

LUIZA FERNANDA ERDMANN

**INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO DE LEITE NA
FERTILIZAÇÃO DE PASTAGEM**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da
Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito para
obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Cassol

LAGES, SC

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Erdmann, Luiza Fernanda
INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO
BOVINO DE LEITE NA FERTILIZAÇÃO DE PASTAGEM /
Luiza Fernanda Erdmann. -- 2020.
134 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol
Coorientador: Luciano Colpo Gatiboni
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. Adubação Orgânica. 2. Dejeito Bovino. 3. Injeção. 4.
Pastagem. I. Cassol, Paulo Cezar. II. Gatiboni, Luciano Colpo. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

LUIZA FERNANDA ERDMANN

**INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO DE LEITE NA
FERTILIZAÇÃO DE PASTAGEM**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo.

Banca examinadora:

Orientador: _____

Dr. Paulo Cezar Cassol
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro: _____

PhD. Paulo Roberto Ernani
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro: _____

Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro: _____

Dr. Djalma Eugênio Schmitt
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Membro: _____

Dra. Analu Mantovani
Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC)

Lages, fevereiro de 2020.

Dedico este trabalho à minha família, especialmente aos meus pais Arno e Débora e minha irmã Julia, pelo amor, carinho e incentivo, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela saúde, sabedoria e por me iluminar nos momentos difíceis desta caminhada.

Aos meus pais Arno Erdmann Neto e Débora Regina Pereira por todo apoio que me deram para os estudos em toda minha vida.

À minha irmã Júlia Maria Erdmann.

À toda minha família e antepassados.

Ao meu orientador Dr. Paulo Cezar Cassol pelas orientações e amizade.

Aos Professores da UDESC pelo conhecimento passado.

Aos meus colegas do Laboratório de Química e Fertilidade do solo pelos auxílios em análises com experiências passadas e a convivência do dia-a-dia.

Aos bolsistas Andrei, Brenda e Helen, pela ajuda a campo e análises no laboratório.

Aos colegas de outros laboratórios e disciplinas pelos empréstimos de materiais e ajuda em análises.

À Universidade do Estado de Santa Catarina pelo ensino de qualidade.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Aos funcionários e motoristas da UDESC.

A todas as pessoas que de alguma forma vieram a contribuir para minha formação.

Obrigada a todos!

RESUMO

ERDMANN, Luiza Fernanda. **INFLUÊNCIA DOS MODOS DE APLICAÇÃO DE DEJETO BOVINO DE LEITE NA FERTILIZAÇÃO DE PASTAGEM**. 2020. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Lages, 2020.

O uso do dejetos líquido bovino (DLB) gerado nas instalações da pecuária é uma alternativa para a adubação de pastagens. Todavia, novas alternativas de manejo precisam ser implementadas para que se possa aproveitar todo o potencial fertilizante deste resíduo orgânico. Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de doses de DLB como fertilizante de pastagem quando injetado no solo em relação à sua aplicação superficial e também à adubação mineral. O trabalho compreendeu dois estudos realizados a campo durante dois anos no município de Lages – SC com pastagem em simulação de pastejo sobre um CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico. No estudo 1, o experimento compreendeu um esquema fatorial 6x2, sendo seis fertilizações: a testemunha, sem fertilização; o fertilizante mineral (FM); o DLB nas doses de 50, 100 e 150 m³ ha⁻¹, e uma fertilização organomineral com 50 m³ ha⁻¹ de DLB complementado com FM; em dois modos de aplicação dos fertilizantes: superficial e injetado. O delineamento foi de blocos completos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas e quatro repetições. As fertilizações foram as parcelas e os modos de aplicação as subparcelas. Foram cultivados milho e aveia preta, onde se mensurou a matéria seca (MS) e os atributos químico-bromatológicos das forrageiras. Também, foram coletadas amostras do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, nas quais foram determinados o pH e os teores de macro e micronutrientes. A injeção do DLB no solo aumentou a MS de milho em relação à aplicação superficial, mas para o FM ocorreu o inverso. A injeção dos fertilizantes aumentou os teores de proteína bruta, gordura bruta, nitrogênio e potássio na pastagem milho, mas diminuiu o teor de fósforo. De modo geral, o tratamento DLB+FM apresentou os melhores resultados na produção de MS e nos atributos químico-bromatológico do milho. Na aveia, a injeção dos fertilizantes apresentou maior produção de MS em relação a aplicação superficial. Em geral, as fertilizações DLB+FM e FM aumentaram os teores dos atributos químico-bromatológico da aveia preta. O FM diminuiu o pH em relação ao DLB, enquanto o DLB150 apresentou os maiores teores de K e P. A injeção diminuiu o pH, mas aumentou os teores de Ca e P na camada de 0 a 10 cm, enquanto a aplicação superficial aumentou os teores de Mg na camada de 0 a 2,5 cm. No estudo 2, avaliou-se a perda de N por volatilização de amônia nos tratamentos: testemunha, FM e DLB na dose de 100 m³ ha⁻¹ nos modos de aplicação dos fertilizantes e em duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno, compreendendo um esquema fatorial 3x2x2. O delineamento foi em DBC com parcelas subdivididas e quatro repetições, sendo as diferentes fertilizações alocadas nas parcelas, os modos nas subparcelas e as épocas do ano nas subsubparcelas. A volatilização de NH₃ foi determinada por metodologia de câmara semiaberta. A volatilização total de NH₃ foi menor com o DLB injetado no solo e com o FM aplicado superficialmente. Assim, a injeção do DLB diminuiu as perdas de nitrogênio e aumentou a produção de MS das pastagens em relação a aplicação superficial.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Injeção. Valor nutritivo. Pastagem. Volatilização.

ABSTRACT

ERDMANN, Luiza Fernanda. **INFLUENCE OF THE METHODS OF APPLICATION OF BOVINE MILK SLURRY ON PASTURE FERTILIZATION.** 2020. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Lages, 2020.

