efeito do tratamento altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA = alta altura de pasto, BA = baixa altura de pasto. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

No entanto, durante o ano agrícola anterior (2015/2016), além da cultura de inverno (azevém comum), foi cultivado duas culturas de verão, milho silagem, o qual aporta pouco material residual, e a cultura de feijão safrinha, a qual também acresce pouca matéria seca ao sistema. Essa prática intensifica a utilização de N, principalmente a cultura de milho que possui um requerimento maior deste nutriente, diminuindo sua disponibilidade no sistema. Quando ocorreu a aplicação de N, possivelmente a biomassa microbiana, principalmente em BA de pasto da qual é mais ativa, e demandam de maior quantidade de N para crescimento e reprodução imobilizaram temporariamente este N diminuído a possibilidade de perdas. Por outro lado, é possível que no tratamento AA essa demanda seja menor (menor atividade biológica) pela menor inserção de animais na área, possibilitando maiores perdas.

Além disso, as culturas de inverno são extremamente responsivas a adubação nitrogenada, estando nessa fase de aplicação em pleno desenvolvimento vegetativo, demandando de uma grande quantidade de N. Dessa forma, apesar de constatada diferença entre os tratamentos, essas foram pouco expressivas. Esse resultado corrobora a hipótese de que a aplicação de N na cultura de inverno em uma única aplicação e em doses maiores não resulta, necessariamente, em elevadas perdas, todavia, promove maior produção de forragem e disponibilidade de pasto aos animais que, conseqüentemente, tendem a ganhar mais peso.

### 2.3.2 Volatilização de amônia na cultura do Feijoeiro

A taxa diária de perda de N por volatilização de amônia na cultura do feijão apresentou interação entre doses de N e dias após a aplicação ( $P=0,0000$ ). Os maiores valores de perdas de N com pico de volatilização ocorreram no sexto dia, nas duas maiores doses (100 e 150 kg de N  $ha^{-1}$ ), e no quarto dia na dose de 50 kg de N  $ha^{-1}$  (Figura 10 B), permanecendo abaixo de 500 g de N  $ha^{-1} dia^{-1}$  nos dias subsequentes. Esses resultados confirmam que as maiores perdas de N ocorrem, substancialmente, na primeira semana após a aplicação de N (Faria et al., 2013; Pereira et al., 2009; Vitti et al., 2002; Cantarella et al., 2003; Sangoi et al., 2003; Alves, 2006; Rojas et al., 2012; Chagas et al., 2017) e são altamente dependentes

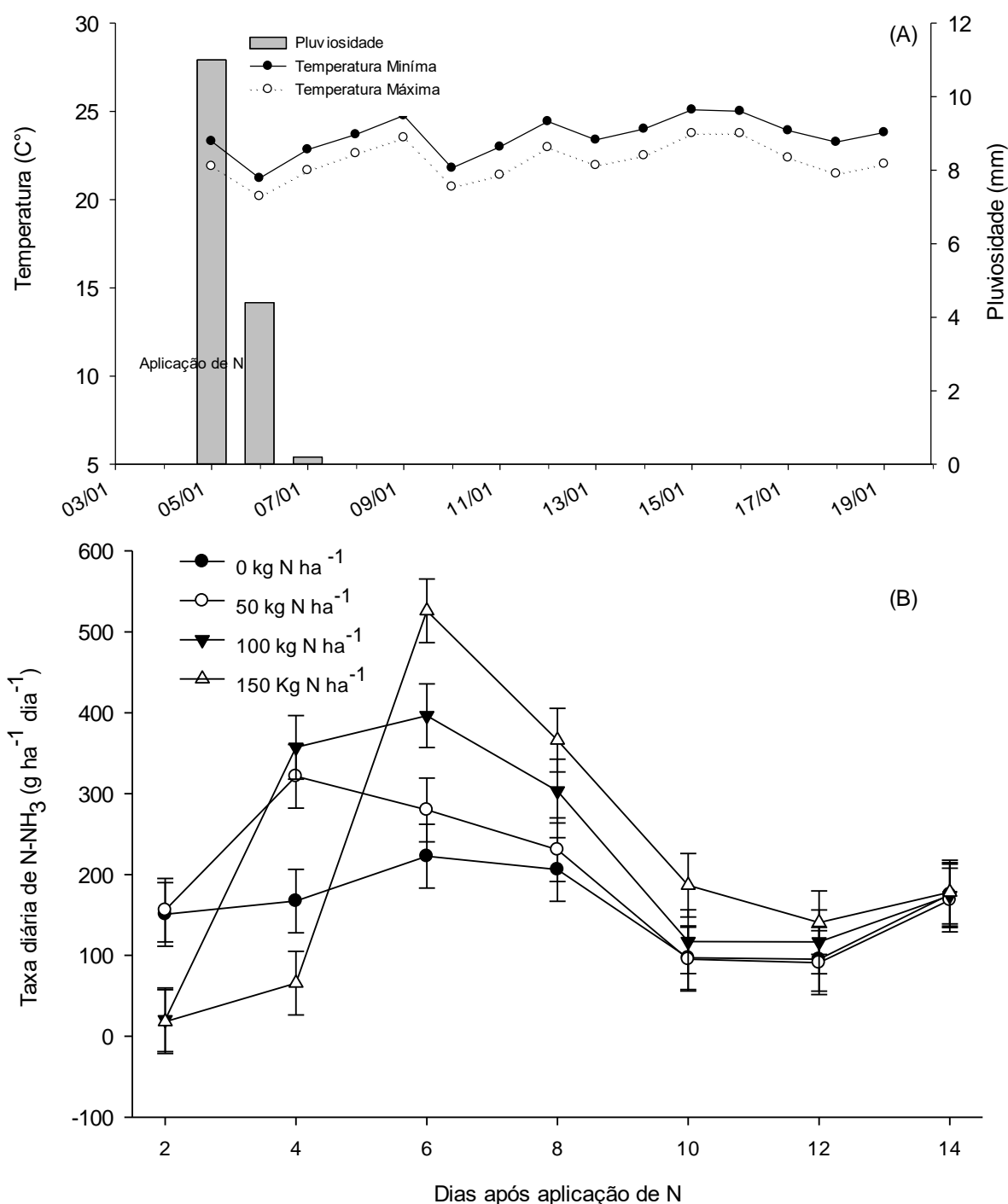
do volume de chuvas.

Considerando os dados de precipitação e temperatura no momento da avaliação (Figura 10 A) observa-se que logo após a aplicação de ureia ocorreu uma precipitação de 15,4 mm, o que minimizou as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização, pela solubilização do fertilizante e incorporação ao solo. Essa hipótese é confirmada pelos resultados encontrados por Bouwmeester et al. (1985), os quais não verificaram perdas de N-NH<sub>3</sub> quando foi realizada uma irrigação de 24 mm logo após a aplicação de ureia. Resultados semelhantes foram encontrados por Lara Cabezas et al. (1997), que demonstraram redução nas emissões de N-NH<sub>3</sub> quando irrigasse a cultura após a aplicação de nitrogênio. De acordo com Alves (2009) a aplicação de água imediatamente após a adubação com ureia, reduziu efetivamente as perdas de N-NH<sub>3</sub> para 3,1% do total de N aplicado, enquanto que na ausência da irrigação as perdas foram na ordem de 30,5%. Viero et al. (2015) aplicando 10 mm de água pelo método de irrigação por aspersão, reduziu as perdas de ureia a 4% do N aplicado. Em trabalho realizado por Holcomb et al. (2011), as menores perdas de N-NH<sub>3</sub> foram associadas as maiores taxas de irrigação testadas, de 11,4 e 21,6 mm, correspondendo a 5,5 e 2,8% do total de N aplicado, respectivamente.

Fontoura e Bayer (2010) estudando quatro safras agrícolas, observaram que em anos onde houve a ocorrência de precipitação logo após a aplicação de ureia as perdas foram de 1,3 a 3% do total, aplicado. Por outro lado, em anos onde não ocorreu precipitação, as perdas foram na ordem de 20,1% a 25,4%. Esses resultados indicam que a magnitude das perdas de N devido à volatilização de N-NH<sub>3</sub> em solos de plantio direto no sul do Brasil é significativamente menor do que a observada em regiões com clima mais quente, e as perdas cumulativas de N devido à aplicação de ureia (% de N aplicada) diminuem exponencialmente à medida que o volume de chuva aumenta após a aplicação do fertilizante. Portanto, precipitação ou irrigação suficiente e imediatamente após a aplicação de ureia, diminuem as perdas de N pelo processo de volatilização de amônia. Supõe-se também que em sistemas de ILP, a atividade biológica seja ainda mais intensificada por uma série de fatores e este promova ainda menores perdas de N, aumentando a ciclagem e reciclagem deste nutriente nos sistema solo-planta-organismos.

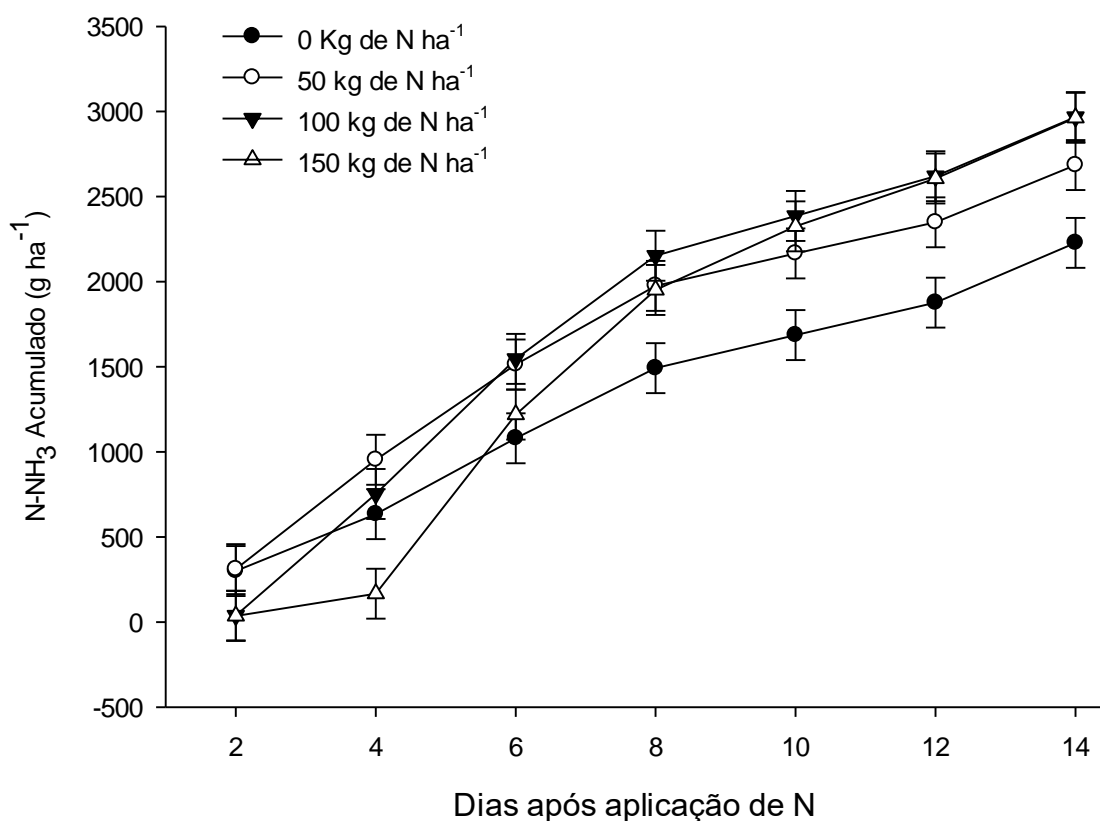
Por outro lado, o maior potencial de perdas de nitrogênio é verificado em condições de altas temperaturas que aceleram a hidrólise enzimática da ureia devido ao aumento da atividade da urease, e baixos volumes de precipitação resultam em baixa umidade do solo, o que reduz a difusão de  $\text{NH}_4^+$  no solo (Rodrigues e Kiehl, 1986), e ainda, quando a ureia é aplicada em superfície em condições de pH elevado, solos de baixa capacidade catiônica, solos úmidos, altas temperaturas e sem precipitação após a aplicação (Franzen, 2017) são fatores que favorecem as perdas de N no sistema solo.

No presente estudo, embora a aplicação de N tenha sido realizada em superfície e em solo seco, logo após a aplicação ocorreu precipitação suficiente para que ocorresse a incorporação da ureia ao solo (Figura 10 A). Além disso, características do solo, como elevado teor de argila (69%), alto teor de MO (5,1%) (Harrison, 2011; Kissel et al., 2008), e por fim, temperaturas máximas de 20 C°, foram fatores decisivos para que se reduzisse significativamente o potencial de perdas de N.



**Figura 10.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Azevém, interação entre doses de N e dias (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Para os valores acumulados de perdas de amônia na cultura do feijoeiro, observa-se (Figura 11) que não houve diferença entre as doses 50,100 e 150 kg de N ha<sup>-1</sup> no final da avaliação (14<sup>o</sup> dia). Apenas são constatados valores inferiores de perdas na dose 0 onde não ocorreu aplicação de N. Foram constatadas perdas de 5,37%, 2,97% e 1,97% do N total aplicado para as doses 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Evidencia-se que quanto maior a dose, menores foram as perdas de N. De acordo com Rhoden et al. (2017), avaliando a produtividade do feijoeiro neste mesmo experimento, não constatou diferença entre as doses de N aplicadas, uma vez que na dose de 50 kg de N ha<sup>-1</sup> observou-se as maiores perdas, essa não refletiu no rendimento final da cultura.



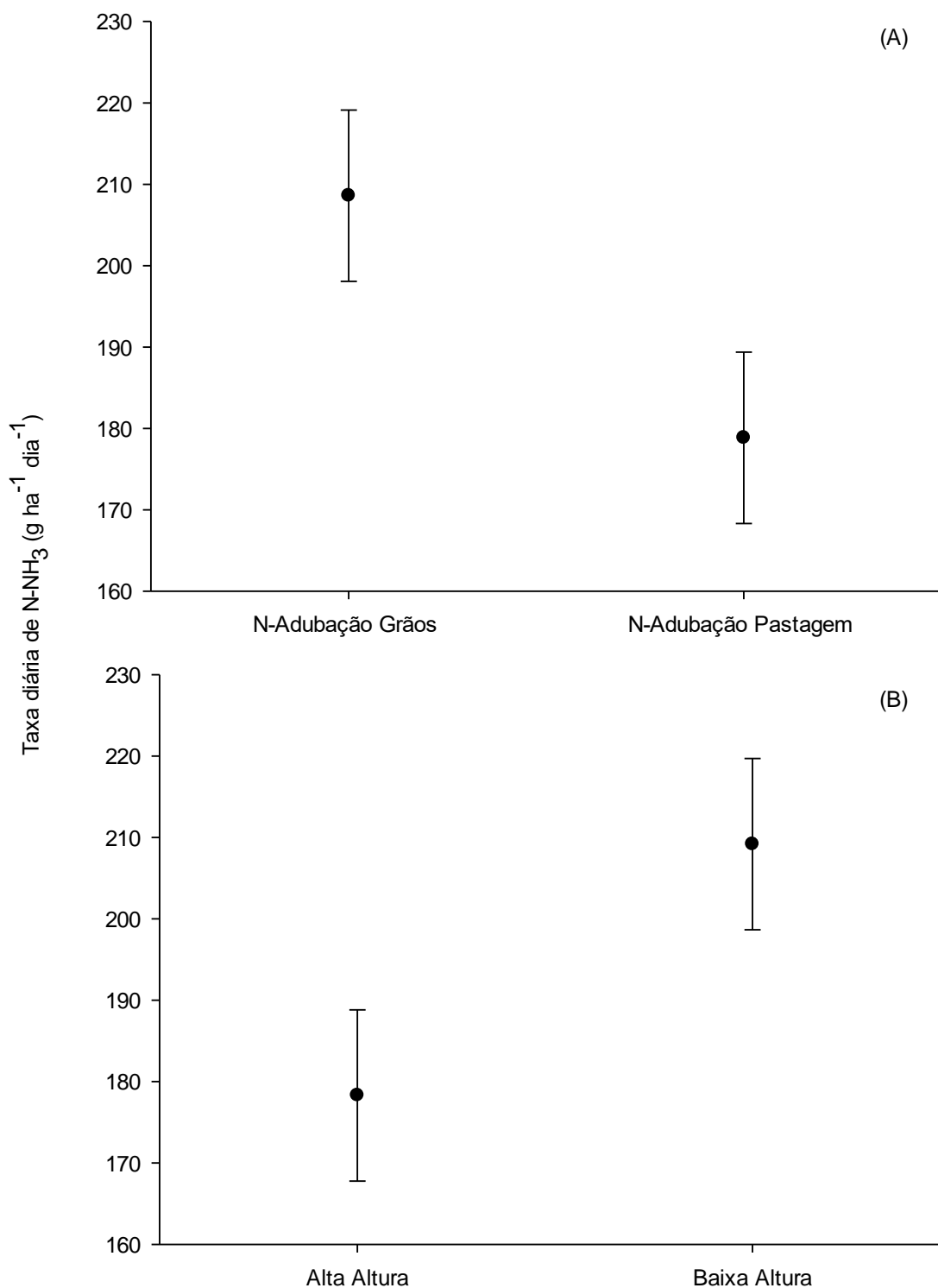
**Figura 11.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, interação entre doses de N e dias (C). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Estes resultados corroboram aos obtidos por Rojas et al. (2012), onde o percentual perdido nas doses aplicadas foi semelhante, 8 e 9% para as doses de

100 e 200 kg ha<sup>-1</sup> N, respectivamente. Do mesmo modo Silva et al. (2017) avaliando perdas de N-NH<sub>3</sub> no semiárido em condições de irrigação, verificaram que o aumento das doses de N reduziu as perdas em 1,4% a cada g de N aplicado. Por outro lado, contraria os resultados obtidos por Tasca et al. (2011), Rodrigues e Kiehl (1986), Primavesi et al. (2001), e Rochette et al. (2013), segundo os quais o potencial de perdas aumenta com o aumento da dose aplicada.