The use of bovine milk slurry (BMS) generated in the livestock's installations is an alternative for the fertilization of pastures. However, new management's alternatives need to be implemented so that it can take all the fertilizing potential of this residue. Therefore, the objective of this work was to evaluate the effect of doses of BMS as a pasture fertilizer when incorporated into the soil in relation to its surface application and also to mineral fertilization. The work comprised two studies carried out in the field for two years in the city of Lages – SC with pasture in grazing simulation on a Humic Cambisol. In study 1, the experiment comprised a 6x2 factorial scheme, with six fertilizations: the control, without fertilization; the MF; the BMS at doses of 50, 100 and 150 m³ ha⁻¹, and an organomineral fertilization with 50 m³ ha⁻¹ of BMS complemented with MF; application of fertilizers in two modes: surface and incorporated. The design was a complete randomized block with subdivided plots and four replications. The fertilizations were the plots and the modes of application were the subplots. Millet and black oats were grown, where dry matter (DM) and pasture chemical-bromatological attributes were measured. Also, soil samples were collected in layers of 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, in which the pH and the levels of macro and micronutrients were determined. The incorporation of BMS in the soil increased the millet DM in relation to the superficial application, but for MF the opposite occurred. The incorporation of fertilizers also increased the levels of crude protein, crude fat, nitrogen and potassium in the millet pasture, but decreased the phosphorus content. In general, the BMS+MF treatment showed the best results in the production of DM and in the chemical-bromatological attributes of millet. In oats, the incorporation of fertilizers showed higher DM production in relation to surface application. In general, the BMS+MF and MF fertilizations promoted the highest levels of the chemical-bromatological attributes of black oats. As for the chemical attributes of the soil, the MF decreases the pH in relation to the BMS, while the BMS150 presented the highest levels of K and P. The incorporation decreases the pH, but increased the contents of Ca and P in the layer from 0 to 10 cm, while the superficial application increased the contents of Mg in the layer from 0 to 2.5 cm. In study 2, the loss of N by volatilization of ammonia was evaluated in the treatments: control, MF and BMS at a dose of 100 m³ ha⁻¹ in the fertilizer application modes and in two collection periods: spring/summer and autumn/winter, being a 3x2x2 factorial scheme. The design was a complete randomized block with subdivided plots and four replications, being the different fertilizations allocated in the plots, the modes in the subplots and the times of the year in the subsubplots. The volatilization of NH₃ was determined by a semi-open chamber methodology. The total volatilization of NH₃ was lower with the BMS incorporated in the soil and with the FM applied superficially. Thus, for BMS, the application incorporated in the soil was the most appropriate technique for greater efficiency in fertilizing pastures.

Keyword: Organic fertilization. Incorporation. Nutritional value. Pasture. Volatilization.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Temperatura média (°C) e precipitação total (mm) nos meses ocorridos durante a condução do experimento (ano 2018 e 2019). As barras representam a precipitação e as linhas representam a temperatura.....47
- Figura 2 - Equipamento desenvolvido para injeção de dejetos líquido de animais pela parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda..... 50
- Figura 3 - Teor de magnésio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) (B) em Lages – SC..... 58
- Figura 4 - Teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) (B) em Lages – SC..... 60
- Figura 5 – Teor médio de magnésio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.....69
- Figura 6 - Teor médio de cálcio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 70
- Figura 7 - Teor médio de potássio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 71
- Figura 8 - Teor médio de fósforo (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 73
- Figura 9 - Teor médio de nitrogênio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50

- (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 74
- Figura 10 - Teor médio de matéria mineral (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 76
- Figura 11 - Teor médio de proteína bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 77
- Figura 12 - Teor médio de gordura bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 78
- Figura 13 - Teor médio de fibra em detergente neutro (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 80
- Figura 14 - Teor médio de fibra em detergente ácido (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 80
- Figura 15 – Produtividade acumulada de matéria seca (t ha⁻¹) de cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada e superficial em Lages – SC. 84
- Figura 16 - Teor médio de magnésio (g kg⁻¹) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 85
- Figura 17 - Teor médio de cálcio (g kg⁻¹) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos

- líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 86
- Figura 18 - Teor médio de potássio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 87
- Figura 19 - Teor médio de fósforo (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 88
- Figura 20 - Teor médio de nitrogênio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 89
- Figura 21 - Teor médio de matéria mineral (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 91
- Figura 22 – Teor médio de proteína bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 92
- Figura 23 - Teor médio de gordura bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 93
- Figura 24 – Teor médio de fibra em detergente neutro (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 94
- Figura 25 – Teor médio de fibra em detergente ácido (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC..... 94

Figura 26 - Produtividade acumulada de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $m^3\ ha^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada e superficial em Lages – SC.	96
Figura 27 - Temperatura média ($^{\circ}C$) e precipitação total (mm) dos dias ocorridos durante a condução do experimento no outono/inverno (A) e na primavera/verão (B). As barras representam a precipitação e as linhas representam a temperatura.	103
Figura 28 - Equipamento desenvolvido para injeção de dejetos líquidos de animais pela parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda.....	106
Figura 29 - Espumas absorvedoras de 8x8 cm e densidade de $0,02\ g\ cm^{-3}$ embebidas em 11ml de ácido fosfórico 0,05N.	108
Figura 30 – Câmaras semiabertas com as espumas viradas para o solo a uma altura do solo de 8 cm atreladas em placas de PVC de 10x10 cm e estas apoiadas em quatro hastes.	108
Figura 31 - Espumas lavadas com 250 ml de água destilada em funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo.	109
Figura 32 - Volatilização total de NH_3 (mg) após uso das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquidos bovinos na dose de $100\ m^3\ ha^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização), na média dos dois modos de aplicação: injetado e superficial, e das duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno.	111
Figura 33 - Volatilização total de NH_3 (mg) após uso de fertilizantes no modo de aplicação injetado e superficial, na média das três fertilizações: fertilizante mineral, dejetos líquidos bovinos na dose de $100\ m^3\ ha^{-1}$ e uma testemunha (sem fertilização), e das duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno.	112
Figura 34 - Volatilização total de NH_3 (mg) em duas épocas do ano: primavera/verão e outono/inverno, na média das três fertilizações: fertilizante mineral, dejetos líquidos bovinos na dose de $100\ m^3\ ha^{-1}$ e uma testemunha (sem fertilização), e dos dois modos de aplicação: injetado e superficial.	114
Figura 35 - Volatilização total de NH_3 após das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquidos bovinos na dose de $100\ m^3\ ha^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização) em dois modos de aplicação: injetado e superficial.	115
Figura 36 - Volatilização total de NH_3 após das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquidos bovinos na dose de $100\ m^3\ ha^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização) em duas épocas do ano: primavera/verão e outono/inverno.	117