Além da precipitação ocorrida logo após a aplicação de N, outro fator que pode estar associado as baixas perdas de N encontradas no presente estudo é o alto teor de matéria orgânica do solo (Tabela 1) o que segundo Martha Junior (2003) favorece o aumento da CTC do solo, contribuindo para a adsorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> as cargas do solo e com isso reduzindo as perdas de N por volatilização. Além disso, altos teores de MO estão diretamente relacionados com a atividade biológica do solo, quando ocorre aplicação de nitrogênio via fertilização nitrogenada, este promove a ativação e reprodução dos microrganismos aumentando a sua população. Assim, o N utilizado permanece imobilizado até que ocorra a morte desses microrganismos, e este nutriente seja reutilizado novamente via mineralização de N (MARY et al., 1996).

Conforme figura 12, a taxa diária de volatilização de amônia, também teve efeito isolado para o tempo de adubação (P= 0,0468) e altura de pasto (P=0,0391). O tratamento N-Adubação Grãos apresentou as maiores perdas de N-NH<sub>3</sub>, quando comparado com o tratamento N-Pastagem, que recebeu 200 kg de N na cultura antecessora (inverno). Alguns fatores podem estar relacionados com este resultado, como: a) menor incremento de MS no tratamento N-Adubação Grãos, pela não aplicação de N na cultura de inverno; b) maior temperatura de solo, associado a menor cobertura de solo e, c) pela menor atividade biológica (menor aporte de palhada e está de maior relação C/N).



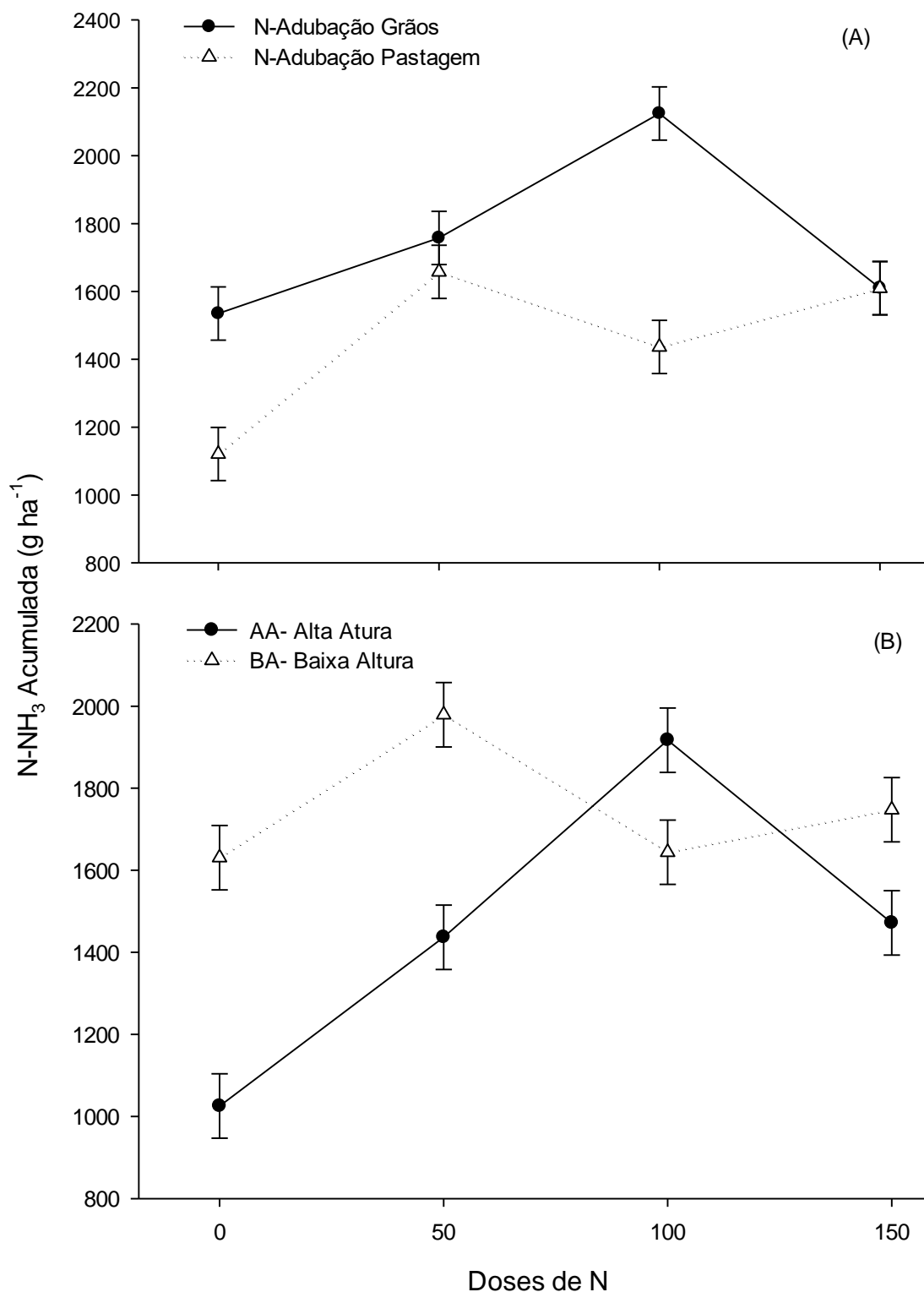
**Figura 12.** Efeito isolado da taxa de volatilização diária em função do tempo de adubação-N (A) e da altura de pasto (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.



O manejo de BA de pasto apresentou os maiores valores de perdas, quando comparado com o AA ( $P=0,0391$ ). Observa-se que este resultado apresenta comportamento contrário ao evidenciado no período de inverno, visto que naquele momento as maiores perdas foram registradas no tratamento AA. Este resultado possivelmente é decorrente do manejo adotado no período de inverno. Plantas pastejadas possuem menor relação C/N, o que facilita o processo de decomposição e a sua utilização pelos microrganismos do solo. Quando ocorre aplicação de nitrogênio, esse processo é intensificado aumentando a mineralização da MO, ocasionando maiores perdas de N pelo processo de volatilização de amônia.

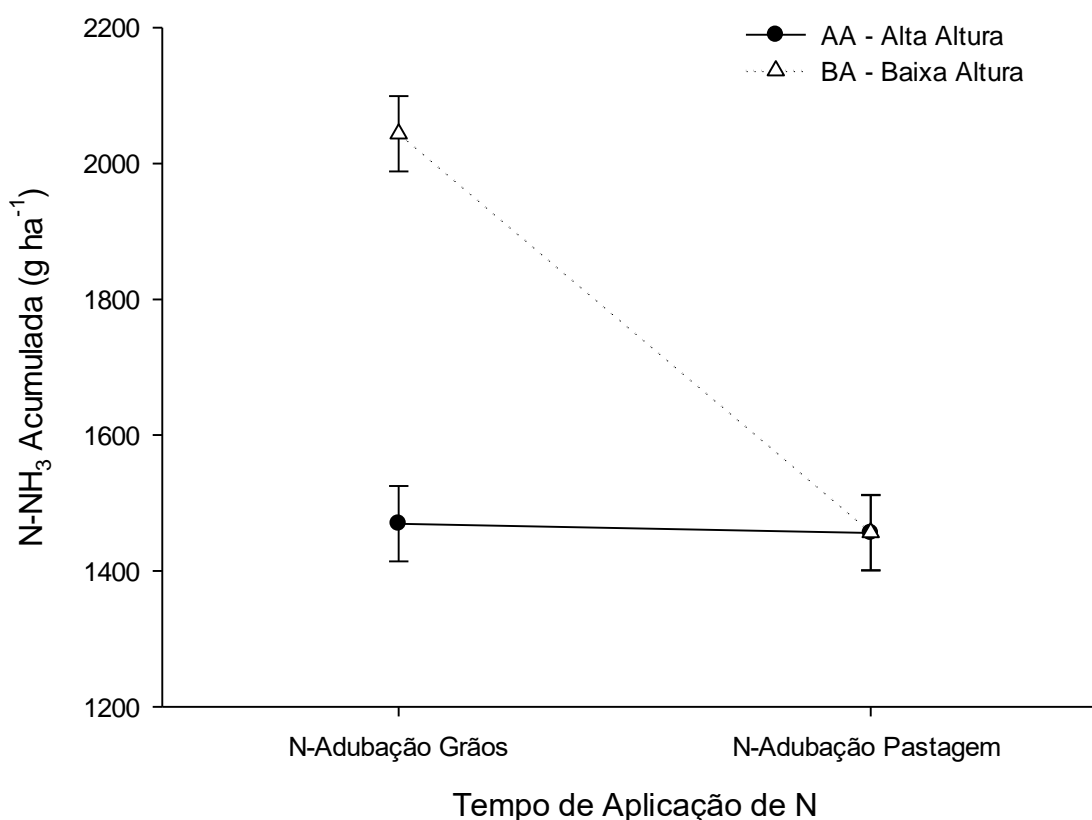
Para as interações entre os fatores, tempo de N e doses de N no acumulado de perdas ( $P=0,0000$ ), observa-se que o N-Adubação Grãos teve tendência a perder mais  $N-NH_3$  do que o N-Adubação Pastagem (Figura 13 A), apesar de não diferir nas doses 50 e 150 Kg de N  $ha^{-1}$ . Da mesma forma, para a interação entre altura de pasto e doses de N ( $P=0,0000$ ), o tratamento BA, apresentou as maiores perdas nas doses 0, 50 e 150 Kg de N  $ha^{-1}$ . Na dose 100 Kg de N  $ha^{-1}$  o tratamento AA, apresentou maiores perdas (Figura 13 B).

Esses resultados corroboram ao que já foi discutido anteriormente, onde o maior aporte de C ao sistema promove maior atividade biológica, melhorando as condições de solo e com isso reduzindo as perdas. Por outro lado, a resposta diferente das perdas de N entre as doses aplicadas torna-se difícil de explicar em função da alta complexidade dos processos que envolvem as transformações do N no solo e os fatores que os influenciam, principalmente em sistemas integrados, onde esse processo é ainda mais intenso, dinâmico e complexo, sobretudo pela presença dos animais.



**Figura 13.** Volatilização de N-NH<sub>3</sub> acumulado, em função das doses de N e o tempo de adubação-N (A), e doses de N e Altura de pasto (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de Grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na Pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Para a interação entre tempo de N e altura de pasto ( $P=0,0000$ ), sobre os valores acumulados de perdas de  $N-NH_3$ , verifica-se que o tratamento BA de pasto e a adubação nitrogenada em N-Adubação Grãos apresentou os valores mais elevados de perdas ( $2,043 \text{ kg ha}^{-1}$ ), quando comparado aos demais tratamentos (Figura 14), os quais apresentaram perdas abaixo de  $1,5 \text{ Kg ha}^{-1}$ . Essa condição pode ter ocorrido em função de que houve menor incremento de palhada pelo não recebimento de N neste período e também pelo pastejo, resultando em menor acúmulo de MS ( $6.228 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Analisando sob este ponto de vista, uma vez que exista no sistema menor aporte de C, menor quantidade de N acoplaria ao C, ficando disponível no solo, e desta forma, passível de perdas.



**Figura 14.** Volatilização de  $N-NH_3$  acumulada, em função do tempo de adubação-N e da Altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018 \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Nesse contexto ressalta-se ainda que a adubação nitrogenada e o

pastejo geralmente aumentam a produtividade de massa seca e aceleram a decomposição e mineralização da matéria orgânica (diminui a relação C/N), o que poderia aumentar o processo de volatilização. No entanto, nas condições em que o experimento foi conduzido, isso não foi observado, porque grande quantidade de palhada foi incorporada ao sistema, como foi o caso dos tratamentos com aplicação de N (N-Adubação Pastagem AA = 18471 kg de MS ha<sup>-1</sup> e N-Adubação Pastagem BA= 14045 kg de MS ha<sup>-1</sup>). Já no tratamento N-Adubação Grãos, conduzidos em AA, apesar de haver menor aporte de MS (5607 Kg ha<sup>-1</sup>), e essa com maior relação C/N, devido à baixa intensidade de pastejo, evidencia-se que o N poderia estar imobilizado e por isso, menos sujeito a perdas (AIOLFI, *no prelo*).

Esse resultado é dependente de uma série de outros fatores, que influenciam diretamente no desenvolvimento da cultura de inverno. Cabe destacar que nesta fase as condições climáticas foram propícias ao bom desenvolvimento da cultura do azevém. Todavia, modificações nessa etapa podem apresentar alterações na dinâmica da ciclagem de nutrientes e resultados diferentes podem ser encontrados pela alta complexidade deste sistema.

Ainda, outro fator que pode ter favorecido este resultado é pela menor cobertura de solo proporcionada neste tratamento (N-Adubação Grãos BA) aliada a menor atividade biológica, em relação a N-Adubação Pastagem BA. De acordo com Aiolfi et al. (2017) os tratamentos apresentaram os seguintes valores de massa seca residual: N-Adubação Pastagem AA=3238, N-Adubação Pastagem BA=1390, N-Adubação Grãos AA=3251 e N-Adubação Grãos BA= 1283 kg de MS ha<sup>-1</sup>. A menor presença de resíduo sobre o solo, favorece o aumento da temperatura do solo e pode provoca maiores perdas de N, pela difusão ascendente de amônia que ocorre juntamente com a evaporação da água do solo (AL-KANANI et al., 1991), no entanto isso ocorre somente se não houver atividade biológica e carbono suficiente para reter esse nutriente no solo.

Em estudo realizado por Clay et al. (1990) maiores perdas de N foram verificadas em solo descoberto, do que em solos com resíduos culturais. Esses autores atribuíram os resultados à redução da temperatura e maior umidade do solo na presença de resíduos. Contudo, isso só é possível se houver precipitação suficiente para incorporação do fertilizante ao solo, ao contrário, o processo de

volatilização aumenta, devido a permanência do fertilizante acima da palhada e pela maior ação da enzima urease (DA ROS et al., 2005; SANGOI et al., 2003; VIEIRO et al., 2012).

## 2.4 CONCLUSÕES

Em ambas as fases de cultivo (azevém-pastagem e feijão) as perdas acumuladas por volatilização de amônia provocadas pela adubação nitrogenada (ureia) foram mínimas, sendo inferiores a 1,5 % na fase de pastejo. Na fase de cultivo de feijão a perda máxima de volatilização amônia acumulada observada foi de 5,37%. Uma maior pressão de pastejo resultou em menores perdas por volatilização de amônia durante a fase de pastejo e contrariamente, durante a fase de cultivo de feijão, uma maior pressão de pastejo, aplicada na pastagem cultivada anteriormente, resultou em maiores perdas por volatilização da amônia.

### 3 VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA NA ROTAÇÃO AVEIA-MILHO EM ÁREA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

#### RESUMO

A adubação nitrogenada é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e para se obter maiores produtividades. Dessa forma, é importante que se busque estratégias para minimizar as perdas de N e aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes, o sistema de ILP tem sido apontado como uma boa alternativa. O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função da aplicação de N e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária. O experimento foi realizado no município de Abelardo Luz – SC em área de LATOSSOLO BRUNO distrófico típico. O delineamento experimental para a cultura da aveia foi em blocos ao acaso em esquema fatorial (2x2x7), com três repetições. O primeiro fator foi tempo de aplicação de nitrogênio (N) no sistema: N aplicado na pastagem (N-Pastagem) e sendo estas as únicas parcelas a receberem N de cobertura na dose 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em uma única aplicação nesta fase experimental as quais foram comparadas com as parcelas denominadas N-Adubação Grãos, as quais não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo. O segundo fator foi altura de pasto, Alta Altura (AA) e Baixa Altura (BA), 24,9 e 14,4 cm, respectivamente. Como terceiro fator foram avaliados os dias de coleta após a aplicação de N, sendo estas realizadas no 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° e 14° dia após a aplicação de ureia. Para a cultura do milho foram adicionados mais um fator (2x2x7x4), sendo as doses crescentes de N: 0; 100; 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup>. As mesmas foram alocadas em subparcelas dentro de cada parcela, no momento da aplicação do N em cobertura no tratamento N-Adubação Grãos. A avaliação de volatilização de amônia foi realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos e a quantificação do teor de amônia foi realizada pelo método de colorimetria. As perdas por volatilização de amônia, tanto para a cultura da aveia como para a cultura milho foram influenciadas pelos tratamentos a qual forma submetidos. Em ambas as fases de cultivo (aveia-pastagem e milho) as perdas acumuladas por volatilização de amônia provocadas pela adubação nitrogenada (ureia) foram mínimas, sendo inferiores a 1,1 % na fase de pastejo. Na fase de cultivo de milho a perda máxima de volatilização amônia acumulada observada foi de 4,0 %. Uma maior pressão de pastejo, aplicada na pastagem cultivada anteriormente, aliada a aplicação de N na fase grãos resultou em maiores perdas por volatilização da amônia durante a fase de cultivo do milho.