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm de profundidade do CAMBISSOLO HÚMICO (CH) em Lages-SC, onde o experimento foi conduzido com a pastagem anual.....47
- Tabela 2 - Características físicas e químicas dos dejetos líquido bovino de leite gerados por vacas Jersey confinadas em sistema FreeSatll aplicados na área do experimento como fertilizante das pastagens, Lages – SC.49
- Tabela 3 - Doses de macronutrientes aplicados após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em CAMBISSOLO HÚMICO em Lages - SC..... 51
- Tabela 4 - Valores de pH em suspensão solo:solução (relação 1:1) de KCl (1M) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetada (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em Lages – SC. 55
- Tabela 5 - Teor de potássio (mg dm⁻³) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetadas (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) em Lages – SC..... 63
- Tabela 6 - Teor de fósforo (mg dm⁻³) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetadas (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) em Lages – SC..... 67
- Tabela 7 - Atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm de profundidade do CAMBISSOLO HÚMICO em Lages-SC. 104
- Tabela 8 - Características físicas e químicas dos dejetos líquido bovino de leite gerados por vacas Jersey em sistema FreeStall aplicados na área do experimento como fertilizante das pastagens, Lages – SC..... 105
- Tabela 9 - Teores de macronutrientes aplicados nas duas fertilizações e o total durante a condução do experimento em CAMBISSOLO HÚMICO em Lages - SC. 107

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DA BOVINOCULTURA DE LEITE	25
2.2	IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO PARA PASTAGENS	27
2.3	USO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO DE LEITE COMO FERTILIZANTE PARA PASTAGEM.....	29
2.4	APLICAÇÃO SUPERFICIAL E INJETADA DO DEJETO LÍQUIDO DE BOVINO DE LEITE.....	34
3	HIPÓTESES	39
4	OBJETIVOS	41
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
5	CAPITULO I – USO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO EM APLICAÇÃO INJETADA NO SULCO COMO FERTILIZANTE PARA PASTAGEM DE MILHETO E AVEIA	43
5.1	RESUMO	43
5.2	INTRODUÇÃO	44
5.3	MATERIAIS E MÉTODOS	46
5.3.1	Localização e características da área experimental	46
5.3.2	Tratamentos e delineamento experimental	48
5.3.3	Caracterização do dejetto líquido bovino, equipamento de injeção e aplicação dos fertilizantes	49
5.3.4	Amostragem e análises do solo e da pastagem	52
5.3.5	Estatística	53
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.4.1	Atributos químicos do solo	54
5.4.2	Composição química e bromatológica do milho	68

5.4.3	Produção acumulada de matéria seca da pastagem milheto	81
5.4.4	Composição química e bromatológica da pastagem aveia preta.....	84
5.4.5	Produção acumulada de matéria seca da pastagem aveia preta	95
5.5	CONCLUSÃO	97
6	Capítulo II – VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA APÓS APLICAÇÃO SUPERFICIAL E INJETADA ao solo DE FERTILIZANTE MINERAL E ORGÂNICO	99
6.1	RESUMO	99
6.2	INTRODUÇÃO	100
6.3	MATERIAIS E MÉTODOS	102
6.3.1	Localização e características da área experimental	102
6.3.2	Tratamentos e delineamento experimental	104
6.3.3	Caracterização do dejetos líquido bovino, equipamento de injeção e aplicação dos fertilizantes	104
6.3.4	Amostragem e análise de amônia volatilizada	107
6.3.5	Estatística	110
6.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	110
6.5	CONCLUSÃO	117
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de leite no Brasil representa um importante fator na geração de empregos e de renda que teve substancial crescimento durante a última década, consolidando-se como uma das principais atividades da agropecuária brasileira. A produção de leite gera seus maiores volumes na Região Sul do país, onde predominam pequenas propriedades com mão de obra de base familiar (MATTE JUNIOR & JUNG, 2017).

O sistema de produção pecuário mais utilizado pelos produtores brasileiros é baseado no uso de pastagens, pois é a forma mais viável economicamente para a alimentação dos animais ruminantes. No entanto, quando se trata da manutenção da produtividade e do valor nutritivo destas pastagens, o uso de fertilizantes é fundamental. Porém, o custo dos fertilizantes é elevado, principalmente os nitrogenados (BODDEY et al., 1997), o que muitas vezes resulta na inviabilidade econômica da adubação de pastagens (MONDARDO et al., 2011). Não obstante, a adubação nitrogenada é a que mais influencia na produção de matéria verde das pastagens (FRANÇA et al., 2007; COBLENTZ et al., 2017).

A produção de matéria seca (MS) da pastagem depende de vários fatores, com destaque para a radiação solar, disponibilidade hídrica e a fertilidade do solo, que limita com mais frequência o rendimento das culturas (VENDRAMINI et al., 2007). Assim, aspectos como a disponibilidade de nutrientes e o manejo do solo definem a produtividade de matéria verde e o valor bromatológico das pastagens (SKONIESKI et al., 2011, SILVA et al., 2015). Entretanto, no Brasil, a produtividade animal em muitas propriedades ainda é muito baixa, trazendo taxas de retorno insuficientes e até prejuízos ao produtor. Nesse contexto, nota-se que é preciso incrementar a eficiência e sustentabilidade do sistema produtivo, e o fornecimento de nutrientes via fertilizantes pode ser uma alternativa, pois existe uma relação direta da adubação da pastagem com o ganho animal.

A criação de bovinos em sistema de confinamento total ou parcial gera grande volume de dejetos líquido. O dejetos líquido bovino de leite (DLB) é formado pela mistura de fezes, urina e água da limpeza, restos de ração e outros materiais (EMBRAPA, 2016). Entretanto, o DLB contém os nutrientes essenciais às plantas, possibilitando o seu uso agrícola como fertilizante do solo. Assim, a utilização de resíduos da atividade pecuária surge como uma

opção para a substituição dos fertilizantes minerais e para a redução dos custos de produção (MONDARDO et al., 2011; CASSOL et al., 2012, CHEN et al., 2014), além de oferecer uma destinação de baixo potencial poluente para o DLB. A utilização dos dejetos gerados na propriedade proporciona a ciclagem de parte dos nutrientes extraídos do solo, como forma de nutrir as culturas destinadas à alimentação dos animais (VENDRAMINI et al., 2007; MARQUES et al., 2014). Destaca-se que além de fornecer nutrientes, esse fertilizante orgânico pode promover melhorias nas propriedades físicas (ASSMANN et al., 2007; MELLEK et al., 2009), químicas (ERTHAL et al., 2010; CASSOL et al., 2012,) e biológicas (BARILLI, 2005;) do solo.

Mesmo evidente os diversos benefícios da utilização do DLB na fertilização do solo na própria unidade geradora, em muitas áreas as quantidades de nutrientes aplicados com DLB, por longos períodos, são superiores às requeridas pela cultura. Com isso, pode exceder a capacidade de suporte do solo, e nessas condições, as perdas de nutrientes podem ser acentuadas, prejudicando a qualidade ambiental e a capacidade produtiva do solo (MORI et al., 2009). Por exemplo, em um LATOSSOLO VERMELHO, Sacomori et al. (2016) verificaram que após 13 anos de aplicação de altas doses de dejetos líquidos favoreceram a movimentação de cátions por lixiviação para camadas inferiores do solo, ficando o nutriente menos acessível para absorção pelas plantas cultivadas. Além disso, as taxas de aplicação de dejetos geralmente se baseiam nos requisitos de N da planta e, sob esses cenários, o P do solo pode se acumular em níveis de preocupação ambiental. No estudo de Maggi et al. (2011), altos teores de nutrientes foram encontrados no percolado de áreas de adubação com altas doses de dejetos líquidos suíno, como teores acima de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo.

Outro fator relevante, segundo Ceretta et. al. (2005) e Scherer e Nesi (2009), é que as maiores perdas de nutrientes e outros componentes, como o carbono, presentes no dejetos líquidos ocorrem na sua aplicação superficial em sistema de plantio direto. Uma vez que na ausência de preparo do solo existe a tendência de se concentrar nutrientes pouco móveis na camada superficial do solo, como o P (CASSOL et al., 2012; BOITT et al., 2018), o que favorece sua transferência para os mananciais de água pela enxurrada e, ou erosão (BERTOL et al., 2017), que podem ser potencializadas com chuvas após a aplicação do dejetos (CHEROBIM et al., 2017). Em experimentos com chuvas simuladas logo após a aplicação em superfície de doses de dejetos líquidos, ocorreu maior concentração de nutrientes no escoamento superficial (BERTOL et al., 2007; PELES, 2007; NICOLAISEN et al., 2007), devido ao maior selamento

na superfície do solo causado pelo próprio dejetos. Nicolaisen et al. (2007) também observaram que após a aplicação de três chuvas simuladas, as maiores perdas de fósforo solúvel e fósforo total se encontraram nas parcelas que receberam dejetos líquido bovino de corte superficialmente, também devido ao selamento superficial no solo, impedindo a infiltração da água.

Também, a aplicação de dejetos líquidos de animais na superfície do solo favorece a volatilização de NH_3 , o qual representa um dos principais processos de perda de nitrogênio para a atmosfera (SMITH et al., 2008), o que pode diminuir a eficiência do DLB como fonte de nitrogênio para as plantas. Portanto, as perdas de nitrogênio por volatilizações e outros nutrientes por erosão, observadas por Silveira et al. (2011), Nicoloso et al. (2013), Schirmann et al. (2013), Rauber et al. (2017), Erdmann et al. (2020) e entre outros autores, foram acentuadas nos tratamentos onde o dejetos líquido foi aplicado superficialmente.

Assim, há necessidade de estudos para determinar a dose mais adequada para utilizar o DLB como fertilizante sem prejudicar o ambiente e favorecendo a produção e o valor nutritivo bromatológico das pastagens. Outra prática que vem sendo estudada para diminuir as perdas de nutrientes é a injeção ao solo do dejetos líquido (DAMASCENO, 2010; DELL et al., 2012; SHIRMANN et al., 2013; BIERER et al., 2017; RAUBER et al., 2018; ERDMANN et al., 2020). Assim, práticas de manejo que permitem injetar o DLB, e, portanto, que contribuem com a permanência dos nutrientes no solo e favorecem a absorção destes por um maior período pela cultura, devem ser implementadas, pois podem melhorar a eficiência agrônômica e econômica do DLB. Isso ocorre tanto sob o ponto de vista de ciclagem de nutrientes pelas plantas, quanto por ser ecologicamente mais corretas, pois reduzem perdas de nutrientes para o meio ambiente (VENDRAMINI et al., 2007; GIACOMINI et al., 2009). Destaca-se que a injeção como estratégia de manejo de dejetos vem sendo utilizada com grande sucesso em outros países (VALLEJO et al., 2005; BIERER et al., 2017), mas a alternativa é ainda pouco estudada no Brasil (DAMASCENO, 2010), principalmente quando se trata de DLB.