**Palavras-chave:** Adubação de sistemas. Produção de forragem. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Nitrogen fertilization is fundamental for the sustainability of agricultural systems and for higher yields. Thus, it is important to seek strategies to minimize N losses and increase fertilizer efficiency, the ILP system has been identified as a good alternative. The objective of this work was to evaluate the losses by volatilization of ammonia due to the application of N and the height of pasture management in the area of crop-livestock integration. The experiment was carried out in the municipality of Abelardo Luz - SC in a typical dystrophic LATOSOLO BRUNO area. The experimental design for the oat crop was in randomized blocks in a factorial scheme (2x2x7), with three replications. The first factor was nitrogen application time (N) in the system: N applied to pasture (N-Fertilization Pasture) and these being the only plots to receive coverage N at the dose 200 kg of N ha<sup>-1</sup> in a single application in this one which were compared with the plots denominated N-Fertilization Grains, which did not receive nitrogen fertilization in the grazing phase. The second factor was grass height, High Height (AA) and Low Height (BA), 24.9 and 14.4 cm, respectively. As a third factor, the days of collection were evaluated after the application of N, which were performed at 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° and 14° day after the application of urea. For the corn crop, another factor (2x2x7x4) was added, with increasing doses of N: 0; 100; 200 and 300 kg ha<sup>-1</sup>. They were allocated in subplots within each plot, at the time of application of the N in cover in the treatment N-Fertilization Grains. The evaluation of ammonia volatilization was performed by the method of static semi-open collectors and the quantification of the ammonia content was performed by the colorimetry method. Ammonia volatilization losses for both oat and corn crops were influenced by the treatments to which they were submitted. In both phases of cultivation (oat-grazing and corn), accumulated losses due to volatilization of ammonia caused by nitrogen fertilization (urea) were minimal, being less than 1.1% in the grazing phase. In the corn cultivation phase, the maximum accumulated ammonia volatilization loss observed was 4.0%. Higher grazing pressure applied to previously cultivated pasture, coupled with application of N in the grain phase, resulted in higher losses due to volatilization of ammonia during maize cultivation

**Keywords:** Fertilization of systems. Forage production. Sustainability.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes influências sobre a produção de forragem em gramíneas está na aplicação de nitrogênio, sendo que as mesmas apresentam boas respostas em virtude da adubação nitrogenada. De acordo com Sandini et al. (2011), a utilização de N em pastagem de inverno, além de aumentar a produção de matéria seca e a produção animal, também aumenta a produção da cultura de grãos sucessora. Destaca-se neste processo a adubação de sistemas dentro dos sistemas integrados de produção, que tem como estratégia aumentar a eficiência no uso dos fertilizantes agrícolas através da ciclagem biológica de nutrientes entre uma cultura e outra, diminuindo entradas e evitando que este nutriente seja perdido (ASSMANN et al., 2017).

Isso só é possível pelo constante retorno e reutilização do mesmo nutriente dentro do sistema que permanece ciclando entre os componentes; solo-planta-animal. Alves et al. (2015) destaca que maior quantidade de resíduos na superfície do solo e na subsuperfície através das raízes, promove maior quantidade de nutrientes à serem ciclados entre a fase pastagem e a fase lavoura. E a adubação nitrogenada da pastagem promove maior produção de biomassa e ciclagem de nutrientes, o que possibilita alcançar altas produtividades nos cultivos subsequentes (BERNARDON, 2016).

Ainda que essas respostas sejam positivas, também existe um grande impasse no que se refere a dinâmica do N, principalmente, com relação às perdas, como por exemplo pela volatilização de  $\text{NH}_3$ . Assim, fatores como as condições climáticas locais no momento da aplicação, principalmente de umidade e temperatura, condições químicas e de cobertura de solo tem influência direta sobre o teor de N a ser perdido para atmosfera na forma de amônia. Esse efeito é ainda mais pronunciado na aplicação de fertilizantes nitrogenados no verão, pelas maiores temperaturas registradas neste período, maior espaçamento entre plantas (menor número de plantas por  $\text{m}^2$ ), e pelo menor intervalo de aplicação na fase lavoura, principalmente se tratando de fontes como a ureia.

O manejo das áreas de ILP seguindo os preceitos do SPD, permitem condições de cobertura viva sobre o solo durante o ano inteiro, como também a presença de resíduos culturais sobre o solo, que diminuem a temperatura e a perda



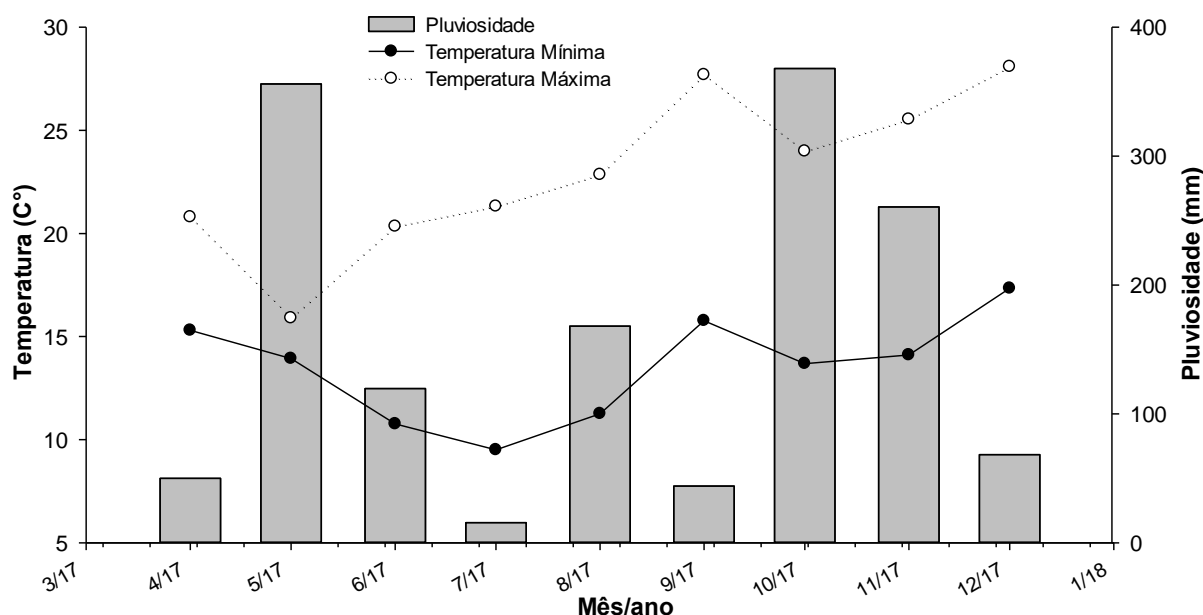
de umidade por evaporação, além de aumentar a CTC do solo, diminuindo as perdas de N do sistema (DA ROS et al., 2005). A longo prazo, o aumento do teor de MO, verificada nestes sistemas também se torna um grande aliado na redução das perdas de N. Nesse contexto, devem-se considerar todas as interações existentes dentro do sistema ILP, compreender como funcionam e se influenciam, possibilitando elaborar novas estratégias de manejo que proporcionem maiores produções e que permitam a manutenção do N no solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas por volatilização de amônia em função do tempo de aplicação de nitrogênio e da altura de manejo de pasto em área de integração lavoura-pecuária.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Caracterização da área em estudo

O trabalho foi conduzido na fazenda C.M. Pacheco, localizada no município de Abelardo Luz – Santa Catarina. A região compreende a área do planalto catarinense, na microbacia hidrográfica, meio oeste catarinense, com altitude de 850 m, latitude de 26° 31' 29,67" Sul e longitude de 53° 04" Oeste.

O clima predominante na região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb), segundo a classificação de Koppen (ALVARES et al., 2013). Os dados meteorológicos do período experimental são apresentados na Figura 15.



**Figura 15** – Dados meteorológicos observados durante o período experimental (Pastagem e Lavoura) (abril de 2017 a dezembro 2017) na região de Abelardo Luz – SC. Fonte: INMET, Clevelândia - PR (dados dos meses de abril e maio); Epagri Santa Catarina, Abelardo Luz – SC (dados dos meses de junho a dezembro). Pato Branco - PR, 2018.

O solo do experimento é classificado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura muito argilosa com horizonte A proeminente, horizonte B latossólico e relevo suave ondulado (7% de declividade). A análise granulométrica do perfil do solo apresenta teores de argila maiores que 69% até 40 cm de profundidade, aumentando pouco ao longo do perfil do solo, caracterizando o Latossolo (SANTOS et al., 2013).

Em toda a área experimental foi efetuada amostragem de solo de 0 a 20 cm em 22 de março de 2017 para recomendação de adubação e calagem, conforme recomendação da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004). A análise de solo de rotina apresentou o seguinte laudo (Tabela 6).

**Tabela 6** – Atributos químicos do solo na profundidade de 0 a 20 cm antes da semeadura da aveia preta comum, solo coletado em 22 de março de 2017. Pato Branco - PR, 2018.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>							%
5,10	54,95	14,20	0,48	5,80	1,50	0,00	5,98	7,78	13,76	56,54

Laboratório de análises de solos UTFPR/IAPAR. Metodologias: M.O. por digestão úmida; P e K extraídos com solução de Mehlich <sup>-1</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub> 1:2,5; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>.

### 3.2.2 Montagem e Condução do Experimento

A área da propriedade rural destinada ao experimento era manejada no sistema de cultivo mínimo, com gradagem para semeadura de cereais de inverno e plantio de culturas de verão. A partir de meados de 2012 passou a ser utilizada para fins de experimentação com Integração Lavoura-Pecuária (ILP) sob plantio direto. Os ciclos de cultivo durante os anos anteriores ao presente estudo estão detalhados na tabela 7.

**Tabela 7.** Histórico de cultivos da área experimental desde a implantação em sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Pato Branco - PR, 2018.

Período	Culturas
Verão 2012/2013	Sorgo Forrageiro ( <i>Sorghum bicolor</i> )
Inverno 2013	Aveia preta comum ( <i>Avena strigosa</i> )
Verão 2013/2014	Milho grãos ( <i>Zea mays</i> )
Inverno 2014	Aveia preta ( <i>Avena strigosa</i> ) + azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2014/2015	Soja ( <i>Glycine max</i> )
Inverno 2015	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.)
Verão 2015/2016	Milho para silagem ( <i>Zea mays</i> L.)
Verão 2016	Feijão safrinha ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )
Inverno 2016	Azevém ( <i>Lolium multiflorum</i> L.) cv. Winter Star
Verão 2016/2017	Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ) cv. Tuiuiú
Inverno 2017	Aveia preta comum ( <i>Avena strigosa</i> )
Verão 2017/2018	Milho grãos ( <i>Zea mays</i> ) hib. AG 9025/VTPRO3

O experimento objeto desta pesquisa ocorreu durante o inverno de 2017 com a implantação da cultura da aveia preta comum, e no verão, safra 2017/2018, a cultura implantada foi a do milho, utilizou-se o híbrido AG 9025 VTPRO3. Na tabela 8 são apresentadas as principais informações referentes a implantação e condução das culturas estudadas.

**Tabela 8.** Resumo das informações da implantação e condução de dois cultivos (aveia e milho) conduzidos na área experimental em Abelardo Luz-SC. Pato Branco - PR, 2018.

Cultura	População/ Densidade	Data de semeadura	Adubação de base kg ha <sup>-1</sup> (N-P-K)	Dose de N (Kg ha <sup>-1</sup> )	Dessecação
Aveia	100 kg sem ha <sup>-1</sup>	28/04/2017	60 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) 85 (KCl)	200 (Perfilhamento)	29/08/2017
Milho	80 mil pl ha <sup>-1</sup>	04/10/2017	12-59-00	200 (V5)	-

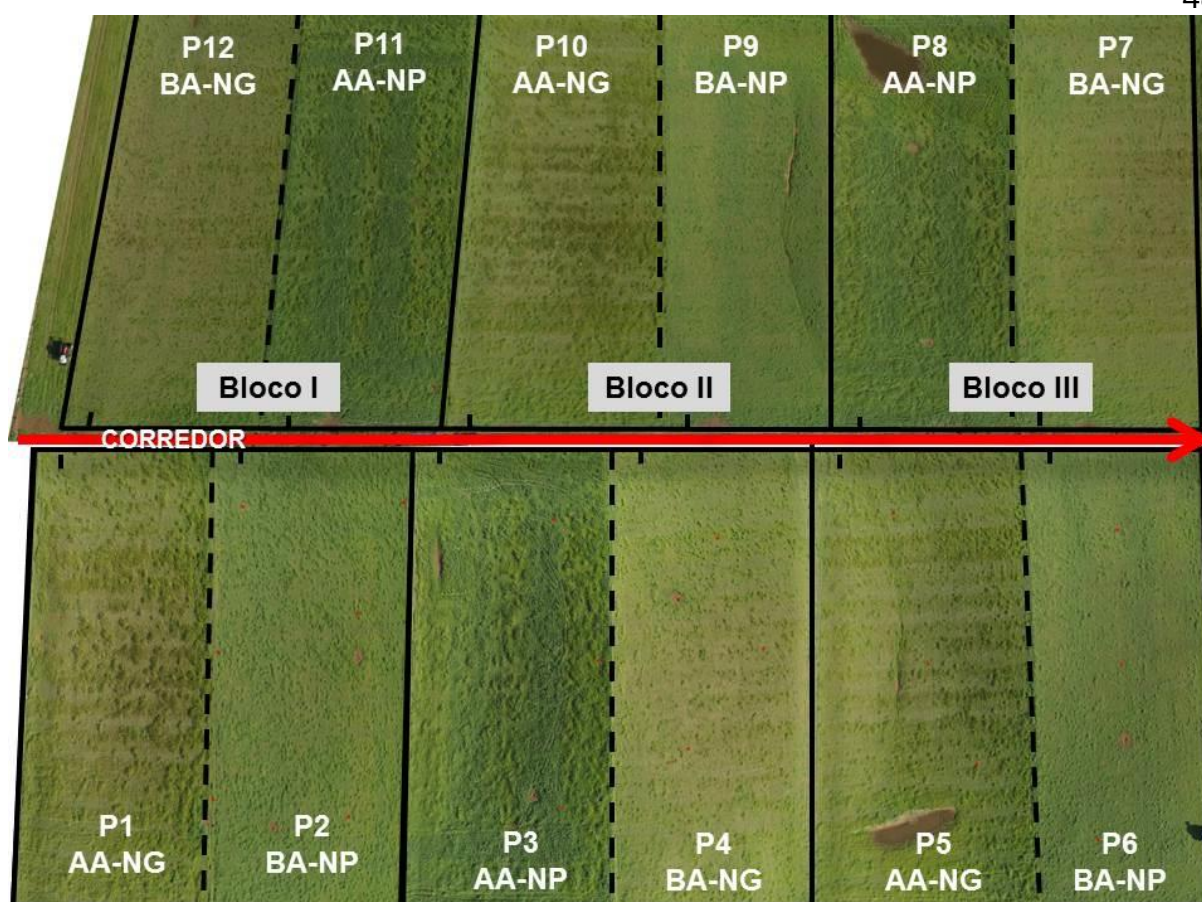
O delineamento experimental é de blocos ao acaso em esquema fatorial (2x2), com três repetições, perfazendo 3 blocos, cada um com 4 tratamentos, num total de 12 parcelas (Figura 16). Os tratamentos principais do experimento são

dois, sendo o primeiro constituído por tempo de adubação de nitrogênio (N) no sistema, sendo: N aplicado na pastagem (N-Pastagem) e N aplicado na fase grãos (N-Adubação Grãos). As parcelas N-Adubação Pastagem receberam 200 kg de N ha<sup>-1</sup> no cultivo de aveia, no inverno de 2017, aplicado em uma única vez, com as plantas em estágio de perfilhamento, e sendo estas as únicas parcelas a receberem N de cobertura as quais foram comparadas com as parcelas denominadas N-Adubação Grãos, as quais não receberam adubação nitrogenada na fase de pastejo, e receberam no cultivo de milho (cultivo de verão) na dose de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, na safra 2017/2018, em uma única aplicação, com as plantas no estágio V5. Portanto, as parcelas que receberam aplicação de N em cobertura durante o cultivo da pastagem no inverno foram às que não receberam a aplicação de N durante o cultivo de grãos no verão.

O segundo fator foi altura de pasto, sendo alta altura (AA) e baixa altura (BA). As alturas de pasto pretendidas eram de 25 cm nas parcelas AA, para um máximo de produção por ha, e de 10 cm nas parcelas BA. Entretanto, as médias das alturas de pasto reais durante o período de pastejo foram de 24,9 cm para a alta altura e de 14,4 cm para a baixa altura. Desse modo, constituindo os quatro tratamentos (Figura 17).

Para a avaliação de perdas de amônia, os dias de coletas construíram o terceiro fator (2x2x7), das quais foram realizadas a cada dois dias, após a aplicação de N em cada fase dos cultivos.

Assim, como unidades experimentais foram utilizadas doze parcelas, já alocadas desde o início do experimento com ILP em 2012, sendo a área total do experimento de aproximadamente 14 ha e, adjacente à está, uma área de cerca de 10 ha para manutenção dos animais reguladores. O dimensionamento do tamanho das parcelas foi realizado de modo a permitir a manutenção de no mínimo três animais denominados testers, os quais estiveram sobre avaliação juntamente com a pastagem. A área das parcelas foi determinada de acordo com os tratamentos, variando de 10727,2 a 12973,55 m<sup>2</sup> (Figura 16), principalmente, devido ao manejo adotado no uso do nitrogênio (N) e na altura da pastagem.

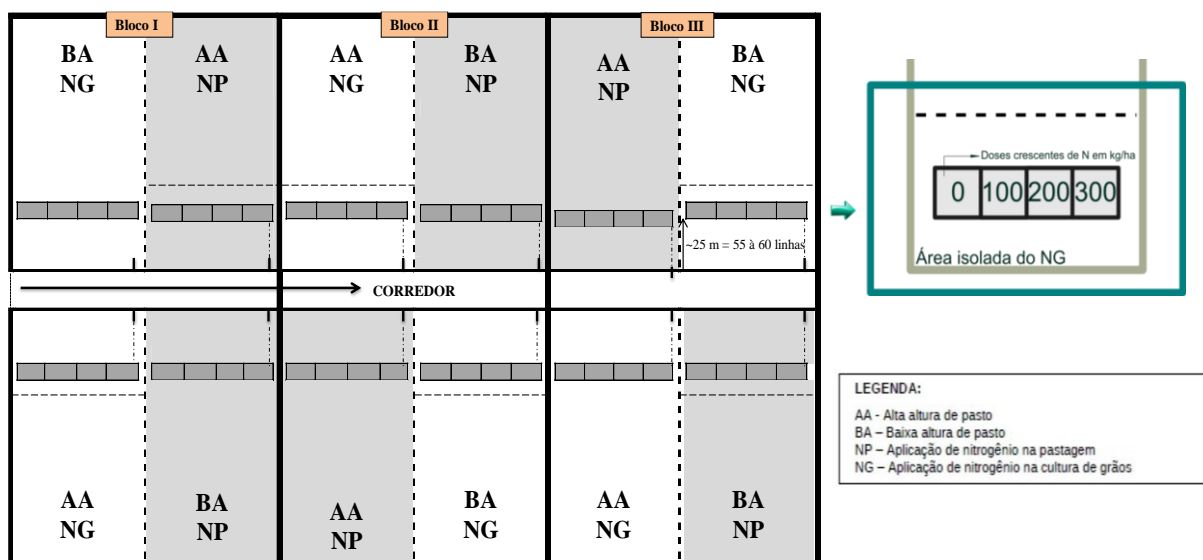


**Figura 15.** Croqui da área experimental destacando os blocos e os tratamentos de manejo da altura do pasto e da adubação nitrogenada em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018.  
\*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N-Adubação Grãos); NP (N-Pastagem).

As alturas do pasto foram mantidas por meio de pastejo contínuo com taxa de lotação variável seguindo as recomendações de Moot e Lucas (1952). Para verificação da altura do pasto em cada tratamento foi utilizando uma regra graduada para mensurar a mesma, avaliando-se uma vez por semana 40 pontos aleatórios dentro de cada parcela.

A entrada dos animais no pasto foi em 13 de junho de 2017, 46 dias após a semeadura, quando a aveia apresentava altura média de 25,4 cm em todos os tratamentos (BA N-Pastagem; BA N-Adubação Grãos; AA N-Pastagem; AA N-Adubação Grãos), sendo este pastejado até o dia 27 de agosto de 2017. Foram utilizados bovinos de corte da raça Charolês x Nelore, conforme aquisição do proprietário da fazenda. A entrada e saída dos animais reguladores da pastagem foram dependentes da distância entre o valor real de altura da pastagem e o valor

preconizado para cada altura do pasto (10 cm para BA e 25 cm para AA). Por meio do ajuste na taxa de lotação, buscou-se manter sempre três animais testers em cada unidade experimental e um número variável de animais reguladores para o ajuste da altura do pasto. O período de avaliação da pastagem e dos animais foi dividido em 2 períodos de pastejo de 28 dias e 1 de 19 dias, totalizando 75 dias de pastejo.



**Figura 17.** Croqui experimental com a disposição dos tratamentos nas subparcelas do cultivo de milho em Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Legenda: AA-alta altura do pasto; BA-baixa altura do pasto; NG (N- Grãos); NP (N-Pastagem).

No período da condução do cultivo de grãos foi incluído aos tratamentos mais um fator ( $2 \times 2 \times 7 \times 4$ ), doses crescentes de nitrogênio na cultura do milho em todas as parcelas estudadas, N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos conforme figura 16. Para que fosse possível trabalhar com estas doses foram alocadas quatro subparcelas de  $135 \text{ m}^2$  cada ( $30 \text{ linhas} \times 0,45 \text{ espaçamento} = 13,5 \text{ m} \times 10,0 \text{ m}$ ), nas doze parcelas, para avaliar a aplicação de doses de N, sendo: 0; 100; 200 e  $300 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . Além das subparcelas, as parcelas denominadas N-Adubação Grãos receberam N no restante da parcela e nesta fase as parcelas N-Adubação Pastagem não receberam pois foram aquelas que já haviam recebido na cultura de inverno, conforme detalhamento no croqui, figura 17.

O manejo fitossanitário e de plantas daninhas foi efetuado a rigor durante o ciclo da cultura. No dia 03 de novembro de 2017 foi efetuada a primeira

aplicação de herbicida e inseticida, com os seguintes produtos: Basfoliar H Plus (Adjuvante), na dose de 60 mL ha<sup>-1</sup>, Solist (Fungicida), na dose de 5 L ha<sup>-1</sup>, EngeoPleno (Inseticida), Hkaphos (Base foliar 07.12.40), na dose de 3 Kg ha<sup>-1</sup>, e o Glifosato Zapp QI, na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup>. Já dia 09 de dezembro de 2018, foi realizada a segunda aplicação de herbicida, com os seguintes produtos: Prima Top (Atrazina + Simazina), na dose de 7 L ha<sup>-1</sup>, Callisto, na dose de 130 mL ha<sup>-1</sup>, Orobor na dose de 60 mL ha<sup>-1</sup>, e o Basfoliar H Plus (Adjuvante), na dose de 60 mL ha<sup>-1</sup>.

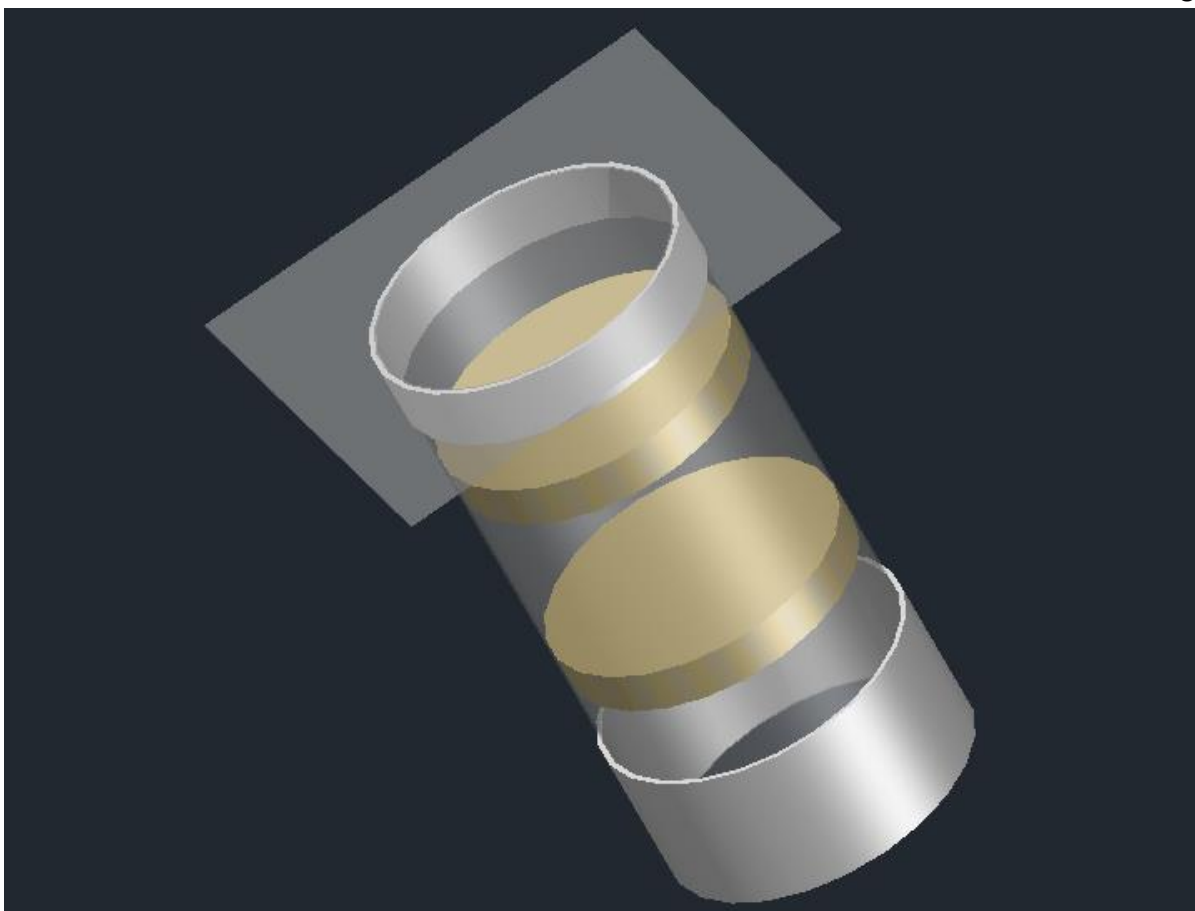
As coletas para as avaliações dos componentes de rendimento foram realizadas no dia 17 de março de 2018, sendo que a colheita total do experimento foi realizada no dia 30 de março, sendo está mecanizada com uso de colhedora automotriz e os grãos destinados à propriedade rural.

### 3.2.3 Variáveis estudadas

#### 3.2.3.1 Perdas por volatilização de amônia

A avaliação de volatilização de N-NH<sub>3</sub> foi realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos (CABEZAS E TREVELIN, 1990). O método de coleta consiste em alocar uma base de PVC fixa ao solo de 15 cm de diâmetro e sobre a base uma câmara cilíndrica de 35 cm de altura em lâmina de plástico transparente.

Os coletores foram instalados previamente a aplicação do fertilizante e fechadas para não haver entrada de fertilizante. Após o fertilizante ser aplicado na área total das parcelas, foi aplicada uma dose equivalente de N na área de cada base. Em cada câmara foram alocados dois anéis de espuma de mesmo diâmetro com 2 cm de espessura, embebidos com 50 mL de uma solução de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,1 N + glicerina 2%. Um dos anéis estava alocado no topo da câmara, visando eliminar interferências da NH<sub>3</sub> da atmosfera, e o outro a 11 cm do solo visando a coleta do NH<sub>3</sub> volatilizado do solo, conforme ilustrado na figura 18.



**Figura 18.** Representação do coletor de amônia utilizado para quantificar as perdas de N por volatilização de amônia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

A cada 2 dias eram recolhidas as amostras, onde a espuma da parte inferior era colocada em saco zip, vedado e transportado em caixa de isopor com gelo para o laboratório, onde o conteúdo de solução que reagiu era extraído para análise ou armazenado em refrigerador por no máximo 10 dias. A espuma da parte superior era trazida ao laboratório para a lavagem e secagem da mesma.

A quantificação do teor de amônia se deu através do método de colorimetria descrito por Miyazawa et al. (1992). Para a determinação utilizou-se três soluções reagentes, A, B e C, onde a solução A é composta por ácido salicílico 5% + citrato de sódio tribásico 5% + hidróxido de sódio (NaOH) 2,1%, a solução B por nitroprussiato de sódio 0,1%, e a solução C por hipoclorito de sódio (NaOCl) 0,15%. Coletou-se em tubo de ensaio 6 mL de água deionizada, 1 mL de cada uma das soluções A, B e C e 1 mL da amostra. Agita-se o tubo, e posteriormente repousa por 1 hora, para realizar a leitura em espectrofotômetro em absorbância com



comprimento de onda de 697 nm.

As coletas a campo foram realizadas em dois ciclos de durante o ano agrícola de 2017/2018: 1) após a aplicação de nitrogênio em cobertura na pastagem de aveia preta; e 2) após aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho. As coletas foram realizadas no 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, 12° e 14° dia após a aplicação de N.

A aplicação da ureia (46% de N) na cultura da aveia ocorreu no dia 25/05/2017, sendo instalado os coletores de amônia, conforme verifica-se na figura 19. No segundo dia (após 48 horas) foi realizada a primeira coleta para a quantificação das perdas de N (Tabela 9).

**Tabela 9** – Datas de coletas para quantificação das perdas de N-NH<sub>3</sub> na cultura da aveia. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

Coletas para quantificação das perdas de N-NH <sub>3</sub>	Datas
Aplicação de N	25/05/2017
1° coleta – Dia 02	27/05/2017
2° coleta – Dia 04	29/05/2017
3° coleta – Dia 06	31/05/2017
4° coleta – Dia 08	02/06/2017
5° coleta – Dia 10	04/06/2017
6° coleta – Dia 12	06/06/2017
7° coleta – Dia 14	08/06/2017



**Figura 19.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após aplicação de ureia na cultura da aveia preta comum. Abelardo Luz – SC. Maio de 2017. (A) Condição da pastagem no momento da aplicação de N (ureia); (B) Câmera coletora de amônia; (C) Análise em laboratório das perdas de N, quanto mais intensa a cor, maior a quantidade de N contido na amostra. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

A adubação nitrogenada do milho ocorreu em cobertura no dia 11 de novembro de 2017 em todas as subparcelas e parcelas N-Adubação Grãos, momento em que as plantas se encontravam no estágio V5 (Figura 20). Nas

parcelas N-Adubação Grãos foi aplicada a dose 200 kg de N ha<sup>-1</sup> em única aplicação, tendo como fonte a ureia (46% de N). Nas quatro subparcelas, em cada tratamento, foram aplicadas as doses de N conforme alocação das mesmas aleatoriamente em cada parcela (Figura 17), sendo 0; 100; 200 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup> em única aplicação, utilizando-se também ureia (46% de N) como fonte de N. Foram utilizados um coletor por subparcelas, totalizado 48 coletores. Na tabela 10 apresenta-se as datas de coleta.

**Tabela 10** – Datas de coletas para quantificação das perdas de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

Coletas para quantificação das perdas de N-NH <sub>3</sub>	Datas
Aplicação de N	11/11/2017
1º coleta – Dia 02	13/11/2017
2º coleta – Dia 04	15/11/2017
3º coleta – Dia 06	17/11/2017
4º coleta – Dia 08	19/11/2017
5º coleta – Dia 10	21/11/2017
6º coleta – Dia 12	23/11/2017
7º coleta – Dia 12	25/11/2017



**Figura 20.** Coleta de amônia realizada pelo método de coletores semiabertos estáticos após a aplicação de ureia na cultura do Milho (AG 9025). Abelardo Luz – SC. Novembro de 2017. (A) Condição do experimento no momento da aplicação de N (ureia); (B) Câmera coletora de amônia; (C) Dose de ureia equivalente a dose de N aplicada em cada subparcela. UTFPR, Pato Branco - PR, 2018.

### 3.2.4 Análise estatística dos dados

Os resultados das variáveis observadas foram submetidos à análise de variância com as hipóteses testadas pelo teste F ( $P < 0,05$ ) para cada cultivo e as características que apresentarem diferença significativa para interação foram

comparadas pelo teste de LSD, em nível de 5% de significância, usando o software estatístico Statgraphics. As médias e respectiva DMS de LSD foram representadas graficamente, utilizando-se o aplicativo computacional estatístico SigmaPlot® versão 12.0 (Systat Software, San Jose, CA).

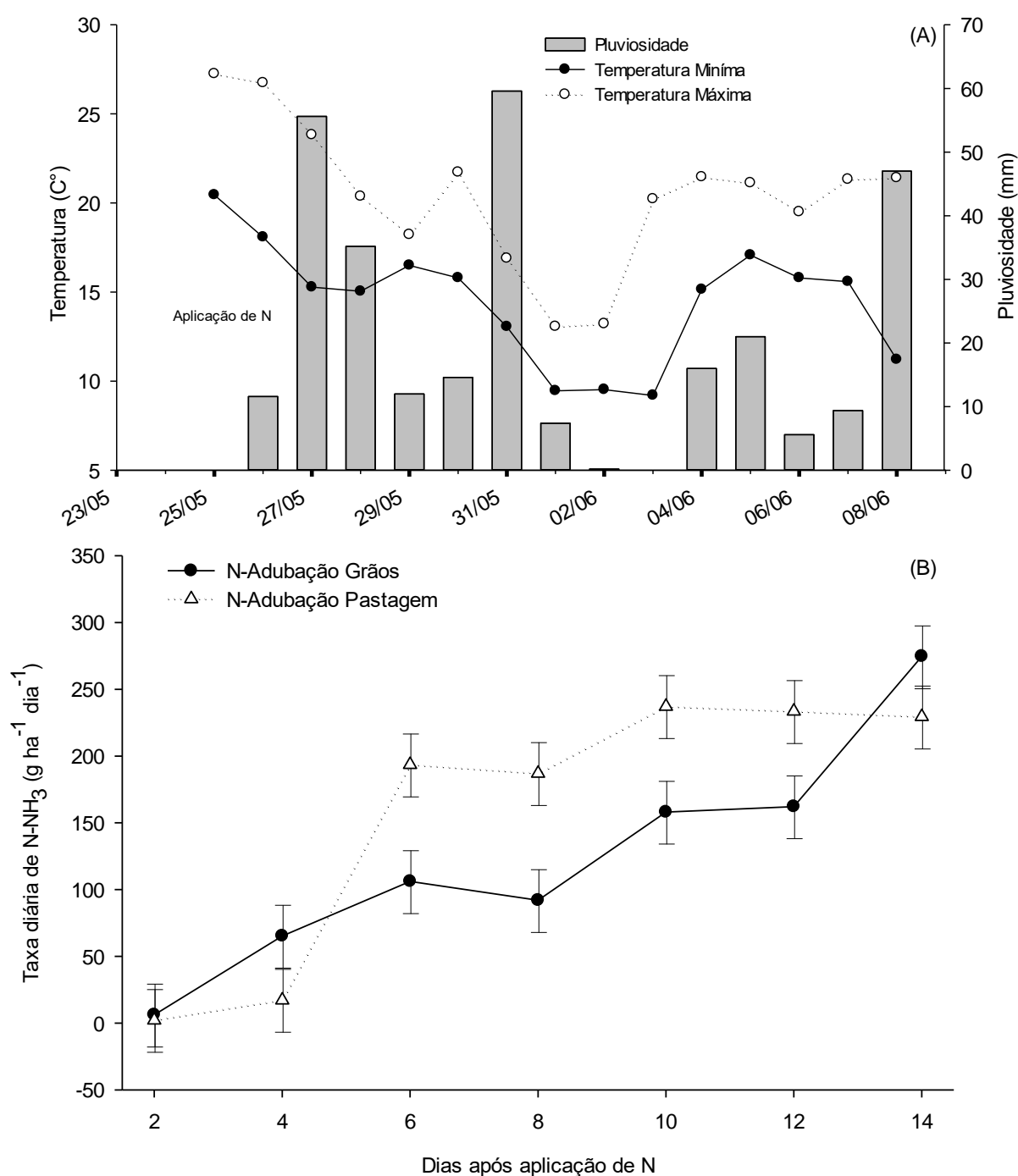
### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.3.1 Volatilização de amônia na cultura da Aveia

As perdas por volatilização de amônia apresentaram interação entre os fatores, dias de coleta após a aplicação de N e tempo de adubação ( $P=0,0027$ ) (Figura 21 B).