Portanto, o uso de boas práticas de manejo do DLB, como a aplicação injetada, em dose e época corretas possibilitam a utilização otimizada desse resíduo orgânico para a ciclagem de nutrientes. Essas práticas são de extrema importância e contribuem para melhoria da qualidade ambiental e redução de custos para o produtor, mantendo patamares produtivos elevados para grãos, forragens e fibras. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de DLB como fertilizante de pastagem quando injetado no solo em relação à sua aplicação superficial e também à adubação mineral.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DA BOVINOCULTURA DE LEITE

Dentro da produção pecuária, segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016), aproximadamente 150 milhões de propriedades em todo o mundo estão envolvidos na produção leiteira, sendo característica da maioria dos países em desenvolvimento, e principalmente, sendo produzida por pequenos agricultores. Nas últimas três décadas, a produção mundial de leite aumentou mais de 50 %, chegando a 769 milhões de toneladas em 2013 (FAO, 2016).

A União Europeia é a maior produtora de leite no ranking mundial, pois em 2017, a produção alcançou 152,5 milhões de toneladas de leite, aproximando-se numa taxa de crescimento de 0,3 % (CONAB, 2017). Em seguida, no ranking mundial, encontra-se os Estados Unidos, tendo em 2016 um aumento na produção de 1,8 % e estima-se que aumentou 2,1 % em 2017, alcançando 98,3 milhões de toneladas de leite (CONAB, 2017). O terceiro e o quarto lugares no ranking mundial da produção de leite estão ocupados pela Índia e pela China, respectivamente (CONAB, 2017). No entanto, o Brasil com a quinta posição na produção mundial, alcançou somente 34,6 milhões de toneladas de leite em 2016, após uma redução de 1,0 % em comparação com o ano anterior de 2015. Também, a produção de leite sob inspeção, que representa aproximadamente 70 % da produção total do país, recuou 2,8 % em 2015 e 3,7 % em 2016 (CONAB, 2017). Além da redução na produção de leite, em 2015, o rebanho nacional teve uma queda de 5,5 %, decaindo de 23,0 milhões para 21,7 milhões de vacas ordenhadas. A região Sul é a maior produtora do país, representando 34,7% do total nacional (IBGE, 2014).

A produção de leite é a atividade agropecuária que mais cresce em Santa Catarina, tornando o estado o quarto maior produtor nacional de leite. De 2006 a 2016, Santa Catarina saltou de 1,7 bilhões de litros ano⁻¹ produzidos para 3,1 bilhões de litros ano⁻¹, ou seja, em dez anos, o estado ampliou em 82% a sua capacidade produtiva (CONAB, 2017). No mesmo período, a produção do Brasil aumentou em 32%. A grande bacia leiteira catarinense é a região oeste, que corresponde por 75% do leite produzido no estado. A bovinocultura leiteira no estado

é uma atividade com base familiar. O sistema de produção mais utilizado é o em confinamento devido que as regiões de produção se caracterizam por pequenas áreas rurais com topografia acentuada.

Assim, percebe-se que a produtividade leiteira brasileira é muito baixa em comparação a outras nações que ocupam os primeiros lugares do ranking mundial de produção, onde, por exemplo, o Estados Unidos consegue obter 7.953 litros de leite por vaca por ano, enquanto que no Brasil a média alcançada é de 1.154 litros de leite por vaca por ano (MATTE JUNIOR & JUNG, 2017). De tal modo, entende-se que existem fatores que estão limitando o aumento da produção do rebanho leiteiro brasileiro, por exemplo, alguns problemas como construções e instalações malfeitas, raças e cruzamento de animais inadequados ao sistema de produção, alimentação e nutrição precária, entre outros, que interferem diretamente no desempenho dos animais da propriedade. Para Bueno et al. (2004), estes fatos demonstram a necessidade da utilização de novas tecnologias e cuidados com a alimentação do rebanho, assim, podendo impactar positivamente na produtividade leiteira.

No Brasil, nos sistemas de produção da pecuária leiteira, o uso de pastagens cultivadas é de suma importância, visto que são consideradas a principal fonte de alimentação mais econômica para o produtor, baseando-se na utilização de volumosos de elevado valor nutricional e melhorando a relação custo/benefício da atividade leiteira (MARQUES et al., 2016). No entanto, a eficiência de utilização destas plantas forrageiras pelos animais depende de muitos fatores como a quantidade e o valor nutritivo da pastagem disponível para o animal (MISTURA et al., 2007). Neste contexto, quando a disponibilidade da forragem e o potencial do animal não são limitantes, a qualidade da pastagem é decisiva para a produção de leite por animal e está diretamente relacionada ao consumo voluntário e à disponibilidade dos nutrientes na alimentação (REIS & RODRIGUES, 1993).

Dentro dessa visão, os principais processos em sistemas de produção de alimento são a utilização da energia luminosa, água e o suprimento de nutrientes no solo para o crescimento das plantas (PEDREIRA et al., 2017). Portanto, aspectos como disponibilidade hídrica e fertilidade e manejo do solo podem definir a produtividade (SKONIESKI et al., 2011) e o valor nutritivo das pastagens (MARQUES et al., 2016), principalmente em solos tropicais do Brasil, que são ácidos e possuem baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente o N e o P.

Perón & Evangelista (2004), em uma revisão de literatura, estimaram que 80% dos 50 a 60 milhões de hectares de pastagens cultivadas no Brasil Central se encontram em algum estado de degradação, sem possibilidade de recuperação natural e incapazes de sustentar os níveis de produção exigidos atualmente. Entre os fatores dessa degradação, destaca-se a falta de reposição dos nutrientes perdidos e exportados no processo produtivo ao longo dos anos. Neste cenário, o desempenho médio anual do rebanho é relativamente baixo, tendo em vista as deficiências na oferta de forragem de qualidade ao animal.