O período entre o segundo e o quarto dia após a aplicação de N, não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (N-Adubação Grãos e N-Pastagem). Já entre o dia seis e o décimo segundo dia, o tratamento N-Adubação Pastagem apresentou maiores perdas de N-NH<sub>3</sub>, havendo, respectivamente médias de volatilização de amônia de 193, 187, 237 e 233 g de N ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Esse resultado era esperado, uma vez que, o tratamento N-Pastagem, recebeu 200 kg de N ha<sup>-1</sup>, enquanto que o tratamento N-Adubação Grãos não recebeu aplicação de N nessa fase. No décimo quarto dia, não houve diferença entre os tratamentos, mas observa-se que no tratamento N-Adubação Pastagem ocorre uma diminuição nos valores de perdas de N-NH<sub>3</sub>.

Evidencia-se que as perdas diárias de N-NH<sub>3</sub> não foram expressivas, uma vez que, as mesmas se mantiveram abaixo de 300 g ha<sup>-1</sup>, mesmo no tratamento com aplicação de 200 kg de N ha<sup>-1</sup>.



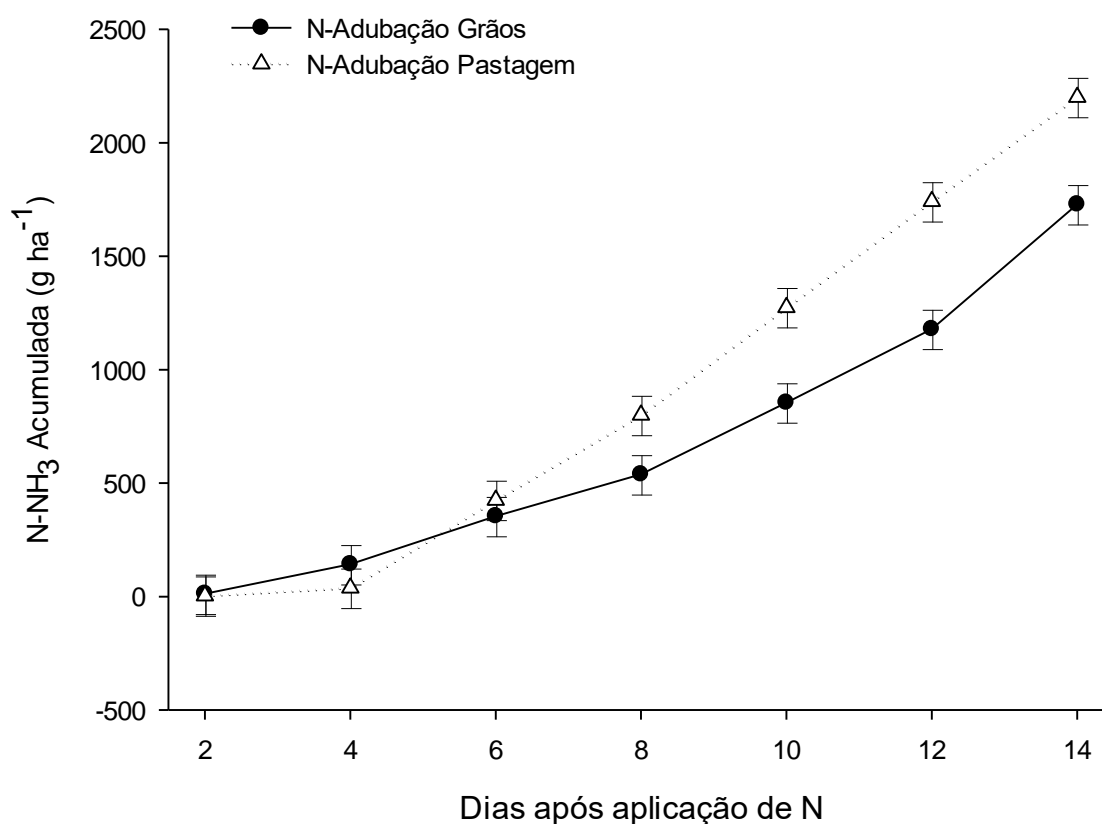
**Figura 21.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de N-NH<sub>3</sub>, após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do Aveia (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Durante todo o período de avaliação ocorreram elevados níveis de precipitação, chegando a acumular 295,2 mm de chuva (Figura 21 A). Logo após a aplicação do N ocorreram 11,6 mm de precipitação, o que segundo Black et al. (1987) é suficiente para fazer a incorporação da ureia no solo e diluir as hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ), produzida pela dissociação da ureia (ZAVASCHI et al., 2014; LARA CABEZAS et al., 1997). Outro fator importante é a temperatura, que neste caso manteve-se entre 14,5 e 20,4 °C. Dessa forma, evidencia-se que os fatores climáticos corroboram às menores perdas de N por volatilização.

De acordo com Pereira et al. (2009) e Fontoura e Bayer (2010), as perdas de ureia por volatilização de amônia são altamente dependentes das condições do clima, principalmente temperatura e umidade. Portanto, as condições climáticas proporcionadas pelo inverno encontradas nessa região, favorecem baixas perdas N por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ .

O manejo de solo em ILP realizado desde 2012 neste experimento, seguindo os princípios de plantio direto, carga animal adequada e uso de forrageiras com grande potencial de crescimento que potencializam a absorção deste nutriente e o mantém no sistema através da ciclagem de nutrientes. Esses fatores aliados as condições climáticas descrita anteriormente são os grandes responsáveis pelas baixas perdas de  $\text{N-NH}_3$  encontrados nesse trabalho.

Verifica-se na figura 21 B, que as maiores perdas de  $\text{N-NH}_3$  ocorreram a partir do sexto dia de avaliação no tratamento N-Pastagem, mantendo-se constante no decorrer dos dias. Esses resultados corroboram aos encontrados por Sangoi et al. (2003) e Alves (2006) os quais mostraram que a perda de amônia por volatilização ocorre essencialmente na primeira semana após a aplicação de ureia em superfície. Isso pode ser explicado segundo Oliveira et al. (2003) pela elevação do pH do solo causada pela hidrólise da ureia.

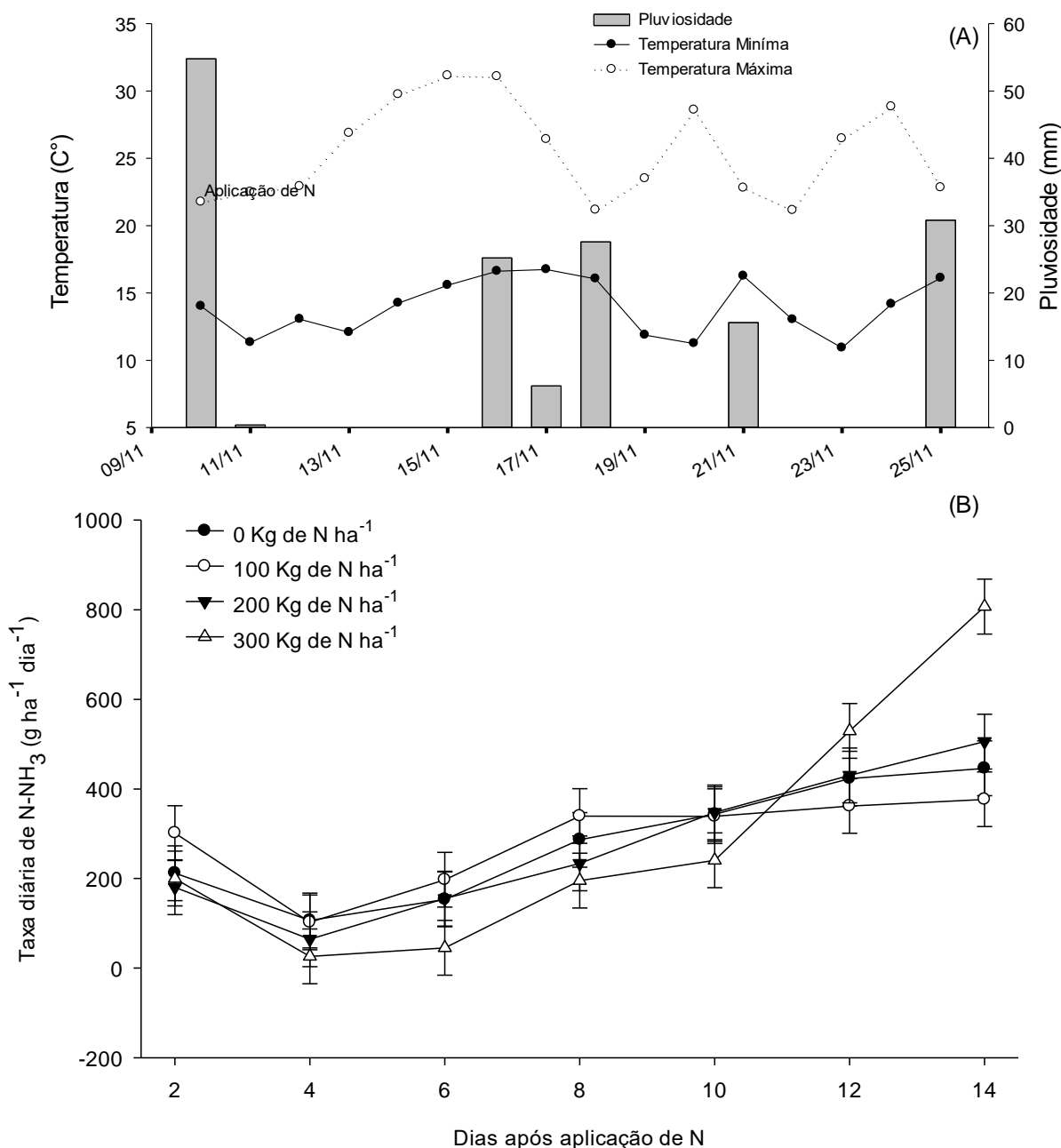


**Figura 22.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, no período de avaliação. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = nitrogênio aplicado na pastagem, AA = alta altura, BA = baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

O acumulado das perdas de N-NH<sub>3</sub> no período de inverno (Figura 22) foram influenciadas pelos tratamentos, dias após aplicação de N e tempo de N ( $P=0,0004$ ). Os tratamentos N-Adubação Pastagem e N-Adubação Grãos, apresentaram respectivamente 2,2 e 1,7 kg ha<sup>-1</sup> de perdas de N-NH<sub>3</sub>, o que representa 1,1% do total do N aplicado. Cabe salientar que estes resultados corroboram aos encontrados no ano anterior à esta avaliação, sendo que as perdas se mantiveram abaixo de 1,5%. Ainda estão de acordo com Viero et al. (2014), os quais encontraram perdas inferiores a 5,5 % (2,75 kg de N ha<sup>-1</sup>) do N aplicado na cultura do trigo, em condições de baixa temperatura e precipitação adequada.

### 3.3.2 Volatilização de amônia na cultura do milho

Para a cultura do milho, a taxa diária de perdas por volatilização de  $\text{N-NH}_3$ , apresentou interação entre os fatores, dias após aplicação de N e doses crescente de N ( $P= 0,0011$ ; Figura 23 B). É importante salientar que mesmo ocorrendo diferença entre os tratamentos, as perdas podem ser consideradas baixas em todos os tratamentos.



**Figura 23.** Temperatura do ar (máxima e mínima), e precipitação pluvial no período de avaliação das perdas de  $\text{N-NH}_3$ , após a aplicação de N (A). Taxa diária de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre doses de N e dias após aplicação de N (B). \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

A quantidade de amônia volatilizada seguiu um mesmo padrão de perdas para todas as doses testadas. A partir do quinto dia, quando ocorreu o primeiro evento de precipitação (25,2mm) verificou-se um aumento gradativo das perdas (Figura 23 A). Somente no 14º dia a maior dose de N (300 kg de N ha<sup>-1</sup>) apresentou a maior taxa de perda registrada no período, diferindo das demais doses.

A aplicação de N nesta fase ocorreu após uma precipitação de 54,8 mm justamente para verificar o comportamento das perdas de N dentro do sistema de ILP em condições de solo úmido ou saturado. Estudo realizado por Vieiro et al. (2015) mostram que as aplicações de ureia em condição de solo úmido podem aumentar as perdas pelo processo de volatilização de amônia, devido a dissolução do fertilizante. No entanto, observa-se neste estudo, que mesmo nessas condições as perdas de N foram baixas. Uma precipitação de 54,8 mm possivelmente é suficiente para saturar o solo, nestas condições a aplicação de ureia diretamente sobre o solo é rapidamente hidrolisada (Raij, 1991), ocorrendo sua difusão no perfil do solo e que aliado a uma série de outros fatores contribuíram para as baixas perdas verificadas neste trabalho.

Neste caso, não é possível observar em que momento ocorre o pico de volatilização, diferente dos resultados encontrados na cultura do feijão, da qual o pico de perdas se deu no sexto dia de avaliação, em condições de precipitação logo após a aplicação de N. Segundo Zavaschi et al. (2014) a falta de chuva logo após a aplicação de ureia retarda o processo de volatilização. Neste mesmo estudo, o pico de perda ocorreu após o 15º dia, devido a duas precipitações de 12 mm que ocorreram 2 e 3 dias antes da avaliação. Esse volume de água teria sido suficiente para elevar a umidade do solo, possibilitando a hidrólise da ureia, entretanto, não suficiente para incorporar o N no solo, e por isso, favorecendo as perdas por volatilização de amônia.

Por outro lado, esses resultados contrariam os obtidos por Leão (2008), onde a aplicação de ureia foi realizada com solo úmido e, após a ocorrência de uma chuva de 35 mm, isso combinado com altas temperaturas, antecipou o pico de volatilização, ocorrendo no segundo dia de avaliação. Silva et al. (2017), relatam a redução do conteúdo de água do solo aumenta as perdas por volatilização, por



causa das maiores concentrações de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{N-NH}_3$  em solução, favorecendo a emissão da forma gasosa de  $\text{N-NH}_3$ . No entanto, isso não é observado no presente estudo, provavelmente devido a imobilização temporária do N na microbiota do solo.

Alguns fatores podem estar associados a estes resultados, podendo-se destacar a menor quantidade de palhada sobre o solo disponibilizada pela cultura de inverno, o que possibilitou o contato direto dos grânulos de ureia ao solo. A ocorrência de geada na fase pastagem alterou todo o processo final de deposição de palhada, permanecendo pouco resíduo após a retirada dos animais. Além disso, esse material era de baixa relação C/N, devido ao rebrote ocorrido após a morte da parte aérea da aveia ocasionado pelas baixas temperaturas aos 41 dias antes da dessecação (18 de julho de 2017).

Portanto, no momento dessa avaliação (43 dias após a dessecação da pastagem), quase que a totalidade dos resíduos culturais da aveia já havia sido decomposto e, deste modo, permitiu maior contato do fertilizante ao solo (Figura 20), auxiliando na sua rápida dissolução. De acordo com Raij (1991), se houver umidade suficiente, ocorre degradação e dissolução do grânulo de ureia aplicada ao solo. Este fato, aliado a necessidade de nitrogênio pela microbiota do solo para a decomposição do material residual e mineralização da MO (Vargas et al., 2005), manteve o N imobilizado temporariamente, evitando que esse fosse perdido do sistema. Da Ros et al. (2005), estudando a influência da presença de resíduos culturais nas perdas de amônia, concluiu que, quando a aplicação da ureia é realizada logo após a chuva, ou seja, em condições de solo úmido, como verificado neste trabalho, a volatilização de amônia é maior na presença de resíduos culturais, do que em solo descoberto. O autor justifica que o menor contato do grânulo de ureia com o solo, e maior atividade de urease na presença de resíduos, proporciona maiores perdas de  $\text{N-NH}_3$ .

De acordo com Amado et al. (2000), Kitur et al. (1984), Vargas e Scholles (1998), em SPD há uma maior imobilização microbiana do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura, devido a maior quantidade de resíduos culturais nas camadas superficiais. Esse fato dá suporte a ideia de que, mesmo não ocorrendo precipitações após a aplicação de N, para que ocorresse a incorporação desse fertilizante ao solo, o N ainda se manteve no sistema, porém imobilizado na

microbiota. Souza et al. (2010) avaliando o comportamento da biomassa microbiana em sistema de ILP, constatou que o N microbiano decresceu de maio para novembro, possivelmente devido à absorção desse nutriente pelas plantas. Portanto, quando ocorre a aplicação de nitrogênio, os microrganismos tendem utilizar esse nutriente para crescimento microbiano, desta forma, imobilizando-o temporariamente.