2.2 IMPORTÂNCIA DA ADUBAÇÃO PARA PASTAGENS

O costume de boa parte dos produtores de não adubar as pastagens, devido ao alto custo dos fertilizantes minerais, pode limitar o desenvolvimento das plantas, especialmente devido à baixa disponibilidade de N e P de solos tropicais e subtropicais, visto que estes são nutrientes que tem maior efeito sobre o crescimento de pastagens e que, frequentemente, mais limita a produção de biomassa (SANTI et al., 2003; MESQUITA & NERES, 2008; GAMBAUDO et al., 2014; COBLENTZ et al., 2017). Por exemplo, a adubação nitrogenada tem influência sobre a velocidade de renovação de tecidos em perfilhos, aumentando as taxas de alongamento e aparecimento de folhas (PEREIRA et al., 2010). Lavres Júnior & Monteiro (2003), avaliando adubações com nitrogênio em capim Mombaça, verificaram que as doses de N tiveram influência linear significativa no perfilhamento. Muitos trabalhos têm comprovado os benefícios da adubação nitrogenada no crescimento de folhas e perfilhos, na produção de MS e nos componentes bromatológicos das gramíneas forrageiras, como proteína bruta, fibra em detergente neutro e ácido, com consequente aumento da digestibilidade das forrageiras (SORIA, 2002; HEINEMAMM et al., 2004; QUADROS & BANDINELLI, 2005; MESQUITA & NERES, 2008; CASTAGNARA et al., 2011; GAMBAUDO et al., 2014; COBLENTZ et al., 2017).

A fosfatagem, por sua vez, corrige a baixa disponibilidade de P, característica da maioria dos solos brasileiros. O P é um nutriente importante para os processos de fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão celular, crescimento das células e raízes, entre outros (RAIJ, 1991; TAIZ & ZEIGER, 2004). Além do N e P, outros elementos

também se fazem necessário para o desenvolvimento das forrageiras. Por exemplo, o aumento da disponibilidade de Ca e Mg é importante para as atividades metabólicas em que esses nutrientes participam, como: formação da parede celular, ativação enzimática, composição de moléculas importantes, síntese de proteína, entre outras (RAIJ, 1991; TAIZ & ZEIGER, 2004), aumentando o valor nutritivo das pastagens.

A baixa fertilidade do solo é uma das principais causas da baixa produtividade das pastagens, podendo levar à degradação do solo e diminuindo seu potencial produtivo. Neste sentido, Freitas et al. (2000) observaram a relação entre a baixa fertilidade do solo em pastagem degradada em relação a solos mais férteis em pastagem não-degradada, especialmente pela maior acidez e menor saturação por bases (Ca, Mg e K) e também de S e P no primeiro caso. Assim, o cultivo de forrageiras em solos de baixa fertilidade, sem a devida adubação, não atendem às exigências nutricionais das forrageiras, com reflexos negativos no desempenho animal.

Portanto, as deficiências minerais nas pastagens geralmente causam prejuízos econômicos a longo prazo, porque reduzem a sua produtividade e, conseqüentemente, a dos animais, constituindo um obstáculo à melhoria dos índices de produção do rebanho leiteiro. Por outro lado, os minerais que constituem na alimentação dos bovinos desempenham três tipos de funções essenciais para o organismo animal. A primeira função é a participação como componentes estruturais dos tecidos corporais, a segunda é que atuam nos tecidos e fluidos corporais como eletrólitos para manutenção do equilíbrio ácido-básico, da pressão osmótica e da permeabilidade das membranas celulares e, por último, funcionam como ativadores de processos enzimáticos ou como integrantes da estrutura de metalo-enzimas ou vitamina (TOKARNIA et al., 2000). De acordo com os conhecimentos atuais, dos cerca de 50 minerais que o organismo animal contém, somente os seguintes são essenciais aos processos metabólicos e, por isso, estes devem estar presentes na alimentação: Ca, P, Mg, K, Na, Cl, S, Fe, Co, Cu, I, Mn, Zn e Se (TOKARNIA et al., 2000).

De tal modo, as características produtivas e nutricionais da pastagem e do rebanho podem ser melhoradas através da utilização de adubação. A adição ao solo dos elementos deficientes é um manejo essencial, pois além de trazer aumento da produção de MS e melhoramento do valor nutritivo da pastagem, também evita os problemas da deficiência mineral nos animais (TOKARNIA et al., 2000). Assim, a utilização de resíduos orgânicos da pecuária, como o dejetos líquido bovino (DLB), que apesar de ser em baixa concentração,

contém todos os nutrientes necessários às plantas e aos animais, surge como alternativa aos fertilizantes químicos e para a redução dos custos de produção.

No sistema de confinamentos de bovinos, acumulam-se grandes quantidades de dejetos líquidos, que necessitam ser removidos para a higienização do local. Os destinos desses dejetos são os mais diversos, podendo ser como descarte ao meio ambiente, como fertilizante, ou ainda como bioenergia. Nestes sistemas de confinamento os dejetos são compostos por fezes, urina, restos de ração e água de bebedouros e de higienização, e a composição deste material dependerá de uma série de fatores, entre eles idade dos animais, tipo de alimentação e sistema de manejo (EMBRAPA, 2016). O DLB contém os nutrientes essenciais às plantas (SBCS - NRS, 2016), possibilitando o seu uso agrícola como fertilizante do solo. Withers et al. (2018) apresentam a importância da utilização de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para a sustentabilidade da agricultura brasileira. Esse fato gera aumento na demanda por estudos para avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso de fertilizantes orgânicos (MELO et al., 2008).

2.3 USO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO DE LEITE COMO FERTILIZANTE PARA PASTAGEM

O uso do DLB na agricultura é uma prática rotineira nas propriedades com bovinocultura de leite, e às vezes é a única fonte de nutrientes para as forrageiras. Assim, Souto et al. (2005), apresentaram que com o aumento dos custos da fertilização mineral, o agricultor começou a ter uma nova visão sobre a adubação orgânica, dando importância ao uso de dejetos que, normalmente, eram descartados de qualquer forma nas propriedades. A proporção de nutrientes ingeridos a partir da pastagem pelos bovinos é relativamente pequena, pois, em média, 80% do N, 78% do P e 95% do K presente na forragem são recuperados nos dejetos dos animais (VENDRAMINI et al., 2007). Assim, com a utilização do dejetos líquido bovino gerado nas unidades de produção leiteira, proporciona-se o retorno de parte dos nutrientes extraídos do solo, como forma de nutrir as pastagens destinadas à alimentação dos animais. A aplicação de dejetos líquidos como fonte de nutrientes para plantas forrageiras tem sido estudada, oferecendo resultados positivos (BARNABÉ et al., 2007; SALAZAR-SOSA et al., 2010; MONDARDO et al., 2011; ARAÚJO et al., 2011; MARQUES et al., 2014; SILVA et al., 2015; MARQUES et

al., 2016; COBLENTZ et al., 2017). Destaca-se que essa prática vem ao encontro da atual necessidade de sustentabilidade ambiental e conservação dos recursos naturais. Portanto, o DLB fornece nutrientes, em parte na sua forma prontamente disponível, promovendo melhorias da qualidade, como teor de proteína, teores de fibra digestível e aumentado a produtividade de MS das pastagens adubadas com esse adubo orgânico (YOLCU et al., 2010).