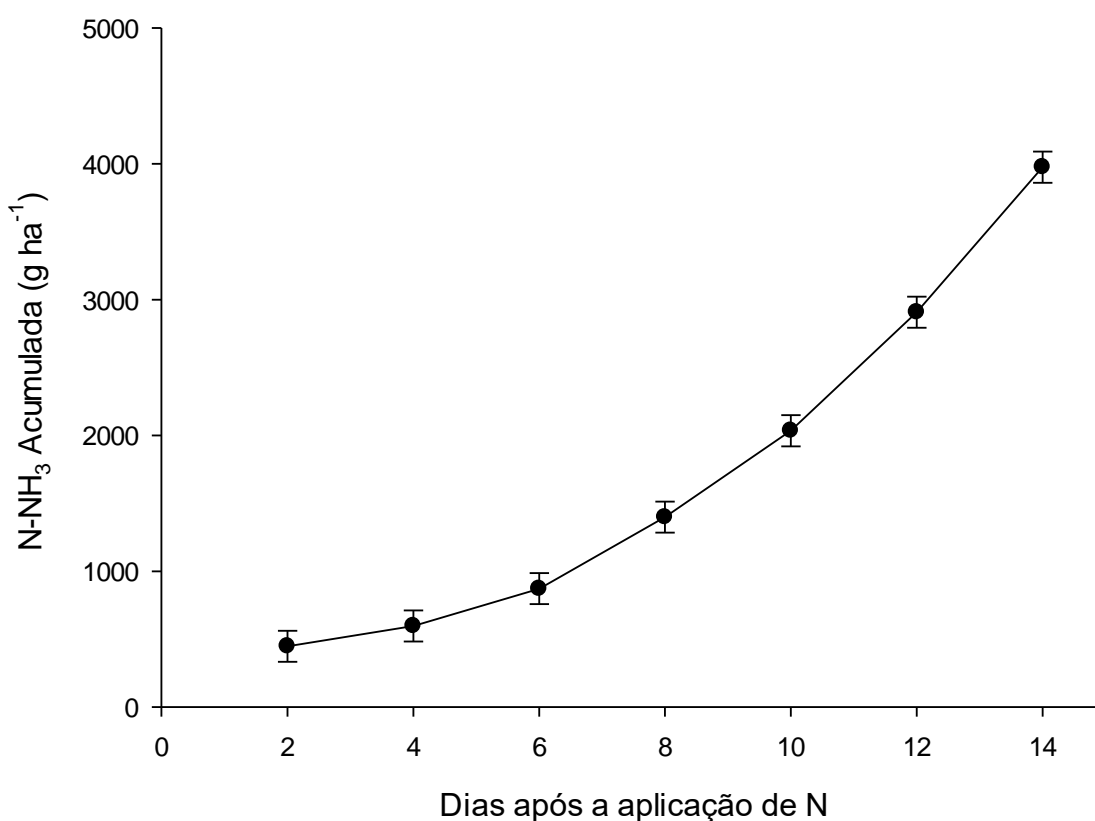
As características inerentes ao solo, como o teor de argila, também é um grande aliado na manutenção do N ao solo. Al-Kanani et al. (1991), sugeriram que o aumento do teor de argila do solo reduziu a perda de N-NH<sub>3</sub>, possivelmente devido à adsorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. O mesmo é reportado em estudo realizado por Sangoi et al. (2003).

O teor de matéria orgânica é outro fator importante na dinâmica do N no solo. Se por um lado o incremento de MO e da biomassa microbiana, pode aumentar a atividade da urease potencializando o processo de volatilização de amônia, por outro lado, o maior estoque de MO em superfície aumentara a adsorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e a capacidade tampão do solo, podendo limitar o processo de volatilização de N-NH<sub>3</sub> no sistema (ROJAS et al., 2012). Além disso, Dorneles et al. (2015) e Vieira et al. (2008) relatam que além da MO, a umidade elevada do solo, e os níveis de CTC na camada superficial são fatores importantes que também aumentam a capacidade tampão do solo, com possíveis efeitos que diminuem a volatilização do N-NH<sub>3</sub> (FERGUSON et al., 1984).

Na figura 24 é possível observar que o acumulado de perdas de N-NH<sub>3</sub>, foi significativamente influenciado pelos dias após a aplicação de N (P=0,0000). Nota-se que os teores médios de perdas permaneceram abaixo de 4 kg de N ha<sup>-1</sup>, resultando em menos de 4% de perdas do total de N aplicado.

A magnitude das perdas por volatilização de N-NH<sub>3</sub> foi influenciada pela ocorrência de 4 eventos pluviométricos verificados no dia 5 (25,2mm), 6 (6,2 mm), 7 (27,6mm) e no dia 10 (15,6mm), o que certamente teve efeito positivo na redução das perdas, e também pela não observação do pico de perdas como verificado no ano anterior. Esses volumes de chuvas possibilitaram a incorporação do N a maiores profundidades do solo, facilitando sua adsorção (VIERO et al., 2012). Kissel et al. (2004) aplicando 24 mm de chuva simulada imediatamente após

uma aplicação de ureia, encontraram menos de 1% de perda, 5% quando a chuva simulada foi aplicada no dia 7 e perdas de 49 e 58% foram medidos quando a chuva simulada ocorreu nos dias 16 e 30, respectivamente. Baseado nestes resultados, pode-se afirmar que chuvas ocorridas na primeira semana após a aplicação de ureia, diminuem substancialmente as perdas de amônia pelo processo de volatilização.



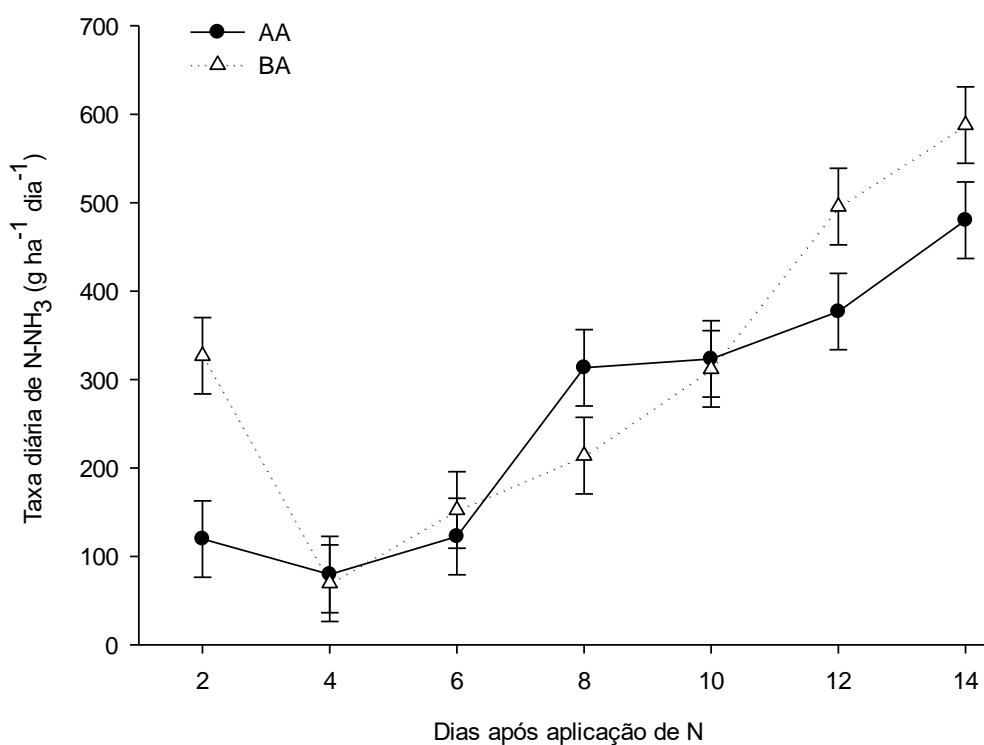
**Figura 24.** Dados acumulados de volatilização de N-NH<sub>3</sub>, efeito isolado de dias após aplicação de N. \*Abreviações: N-Adubação Grãos = Nitrogênio aplicado na cultura de grão, N-Adubação Pastagem = Nitrogênio aplicado na pastagem. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Assim como neste estudo, outros trabalhos mostram baixas perdas por volatilização de amônia decorrente da aplicação de ureia sobre a superfície do solo. Dal Molin (2016), testando a aplicação de diferentes formas de fertilizantes, com aplicação de calcário em superfície e incorporado, verificou-se perdas de ureia na forma de N-NH<sub>3</sub> de 5,7 e 5,2% do total aplicado, respectivamente.

Vale ressaltar que os valores acumulados encontrados nesse trabalho são baixos, quando comparado com alguns resultados encontrados na literatura,

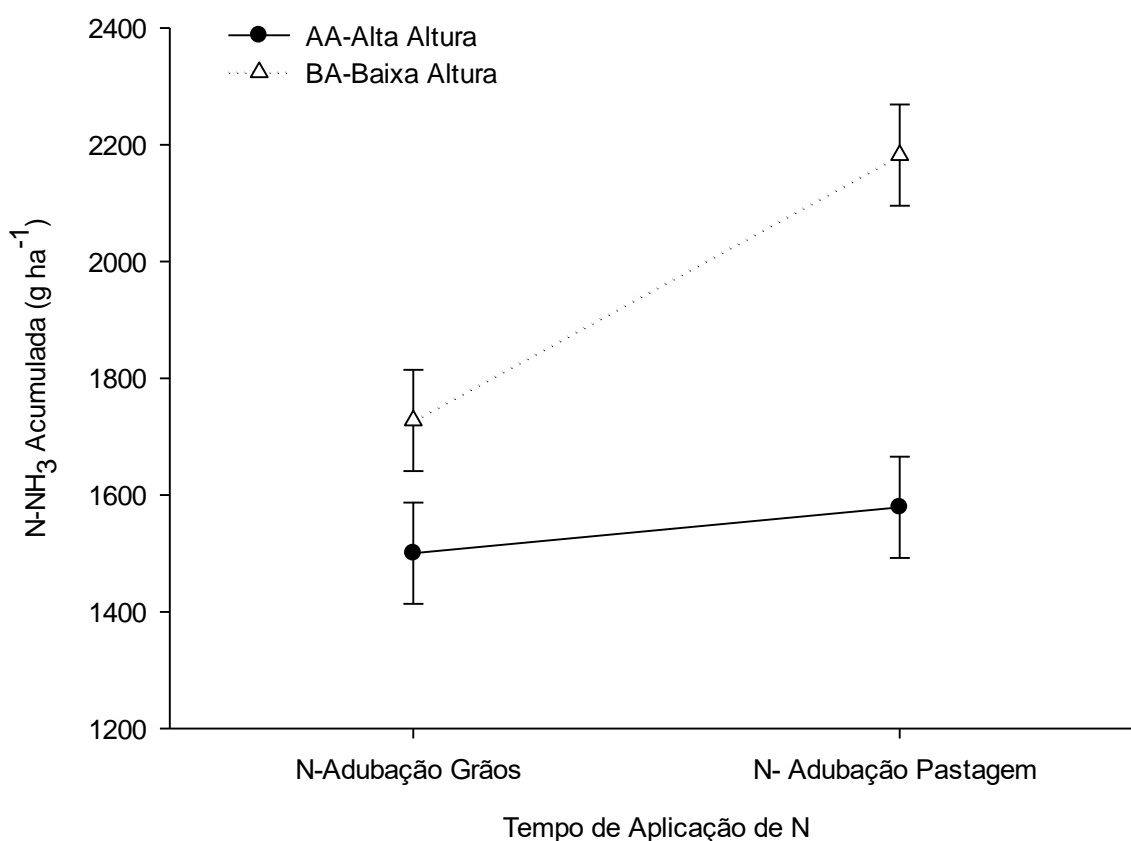
como por Martha Júnior (1999); Cantarella et al. (1999); Lara Cabezas e Yamada (1999); Chagas et al. (2017) (2), e Cantarella et al. (2003), em condições de alta temperatura e ausência de precipitação, além de diferentes características de solo e de sistemas de produção.

Os dados apresentados na figura 25 ajudam a elucidar o que já foi discutido anteriormente. O manejo de BA para a taxa diária de volatilização apresentou maiores perdas na primeira e nas duas últimas avaliações, do que o tratamento de AA ( $P=0,0121$ ). Assim como nas perdas acumuladas no período (Figura 26) evidencia-se que a volatilização de amônia foi superior no tratamento BA, tanto para N-Adubação Grãos, como N-Adubação Pastagem ( $P=0,0313$ ). A BA de pasto estimula a atividade biológica do solo, pelo maior aporte de urina e fezes no sistema, pela maior carga animal utilizada neste manejo, e conseqüentemente, maior mineralização da MO. Esse efeito é ainda mais pronunciado no tratamento BA N-Pastagem, da qual recebeu N na fase de pastejo, resultando em uma intensificação desse processo.



**Figura 25.** Taxa diária de volatilização de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre dias após aplicação de N e altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Além disso, pastagem manejada em menor altura de pasto (BA=14cm) também possui menor relação C/N aumentando a atividade biológica do solo pela decomposição da palhada residual, promovendo maiores teores de C armazenados na forma de biomassa microbiana e contribuindo para uma maior ciclagem de nutrientes dentro do sistema. A ciclagem de nutrientes diminui custos de produção o que torna o sistema mais rentável, e sustentável a longo prazo. De acordo com Assmann (2001) e Bona Filho (2002), o índice de perdas de N em sistemas de ILP pode ser reduzido pela existência de maiores teores de matéria orgânica no solo, a qual contribui para a imobilização temporal do nutriente que, posteriormente, ficaria disponível para as próximas culturas.



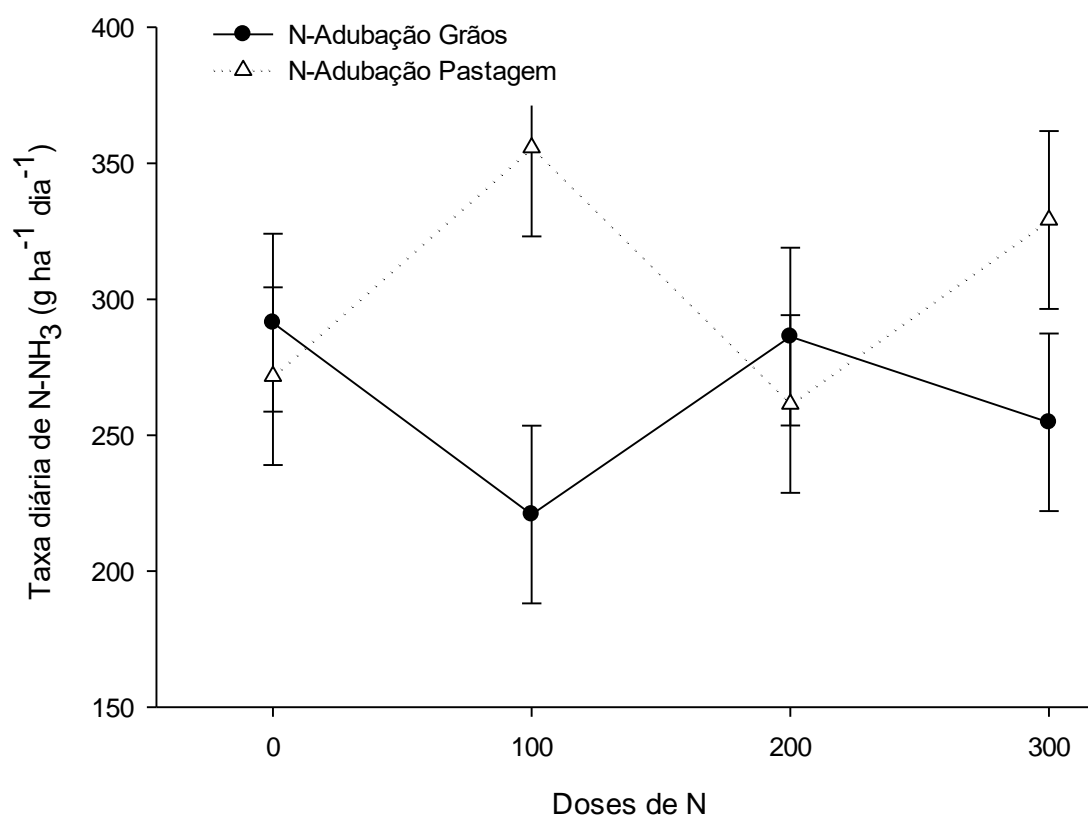
**Figura 26.** Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> oriunda do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e altura de pasto. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Em síntese, percebe-se que alterações no manejo da forragem irão interferir na deposição de matéria seca final e conseqüentemente em toda a

dinâmica da ciclagem de nutrientes. De acordo com Deifeld et al. (*no prelo*) os tratamentos apresentaram os seguintes valores de produção total de forragem: N-Adubação Pastagem AA=4591 kg de MS ha<sup>-1</sup>, N-Adubação Pastagem BA=4724 kg de MS ha<sup>-1</sup>, N-Adubação Grãos AA=3084 kg de MS ha<sup>-1</sup> e N-Adubação Grãos BA=2422 kg de MS ha<sup>-1</sup>, não havendo diferença significativa entre esses tratamentos. Para tanto, encontrou-se diferença significativa apenas entre os tratamentos N-Adubação Pastagem (4658 kg de MS ha<sup>-1</sup>) e N-Adubação Grãos (2753 kg de MS ha<sup>-1</sup>).

Neste caso, o tratamento N-Adubação Pastagem BA devido aplicação de N, aliado as condições de maior atividade biológica (entrada constante de fezes de urina), menor aporte de C (devido ao estresse produzido pelas questões climáticas), e material de fácil decomposição devido ao intenso pastejo, possivelmente tenha ocorrido uma intensificação na decomposição da MS residual e da matéria orgânica e com isso o N pode tornar-se passível de perdas. Uma vez que nessas parcelas visivelmente apresentavam menor quantidade de resíduo sobre o solo, vale ressaltar e como já destacado anteriormente, estas avaliações foram realizadas 43 dias após a dessecação da aveia, tempo hábil para que ocorra decomposição e o desaparecimento da palhada sobre o solo.

Também houve interação entre os fatores tempo de N e doses de N para a taxa diária de perdas (Figura 27). O N-Adubação Pastagem apresentou maiores perdas nas doses 100 e 300, não diferindo do tratamento N-Grãos nas demais doses.



**Figura 27.** Taxa diária de perda de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e doses de N. Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

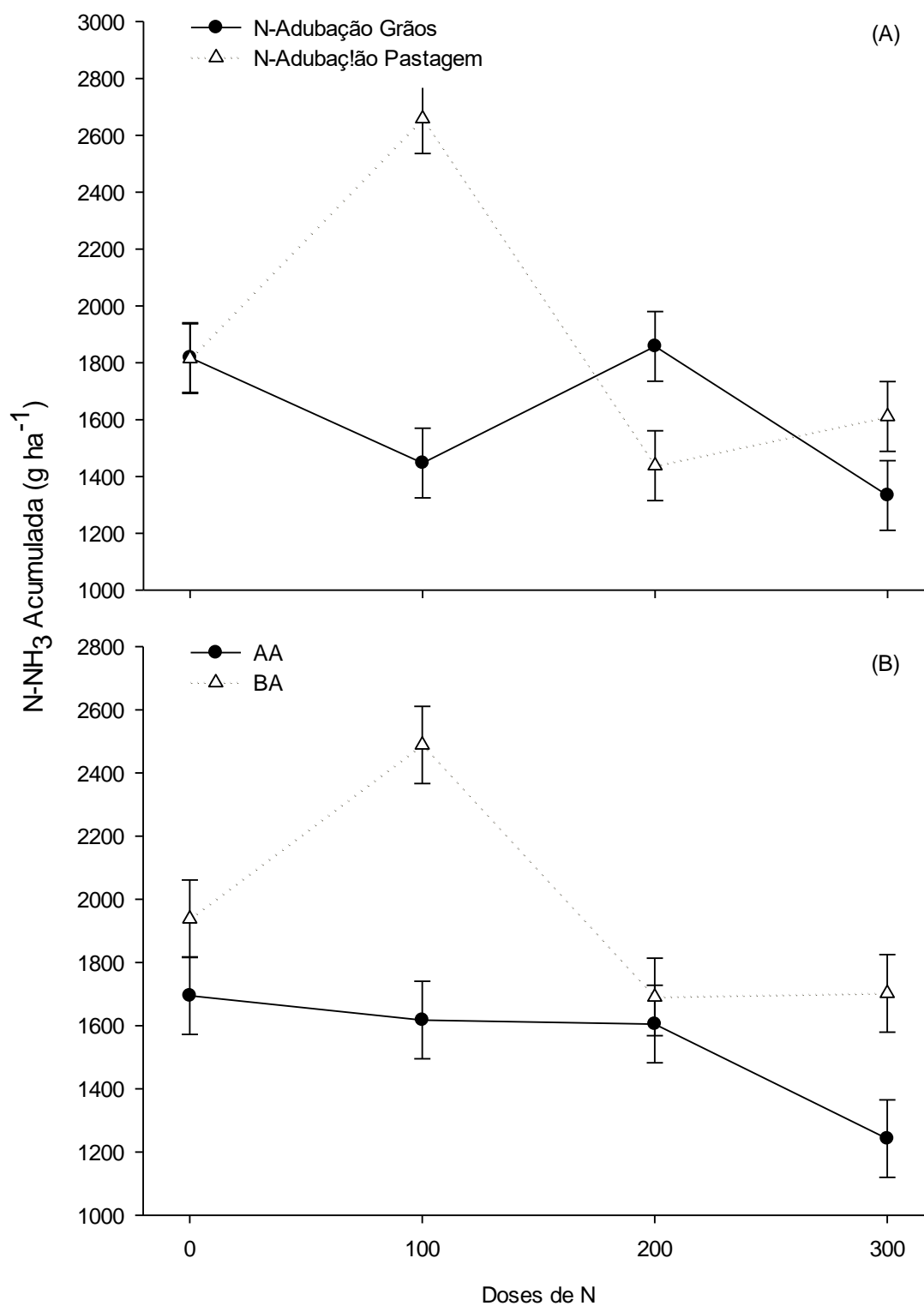
As condições climáticas desfavoráveis à produção de forragem no período de inverno, causaram baixa entrada de material residual (palhada), e conseqüentemente, de C ao sistema. O tratamento N-Adubação Pastagem recebeu 200 Kg de N na fase de condução da pastagem, e recebeu mais as doses crescentes de N nesta avaliação em função dos tratamentos aplicados às subparcelas. Pouco aporte de C aliado a altas taxas de aplicação de N, favoreceram a maior perda de N verificada neste tratamento. Cabe destacar que essas diferenças são pequenas, uma vez que as perdas acumuladas não foram elevadas. Aqui estamos falando de uma diferença de 200 g ha dia<sup>-1</sup> entre um tratamento e outro, o que não é representativo quando comparado com alguns sistemas de produção.

Para as diferenças entre as doses de N encontradas entre os tratamentos, N-Adubação Grãos e N-Pastagem, aparentemente não se tem uma

explicação plausível, pois, esperava-se que quanto maior a dose de N aplicada maior seriam as perdas, ou talvez, que essas pudessem ser menores devido a imobilização do N na biomassa microbiana. No entanto, o que se observa é que estes resultados não seguem um padrão de resposta, o que torna difícil chegar a uma justificativa técnica e científica, sem a realização de avaliações mais específicas em cada uma das subparcelas.

Entretanto, considerando que as subparcelas são alocadas sempre no mesmo local em função do croqui do experimento, o que se supõe é que na dose 100 Kg de N ha<sup>-1</sup>, a maior perda seja devido a uma rápida utilização do N aplicado em função da decomposição da MO disponível e mineralização imediata do N. Por outro lado, na maior dose (300 Kg de N ha<sup>-1</sup>) é possível que este N fique imobilizado, mas que já tenha um excesso de N no sistema, sendo então liberado. Cabe destacar que estes tratamentos receberam N no período de inverno, na fase pastagem. Já na dose 200 Kg de N ha<sup>-1</sup>, é possível que ocorra um equilíbrio entre o N e C disponível, imobilizando o N temporariamente. Esse comportamento também é verificado na figura 28 B, dando suporte a esta hipótese.





**Figura 28.** Perda acumulada de N-NH<sub>3</sub> oriundo do N aplicado na cultura do milho, interação entre tempo de N e doses de N (A), e interação entre altura de pasto e doses de N (B). Abelardo Luz – SC. Pato Branco, 2018. \*Abreviações: AA=alta altura; BA=baixa altura. Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Para os valores acumulados de perdas de N-NH<sub>3</sub> na cultura do milho, foi constatada interação significativa entre os fatores tempo de adubação-N e doses de N (P=0,0000), e entre altura de pasto e doses de N (P=0,0102), figura 28. As perdas acumuladas (Figura 28 A) seguiram o mesmo comportamento para a taxa diária de perdas (Figura 27), porém, neste caso, ocorreu diferença também na dose 200 Kg de N ha<sup>-1</sup>, onde a maior perda foi verificada no tratamento N-Adubação Grãos. Apesar de constatadas essas diferenças as mesmas não são expressivas e, portanto sugere-se que em sistemas de ILP quando bem manejados aumentam a eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados.

O tratamento BA, manteve-se sempre com valores de perdas acima do AA, diferindo nas doses 100 e 300 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 28 B). Isso confirma os resultados já discutidos, onde o manejo de BA de pasto aumenta a ciclagem de nutrientes, além de que, há a entrada de N no sistema vai fezes e ruína, o que pode ter favorecido a mineralização do N e com isso, as perdas de N. Já no tratamento AA de pasto, evidenciou-se comportamento decrescente, ou seja, à medida em que as doses de N aumentaram as perdas diminuíram, isso pode estar atrelado ao maior aporte de C, e de material mais recalcitrante de difícil decomposição. Áreas não pastejadas ou de menor intensidade de pastejo tem tendência de possuir maior quantidade de fitomassa e de maior relação C/N.

No entanto, diante da complexidade que envolve os sistemas de ILP, alguns comportamentos são difíceis de explicar e portanto, avaliações mais específicas com maior número de variáveis devem ser estudadas, para que se possa melhor compreender todos os processos que atuam e influenciam nas perdas de N pelo processo de volatilização.

Constata-se ainda que as diferenças encontradas entre os tratamentos não influenciaram na produtividade do milho, de acordo com Totto (*no prelo*), houve apenas diferença entre a dose 0 (zero) na interação entre doses e tempo de N, da qual apresentaram os seguintes valores de produtividade: N-Adubação Pastagem Dose 0 = 13.633,5 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Pastagem Dose 100= 14.356,2 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Pastagem Dose 200= 15.053,1 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Pastagem Dose 300= 15.292,6 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Grãos Dose 0= 9.692,17 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Grãos Dose 100= 14.614,1 kg ha<sup>-1</sup>; N-Adubação Grãos Dose 200= 15.139,2 kg ha<sup>-1</sup>;

N-Adubação Grãos Dose 300= 16.277,7 kg ha<sup>-1</sup>. Portanto esses resultados vão ao encontro dos resultados encontrados por Viero et al. (2017) e por Fontoura e Bayer (2010) da qual encontraram maiores perdas de amônia na aplicação de N na forma de ureia, mas isso não refletiu em menores produtividades na cultura do milho.

### 3. 4 CONCLUSÕES

Em ambas as fases de cultivo (aveia-pastagem e milho) as perdas acumuladas por volatilização de amônia provocadas pela adubação nitrogenada (ureia) foram mínimas, sendo inferiores a 1,1 % na fase de pastejo. Na fase de cultivo de milho a perda máxima de volatilização amônia acumulada observada foi de 4,0 %. Uma maior pressão de pastejo, aplicada na pastagem cultivada anteriormente, aliada a aplicação de N na fase grãos resultou em maiores perdas por volatilização da amônia durante a fase de cultivo do milho.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo é decorrente de um projeto de longa duração em ILP, sendo realizadas estas avaliações no quarto e quinto ano do início da implantação do experimento. Neste sistema os efeitos da ciclagem de nutrientes e da adubação de sistemas são evidenciados, devido ao aumento do teor de MO e de outras características inerentes a fertilidade do solo.

Sabendo da complexidade que envolvem os sistemas de ILP, o estudo de perdas de N pelo processo de volatilização de amônia se torna importante, uma vez que possibilita adotar estratégias de aplicação de N que minimizem as perdas deste nutriente. Assim, a condução do presente estudo por dois anos consecutivos em quatro ciclos produtivos, com diferentes arranjos na rotação de culturas, além de condições climáticas diversas encontradas neste trabalho, comprovam que sistemas integrados de produção quando bem manejados, ainda que ocorra intemperes no decorrer do ciclo das culturas, este se torna mais eficiente no uso de fertilizantes. E comprova ainda que as perdas podem ser minimizadas neste sistema, mesmo com aplicação de ureia em superfície.

Estudos complementares às utilizadas neste trabalho também devem ser consideradas a fim de melhor responder os resultados encontrados, devido à complexidade que envolve o sistema de ILP. Dessa forma, em estudos futuros deve-se levar em considerações variáveis como; umidade do solo no momento da aplicação de N; atividade biológica; quantidade de palhada residual; relação C/N; temperatura do solo; e o  $\text{NH}_4^+$  disponível em solução.

Compreender os processos que envolvem o sistema de ILP, seja o solo, a planta ou animal ou as interações que ocorrem entre esses componentes é uma necessidade para incrementar ganhos ao produtor rural, diminuir entradas e saídas minimizando assim, os impactos aos recursos naturais tornando-o sustentável a longo prazo.

Dessa forma, o manejo de adubação em ILP no período de inverno é fundamental para o sucesso do sistema. Ganhos em produtividade neste período são indiscutíveis, bem como melhorias na fertilidade do solo pela maior ciclagem de nutrientes, além da possibilidade de produzir qualquer cultura no verão sem a

necessidade de adubação.

Portanto, em quatro cultivos realizados no sistema de integração lavoura-pecuária, as baixas perdas por volatilização de amônia resultante de adubação nitrogenada aplicada na forma de ureia, não justificam a substituição desta fonte nitrogenada por outras fontes protegidas, as quais via de regra apresentam um custo mais elevado.

**REFERÊNCIAS**

AIOLFI, R.B. **Intensidade de pastejo e adubação nitrogenada podem influenciar a eficiência de um sistema de integração lavoura-pecuária?** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. *no prelo*

AIOLFI, R.B.; SCHMITT, D.; CANDIOTTO, L.; CANDIOTTO, F.; ZANELLA, C.R.; SOARES, A. B. Heterogeneidade da palhada de uma pastagem de azevém sob diferentes alturas de manejo e adubação nitrogenada. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017.

AL-KANANI, T.; MACKENZIE, A.F.; BARTHAKUR, N.N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. **Soil Science Society American Journal, Madison**, v.55, p.1761-1766, 1991.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M de.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711–728, 2013.

ALVES, A. C. **Métodos para quantificar a volatilização de N-NH<sub>3</sub> em solo fertilizado com ureia.** 2006. 41p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2006.

ALVES, A.C. **Perdas de amônia por volatilização e emissão foliar em pastagem adubado com fontes de nitrogênio.** 2009. 70 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de São Paulo, Pirassununga, 2009.

ALVES, R. C.; BREMM, C.; NUNES, C. L. R.; BARRO, R.S.; NETO, A.B.; SCHONS, R.M.T.; CAETANO, L.A.M.; CARVALHO, P.C. de F. Suprimento de nitrogênio para culturas de verão pela aplicação antecipada em azevém pastejado por ovinos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p.1406-1415, 2015.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.1, p.179-189, 2000.

ANDRADE, A..A. **Dinâmica da composição da palhada de aveia preta e azevém no sistema de integração lavoura-pecuária.** 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) –Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

ASSMANN, T. S. **Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema de plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio.** 2001. 63 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

ASSMANN, T.S.; SOARES, A.B.; ASSMANN, A.L.; HUF, F.L., LIMA, R.C. de. **Adução de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária**. In: JAMHOUR, Jorge; ASSMANN, Tangriani Simioni (Org.). Palestras: intensificação com sustentabilidade. Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária, 1.; Encontro de Integração Lavoura-Pecuária no Sul do Brasil, 4. 2017. Cascavel. Pato Branco: UTFPR Câmpus Pato Branco, 2017. p. 67–84.

BAUER, A.; COLE, C.V.; BLACK, A.L. Soil property comparisons in virgin grassland between grazed and nongrazed management systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, p. 176-182, 1987.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a Sandy clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p.101-109, 2000.

BERNARDON, A. **Altura do pasto e adubação nitrogenada sobre a produção de forragem e eficiência no uso de nutrientes em sistema de integração lavoura-pecuária**. 2016. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

BISSANI, C.A.; GIANELO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. Nitrogênio e Adubos nitrogenados. In: BISSANI, C.A.; GIANELO, C.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J. (Ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. 3 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 145–168.

BLACK, A.S.; SHEROLOCK, R.R.; SMITH, N.P. Effect of timing of simulated rainfall on ammonia volatilization from urea applied to soil of varying moisture content. **Journal of Soil Science**, v. 38, p. 679-688, 1987.

BONA FILHO, A. **Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio**. 2002. 105 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G. & STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p.376-381, 1985.

CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da ureia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14. p. 345-352, 1990.

CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da ureia aplicada ao solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, 14:345-352, 1990.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, p. 375-470, 2007.

CANTARELLA, H.; MATTOS Jr., D.; QUAGGIO, J. A.; RIGOLIN, A. T. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.67, p.215-223, 2003.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J. & RESENDE, L.C.L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 7., Londrina, 1999. **Anais...** Álcool Subpr., Londrina, 1999. p.82-87.

CHAGAS, P. H. M.; GOUVEIA, G. C. C.; COSTA, G. G. S.; BARBOSA, W. F. S.; ALVES, A.C. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 2, p. 76-80, 2017.

CLAY, D.E.; MALZER, G.L.; ANDERSON, J.L. Ammonia volatilization from urea as influenced by soil temperature, soil water content, and nitrification and hydrolysis inhibitors. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 263-66, 1990.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFSRS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ed. Porto Alegre: [s.n.] 2004. 400p.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana de açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 631-637, 2003.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p.799-805, 2005.

DAL MOLIN, S. J. **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, Lages, 2016.

DEIFELD, F.L.C.; SOARES, A.B.; ZORTA, T.; TATTO, W.H.; ZATTA, A.C.; MENSOR, M.; SHMMITT, D.; KAGIMURA, L.T.; MISSIO, R.L.; CANDIOTTO, L. Produção de forragem de aveia preta, manejada sob diferentes alturas e adubação



de sistemas. In: II Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Rondonópolis, *no prelo*.

DORNELES, E.P.; LISBOA, B.B.; ABICHEQUER, A.D.; BISSANI, C.A.; MEURER, E.G.; VARGAS, L.K. Tillage, fertilization systems and chemical attributes of Paleudult. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 02, p.175-186, 2015.