Para validar o potencial fertilizante do material orgânico para as pastagens, Marques et al. (2016), em um solo classificado como PLINTOSSOLO HÁPLICO, demonstraram que a produção de MS das forragens, os teores de proteína bruta e os teores de cálcio nas folhas de aveia preta e azevém foram iguais tanto para a adubação com DLB quanto para a adubação com o fertilizante mineral. Além disso, os teores de magnésio foram maiores no início do cultivo com a presença da adubação orgânica. Em outro estudo demonstrando os benefícios da adubação orgânica, Araújo et al. (2011), em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO, onde foram aplicadas quatro doses de DLB (0; 37,5; 75; 112,5 m³ ha⁻¹) por dois anos na pastagem de capim-marandu, perceberam que a produtividade aumentou linearmente com as doses, e que as folhas, o colmo, a relação folha:colmo e as folhas mortas foram influenciados pelos anos e doses do dejetos aplicado. Estes autores também concluíram que o uso do DLB é indicado para substituição de fertilizantes minerais nitrogenados, não havendo prejuízos produtivos na pastagem; no entanto, é necessário que sejam feitas aplicações anuais do dejetos bovino para que não ocorra diminuição da produtividade da gramínea.

Erthal et al. (2010) avaliaram a aplicação de DLB em pastagem de tifton 85 (*Cinodon spp.*), utilizando como referência o K₂O para as doses do adubo orgânico e constataram que a aplicação de do resíduo promoveu aumentos nos teores de Ca, Mg, K e P nas camadas superficiais do solo. Ao mesmo tempo, Rosa et al. (2002) observaram que a adubação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com doses de 100 e 200 m³ha⁻¹ de dejetos líquido aumentou os atributos químicos do solo e a produtividade de MS da pastagem. Também, Freitas et al. (2005), avaliando a produção e a composição bromatológica do capim *Brachiaria brizantha* cv. Marandu fertilizado com dejetos líquido, observaram que a aplicação de 150 m³ por ha por ano do adubo orgânico pode substituir a adubação mineral. Medeiros et al. (2005), avaliando as características bromatológicas do capim Marandu fertirrigado com dejetos líquido, observaram que os melhores resultados foram obtidos com aplicação na dose de 180 m³ por ha por ano, e ainda que o material orgânico pode substituir a adubação com fertilizante mineral de forma satisfatória. Além de influenciar nas propriedades químicas do solo e na qualidade e

produtividades das plantas forrageiras, o fertilizante orgânico pode promover melhorias nas propriedades físicas (ASSMANN et al., 2007; MELLEK et al., 2009, SILVEIRA, 2009) e biológicas (EEKEREN et al., 2010; SILVANO, 2011; SILVA et al., 2015b) do solo.

A estratégia recomendada para a utilização dos dejetos líquidos tem sido a de seu armazenamento em esterqueiras para posterior uso em lavouras de pastagens como fertilizantes. Para que tal prática ocorra com o mínimo comprometimento dos recursos naturais, principalmente o solo e a água, devem-se respeitar as condições da cultura agrícola ou da pastagem e do tipo de solo onde o material será aplicado (MIRANDA & SANTOS, 1999). A grande dificuldade da utilização de resíduos orgânicos na adubação é a variação da composição de nutrientes neste composto, bem como a grande diversidade quanto à sua origem, ao grau de umidade e ao potencial de mineralização (RIBEIRO et al., 1999). Vários fatores podem modificar a composição química do composto orgânico, entre os quais, a alimentação dos animais e a forma de armazenamento dos resíduos produzidos (SORENSEN et al., 2003; TITTONELL et al., 2010).

No entanto, com o objetivo de descartar ao todo o material orgânico, os produtores aplicam o DLB em altas doses, em áreas mais próximas da origem do resíduo, sem a devida recomendação técnica (LOURENZI et al., 2016). Não obstante, em algumas propriedades o produtor não confiando no potencial fertilizante do DLB, ainda utiliza o fertilizante mineral nas doses recomendadas pela cultura. Estas práticas ao longo dos anos, fazem com que as quantidades de nutrientes aplicadas com o DLB junto com o fertilizante mineral fiquem superiores aquelas requeridas e exportadas pela cultura, excedendo a capacidade de suporte dos solos (CERETTA et al., 2003; CASSOL et al, 2012; SACOMORI et al., 2016). Nessas condições, as perdas de nutrientes por escoamento superficial e lixiviação para o meio ambiente podem ser acentuadas (DORTZBACH et al., 2008; CERETTA et al, 2010; BASSO et al., 2012). Também, a utilização inadequada do dejetos líquido de animais como adubo pode promover um acúmulo de P, N e metais pesados no solo, e a contaminação por patógenos, impactando negativamente os cultivos, com riscos para a saúde humana e animal (BASSO et al., 2012). Na região Sul do Brasil, aonde as propriedades se caracterizam por pequenas áreas rurais com topografia acentuada, as aplicações de altas doses de DLB nos mesmos locais, podem ser muito mais agravantes, elevando os riscos de possíveis contaminações do solo e da água (HENTZ & CARVALHO, 2014; MATSUOKA et al., 2019).