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

ERNST, J.W. & MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.24, p.87-90, 1960.

FARIA, L.A.; NASCIMENTO, C.A.C.; VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C.; GUEDES, E.M.S. Loss of ammonia from nitrogen fertilizers applied to maize and soybean straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 969-975, 2013.

FENN, L.B.; KISSEL, D. E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: I. General theory. **Soil Science Society of America Journal**, v.37, n.6, p. 855-859, 1973.

FERGUSON, R.B.; KISSEL, D.E.; KOELIKER, J.K.; BASEL, W. Ammonia volatilization from surface-applied urea: Effect of hydrogen ion buffering capacity. **Soil Science Society of America Journal**, v.2, p.578-582, 1984.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 5 ed., 2011. p.734

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 Ciência do Solo**, v. 34, p. 1677-1684, 2010.

FRANZEN, D. W. **Nitrogen Extenders and Additives for Field Crops**. NDSU Extension Soil Specialist, NCERA-103 Committee, North Dakota State University, 2017. Disponível em: <https://www.ag.ndsu.edu/publications/crops/nitrogen-extenders-and-additives-for-field-crops/sf1581.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2018.

HARRISON, R.; WEBB, J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy**, v.73, p.65-108, 2001.

HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H. Influence of stock camping behavior on the soil microbiological and biochemical properties of grazed pastoral soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 28, p.253- 258, 1999.

HOLCOMB, J.C.; SULLIVAN, D.M.; HORNECK, D.A.; CLOUGH, G.H. Effect of irrigation rate on ammonia volatilization. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, n. 6, p. 2341-2347, 2011.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION - IFA. IFADATA. France: International Fertilizer Association, 2018. Disponível em: <http://ifadata.fertilizer.org/ucResult.aspx?temp=20180208124903>. Acesso em: 08 fev. 2018.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2 ed., 2011. p. 431

KISSEL, D. E.; CABRERA, M. L.; PARAMASIVAM, S. Ammonium, ammonia and urea reactions in soils. IN: Nitrogen in agricultural systems, Agronomy Monograph 49. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. 2008.

KISSEL, D.E.; M.L. CABRERA, N. VAIO.J.R. CRAIG, J.A. REMA, LA. MORRIS. 2004. Rainfall timing and ammonia loss from urea in a loblolly pine plantation. *Soil Sei. Soc. Am.J.* 68:1744- 1750, 2004.

KITUR, B.K.; SMITH, M.S.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W. Fate of 15N-depleted ammonium nitrate applied to no-tillage corn. **Agronomy Journal**, v.76, n.2, p.240-242, 1984.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; THUNG, M.; OLIVEIRA, F. R. de A. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 187). 2005.

LANG, C. R. **Pastejo e nitrogênio afetando atributos da fertilidade do solo e rendimento de milho em sistema de integração lavoura e pecuária**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KONDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.

LARA CABEZAS, W. A. R.; YAMADA, T. Ureia aplicada na superfície do solo: um péssimo negócio! **Informações Agrônômica**, v.86, p.9-10, 1999.

LEÃO, A. F. **Redutores de volatilização do nitrogênio da ureia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semi-aberto estático**. 2008. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiás. 2008.

LOPES, A.S., GUILHERME, L.R.G. Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: **Aspectos agronômicos**. São Paulo, ANDA, 2000.

MARTHA JUNIOR, G. B. **Produção de forragem e transformação do nitrogênio do fertilizante em pastagem irrigada de capim Tanzânia**. 2003. 149 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v.181, n.1, p.71-82, 1996.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; BLOCH, M.F. **Análise química de tecido vegetal**. Circular 74. Londrina: IAPAR, 1992, 17p.

MORAES, A.; CARVALHO, P.C. de F.; LUSTOSA, S.B.C.; LANG, C.R.; DEISS, L. Research on Integrated Crop-Livestock Systems in Brazil: A viewpoint. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n.5, p. 1024-1031, 2014.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In.: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 6., 1952. **Proceedings...** Pennsylvania: State College Press, p. 1380-1395, 1952.

OLIVEIRA, P.P.A. **Manejo da calagem e da fertilização nitrogenada na recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria* sp. em solos arenosos**. 2001. 110p. Tese (Doutorado em Ciências), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

OLIVEIRA, P.P.A.; BOARETTO, A.E.; TREVÉLIN, O.C.O.; OLIVEIRA, W.S. de; CORSI, M. Liming and fertilization to restore degraded *Brachiaria decumbens* pastures grown on an entisol. **Scientia Agricola**, v.60, n.1, p.125-131, 2003.

PEREIRA, H.S.; LEO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1685-1694, 2009.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. de A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. da; FREITAS, A. R. de; VIVALDI, L. J. Adubação nitrogenada em capim-Coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVEI, A. C.; CANTARELLA, H.; ARMLIN, M. J. A.; SILVA, A. G.; FREITAS, A.R. **Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon***

**dactylon cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. p.42. (Circular Técnica, 30). 2001.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba:Potafos/Ceres, 1991. 285p.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2011. p. 420

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: Interações e aplicações.** Brasília/Lavras/Piracicaba, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.

RHODEN, A. C.; LIMA, R.C. de; MENSOR, M.; TONET, R.; BARRIGA, B.A.P.; ASSMANN, T. S. Adubação de sistema: produtividade do feijoeiro em integração lavoura-pecuária de longa duração. In: I Congresso Brasileiro de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária. **Anais...** Cascavel, 2017.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; GASSER, M.-O.; MACDONALD, J.D.; PELSTER, D.E.; BERTRAND, N. NH<sub>3</sub> volatilization, soil NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentration and soil pH following subsurface banding of urea at increasing rates. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 93, p. 261-268, 2013.

RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de ureia em diferentes doses e modos de aplicação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p.37-43, 1986.

ROJAS, C. A. L.; BAYER, C. FONTOURA, S.M.V.; WEBER, M.A.; VIEIRO, F. Ammonia volatilization from urea as affected by tillage systems ad winter cover crops in the south central region of Parana. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 261-270, 2012.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W.M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, p. 70-79, 2014.

SANDINI, I. E.; MORAIS, A. de; PELISSARI, A.; NEUMANN, M.; FALBO, M.K.; NOVAKOWISKI, J.H. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração o lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, p.1315-1322, 2011.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; OLIVEIRA, J.B.; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013.

SILVA, D. F. da; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; SOUZA, G. L. O. D. de; MOTA, M. F. C. Volatilização de amônia do solo após doses de ureia com inibidores de urease e de nitrificação na cultura do abacaxi. **Revista Ceres**, v.64, n.3, p.327-335, 2017.

SINGH, R.S.; RAGHUBANSHI, A.S.; SINGH, J.S. Nitrogen mineralization in dry tropical savanna: Effects of burning and grazing. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.269-273, 1991.

SOUZA, E.D. de; COSTA, S.E.V.G. de A.; LIMA, C.V.S. de; CARVALHO, P.C. de F.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.79-88, 2010.

TASCA, F.A.; ERNANI, P.R.; ROGERI, D.A.; GATIBONI, L.C.; CASSOL, P.C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 496-502, 2011.

TATTO, W.H. **Adubação de sistemas: estratégias sustentáveis para utilização de nitrogênio em sistema de integração lavoura-pecuária**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco. *no prelo*

TOWNSEND, C. R. **Nitrogênio em sistemas pastoris**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2011. p.29. (Embrapa Rondônia. Documentos, 138). 2011.

VARGAS, L.K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em sistemas de manejo do solo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.411-417, 1998.

VARGAS, L.K.; SELBACH, P.A.; SÁ, E.L.S. Imobilização de nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão à aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 35, n.1, p. 76-83, 2005.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; ZANATTA, J.A.; BISSANI, C.A. Long-term acidification of a Brazilian Acrisol as affected by no till cropping systems and nitrogen fertilizer. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p.17-26, 2008.

VIEIRO, F.; BAYER, C.; VIEIRA, R.C.B.; CARNIEL, E. Management of irrigation and nitrogen fertilizers to reduce ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1737-1743, 2015.

VIERO, F.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; MORAES, R.P. Ammonia volatilization from nitrogen fertilizers in no-till wheat and maize in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38 n.5, p.1515-1525, 2014.

VIERO, F.; CORREIA, S.L.; MENEGATI, G.B.; SILVA, P.R.F.; BAYER, C.; CARNIEL E. Redução de perdas de nitrogênio por volatilização pelo uso de inibidor de urease e manejo da irrigação em milho. **Informações Agronômicas**, v. 139, p.18-20, 2012.

VITTI, G.C.; TAVARES, J.E.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L.; COSTA, M.C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com ureia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 663-671, 2002.

ZAVASCHI, E.; FARIA, L. A.; VITTI, G. C.; NASCIMENTO, C. A. C.; MOURA, T. A.; VALE, D. W.; MENDES, F. L.; KAMOGAWA, M. Y. Ammonia volatilization and yield components after application of polymer-coated urea to maize. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1200-1206, 2014.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Análise da variância das perdas de amônia na cultura do azevém pelo programa Statgraphics.

1.1 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Taxa diária

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	770612,	6	128435,	5,69	0,0000
B:Tempo de N	436065,	1	436065,	19,31	0,0000
C:Altura de Pasto	81038,2	1	81038,2	3,59	0,0612
D:Bloco	4127,78	2	2063,89	0,09	0,9127
INTERACTIONS					
AB	446148,	6	74358,0	3,29	0,0055
AC	103149,	6	17191,5	0,76	0,6022
BC	4103,6	1	4103,6	0,18	0,6709
ABC	106970,	6	17828,3	0,79	0,5804
RESIDUAL	2,1682E6	96	22585,5		
TOTAL (CORRECTED)	4,78214E6	125			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

1.2 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Acumulado

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	6,96006E7	6	1,16001E7	25,19	0,0000
B:Tempo de N	9,32931E6	1	9,32931E6	20,26	0,0000
C:Altura de Pasto	2,67809E6	1	2,67809E6	5,82	0,0178
D:Bloco	30572,9	2	15286,4	0,03	0,9674
INTERACTIONS					
AB	1,2862E7	6	2,14367E6	4,66	0,0003
AC	2,11092E6	6	351820,	0,76	0,5999
BC	141345,	1	141345,	0,31	0,5808
ABC	368317,	6	61386,1	0,13	0,9917
RESIDUAL	4,42033E7	96	460451,		
TOTAL (CORRECTED)	1,75197E8	125			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

**Anexo 2.** Análise da variância das perdas de amônia na cultura do feijão pelo programa Statgraphics.

2.1 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Taxa diária

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	2,78974E6	6	464957,	24,99	0,0000

B:Tempo de N	74339,9	1	74339,9	4,00	0,0468
C:Altura de Pasto	80071,8	1	80071,8	4,30	0,0391
D:Doses	155494,	3	51831,4	2,79	0,0415
E:Blocos	2677,04	2	1338,52	0,07	0,9306
INTERACTIONS					
AB	36914,5	6	6152,42	0,33	0,9204
AC	66269,6	6	11044,9	0,59	0,7354
AD	1,65015E6	18	91675,0	4,93	0,0000
BC	60132,9	1	60132,9	3,23	0,0735
BD	81364,8	3	27121,6	1,46	0,2268
CD	74454,0	3	24818,0	1,33	0,2640
ABC	101305,	6	16884,2	0,91	0,4902
ABD	297634,	18	16535,2	0,89	0,5929
ACD	327616,	18	18200,9	0,98	0,4857
BCD	38292,8	3	12764,3	0,69	0,5614
RESIDUAL	4,46589E6	240	18607,9		
TOTAL (CORRECTED)	1,03023E7	335			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## 2.2 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Acumulado

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	2,51995E8	6	4,19992E7	162,63	0,0000
B:Tempo de N	7,58161E6	1	7,58161E6	29,36	0,0000
C:Altura de Pasto	6,94696E6	1	6,94696E6	26,90	0,0000
D:Doses	9,91916E6	3	3,30639E6	12,80	0,0000
E:Blocos	39582,9	2	19791,4	0,08	0,9263
INTERACTIONS					
AB	757733,	6	126289,	0,49	0,8163
AC	1,30849E6	6	218081,	0,84	0,5367
AD	1,19911E7	18	666173,	2,58	0,0006
BC	6,91359E6	1	6,91359E6	26,77	0,0000
BD	6,1558E6	3	2,05193E6	7,95	0,0000
CD	1,0097E7	3	3,36566E6	13,03	0,0000
ABC	950895,	6	158483,	0,61	0,7193
ABD	2,86593E6	18	159218,	0,62	0,8854
ACD	1,93137E6	18	107299,	0,42	0,9839
BCD	863851,	3	287950,	1,11	0,3437
RESIDUAL	6,1981E7	240	258254,		
TOTAL (CORRECTED)	3,82299E8	335			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Anexo 3. Análise da variância das perdas de amônia na cultura da aveia pelo programa Statgraphics.

### 3.1 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Taxa diária



Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	1,14086E6	6	190144,	28,62	0,0000
B:Tempo de N	47840,0	1	47840,0	7,20	0,0088
C:Altura de Pasto	2377,82	1	2377,82	0,36	0,5513
D:Bloco	27238,0	2	13619,0	2,05	0,1351
INTERACTIONS					
AB	146784,	6	24463,9	3,68	0,0027
AC	8940,46	6	1490,08	0,22	0,9679
AD	106041,	12	8836,78	1,33	0,2172
BC	3246,15	1	3246,15	0,49	0,4864
BD	5727,43	2	2863,72	0,43	0,6512
CD	16189,2	2	8094,62	1,22	0,3008
ABC	66795,4	6	11132,6	1,68	0,1370
ABD	121024,	12	10085,3	1,52	0,1337
ACD	52541,9	12	4378,5	0,66	0,7851
BCD	2347,56	2	1173,78	0,18	0,8383
ABCD	92827,2	12	7735,6	1,16	0,3219
RESIDUAL	557988,	84	6642,72		
TOTAL (CORRECTED)	2,39877E6	167			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

### 3.2 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Acumulado

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	7,62979E7	6	1,27163E7	117,07	0,0000
B:Tempo de N	2,4065E6	1	2,4065E6	22,15	0,0000
C:Altura de Pasto	64018,2	1	64018,2	0,59	0,4448
D:Bloco	979443,	2	489722,	4,51	0,0138
INTERACTIONS					
AB	2,39578E6	6	399297,	3,68	0,0027
AC	41843,8	6	6973,97	0,06	0,9989
AD	1,1225E6	12	93541,7	0,86	0,5885
BC	154673,	1	154673,	1,42	0,2361
BD	72197,3	2	36098,6	0,33	0,7182
CD	515191,	2	257595,	2,37	0,0996
ABC	256339,	6	42723,1	0,39	0,8814
ABD	396200,	12	33016,6	0,30	0,9871
ACD	433057,	12	36088,1	0,33	0,9811
BCD	564189,	2	282095,	2,60	0,0805
ABCD	261469,	12	21789,0	0,20	0,9981
RESIDUAL	9,12424E6	84	108622,		
TOTAL (CORRECTED)	9,50856E7	167			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

**Anexo 4.** Análise da variância das perdas de amônia na cultura do milho pelo programa Statgraphics.

4.1 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Taxa diária

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	7,49441E6	6	1,24907E6	27,84	0,0000
B:Tempo de N	142759,	1	142759,	3,18	0,0758
C:Altura de Pasto	201754,	1	201754,	4,50	0,0351
D:Doses de N	15949,8	3	5316,59	0,12	0,9492
E:Bloco	52439,6	2	26219,8	0,58	0,5583
INTERACTIONS					
AB	517531,	6	86255,2	1,92	0,0782
AC	753469,	6	125578,	2,80	0,0121
AD	1,99387E6	18	110771,	2,47	0,0011
BC	81,6763	1	81,6763	0,00	0,9660
BD	376991,	3	125664,	2,80	0,0408
CD	152008,	3	50669,3	1,13	0,3380
ABC	379344,	6	63224,0	1,41	0,2120
ABD	653199,	18	36288,8	0,81	0,6889
ACD	1,30959E6	18	72755,2	1,62	0,0563
BCD	78151,9	3	26050,6	0,58	0,6283
ABCD	719408,	18	39967,1	0,89	0,5902
RESIDUAL	9,95938E6	222	44862,1		
TOTAL (CORRECTED)	2,48003E7	335			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

4.2 Análise de Variância para NH<sub>3</sub> – Acumulado

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:DAU	4,94271E8	6	8,23785E7	130,42	0,0000
B:Tempo de N	5,97105E6	1	5,97105E6	9,45	0,0024
C:Altura de Pasto	1,44723E7	1	1,44723E7	22,91	0,0000
D:Doses de N	1,54496E7	3	5,14986E6	8,15	0,0000
E:Bloco	1,1334E7	2	5,66699E6	8,97	0,0002
INTERACTIONS					
AB	2,25311E6	6	375518,	0,59	0,7346
AC	1,64021E6	6	273368,	0,43	0,8565
AD	7,44058E6	18	413366,	0,65	0,8530
BC	2,96578E6	1	2,96578E6	4,70	0,0313
BD	3,01757E7	3	1,00586E7	15,93	0,0000
CD	7,30661E6	3	2,43554E6	3,86	0,0102
ABC	786119,	6	131020,	0,21	0,9742
ABD	9,56104E6	18	531169,	0,84	0,6506
ACD	9,24608E6	18	513671,	0,81	0,6838
BCD	1,93727E6	3	645757,	1,02	0,3835
ABCD	4,50007E6	18	250004,	0,40	0,9877
RESIDUAL	1,40219E8	222	631618,		
TOTAL (CORRECTED)	7,5953E8	335			

All F-ratios are based on the residual mean square error.