O nitrogênio é um dos nutrientes com maior mobilidade no solo, tornando-se o elemento químico mais dinâmico, favorecendo sua absorção pelas culturas ou suas perdas para o meio, principalmente por volatilização e lixiviação, quando aplicado em excesso, comprometendo a qualidade do ambiente (CERETTA et al., 2003). Cerca de 60 a 80% do N contido no dejetos é encontrado na forma de amônio (NH_4^+), o qual é rapidamente transformado em nitrato (NO_3^-) no solo (PAYET et al., 2009). Quando a aplicação de alta dose de dejetos líquido ocorre antes da semeadura, e se ocorrer intensa precipitação, poderá haver movimentação vertical de NO_3^- no solo (SACOMORI et al., 2016), principalmente, durante os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, quando a demanda de N é pequena (McCRACKEN et al., 1994). As perdas do N podem ocasionar a contaminação do solo e das águas subterrâneas, devido a lixiviação na forma de NO_3^- , assim, elevando-se o potencial de contaminação do solo e das águas subsuperficiais, por causa do rápido deslocamento do elemento químico no perfil do solo (ANAMI et al., 2008; BASSO et al., 2005).

No trabalho de Sacamori et al. (2016), com aplicações de dejetos líquido de suíno em dose anual igual ou superior a $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ durante 13 anos em superfície de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico cultivado com sucessão milho-aveia aumentou a concentração de N mineral na solução do subsolo, principalmente na forma NO_3^- , superando o limite de 10 mg L^{-1} . Estes autores ainda concluíram que a dose de $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ promoveu alta concentração de N na solução do solo na profundidade de 60 cm, demonstrando que a aplicação anual dessa alta dose incidiu em perdas expressivas de N por lixiviação e, o que aumenta o risco de contaminação do lençol freático pelo excesso de nitrato.

Outro elemento presente no dejetos com maior problema de contaminação do solo e das águas é o fósforo. A maior parte do P presente nos dejetos líquido está na forma inorgânica (CASSOL et al., 2001), sendo esta a principal forma de acumulação no solo (HOODA et al., 2001). Assim, aplicações sucessivas ou em excesso de P via fertilizações com adubos orgânicos ao longo do tempo em sistema de plantio direto, numa mesma área, promove aumento de sua concentração na solução do solo acima da demanda das culturas, ocasionando acúmulo de P orgânico e inorgânico na superfície (SCHERER et al., 2010; LOURENZI et al., 2011; CASSOL et al., 2012; LOURENZI et al., 2013; BOITT et al., 2018), o que favorece a perda do elemento por escoamentos superficiais e a contaminação dos ecossistemas aquáticos (CERETTA et al., 2005; MORI et al., 2009, GATIBONI et al., 2015). Também, as aplicações de altas doses de fertilizantes orgânicos a longo prazo promovem alterações nas frações de P no solo, assim como

na saturação dos sítios de adsorção desse elemento, resultando numa menor capacidade de adsorção de P no perfil do solo (BERWANGER et al., 2008). Isto ocorre de tal modo, que a energia de ligação do P com os colóides do solo diminui, aumentando sua disponibilidade às plantas, no entanto, também potencializando as transferências de fósforo por escoamento superficial e erosão (BASSO et al., 2005; CERETTA et al., 2005; MORI et al., 2009), causando problemas ambientais, como a eutrofização, nos cursos de água a jusante.

Em um LATOSSOLO VERMELHO Amarelo manejado em plantio direto, Mori et al. (2009) observou que a aplicação de dejetos líquido bovino, em doses de 30, 60 e 90 m³ ha⁻¹, seguidas imediatamente por chuva de média e alta intensidade (60 e 85 mm h⁻¹), aumentou a perda de água, solo, P total, P solúvel e P particulado, tendo o potencial de reduzir a qualidade da água nos cursos a jusante. Em experimento a campo, Ceretta et al. (2010) aplicaram 508, 1016 e 2032 kg ha⁻¹ de P, correspondente às doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquido suíno, e as perdas de P por escoamento superficial foram de 32; 51 e 71 kg ha⁻¹, respectivamente. Essas perdas de P correspondem respectivamente a 6,4; 10,2 e 14,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no entanto, para a testemunha a perda média foi de 2,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A maior parte do P adicionado ficou acumulado na camada superficial, pois, na camada de 0-10 cm, onde não foi aplicado dejetos, a concentração de P no solo foi de 12,8 mg kg⁻¹ e quando foram aplicadas as doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquido, os níveis de P foram para 122,0; 275,9 e 753,9 mg kg⁻¹, respectivamente (CERETTA et al., 2010). Assim, aplicações anuais de dejetos líquido em altas doses, em sistema de plantio direto, quando visam o suprimento integral das necessidades de N da cultura, podem em médio a longo prazos resultar em acúmulo de P na camada superficial do solo (SCHERER & NESI, 2009).

Ao mesmo tempo, as aplicações sucessivas de altas doses de resíduos orgânicos também podem promover, principalmente nas camadas mais superficiais do solo, o incremento dos teores de K, Ca, Mg e outros cátions (GATIBONI et al., 2008; CERETTA et al., 2010; LOURENZI et al., 2013). Com isso, aplicações sucessivas de altas doses de dejetos líquido também promovem a movimentação de cátions básicos (K⁺, Ca⁺² e Mg⁺²) para camadas mais profundas do solo, resultando em perdas expressivas desses nutrientes por lixiviação, e, assim, ficando não disponíveis para absorção pelas raízes (SACAMORI et al., 2016), além de diminuir o pH do solo e a qualidade das águas subsuperficiais.

Além da dose mais adequada para utilizar o DLB como fertilizante para promover a produção de MS e a qualidade bromatológica da pastagem, outro fator importante é o modo de

aplicação do adubo. Os elementos estão bastante diluídos no DLB, e segundo Ceretta et al. (2005), aplicações realizadas superficialmente em sistema de plantio direto ocasionam maiores perdas de nutrientes para o meio ambiente, devido à formação de uma selagem física formada pelo próprio dejetos sobre a superfície do solo (BUNDY et al., 2001). Diante deste cenário, a pesquisa no Brasil (KUNZ et al., 2009; DAMASCENO, 2010; RAUBER et al., 2017; DAMIAN et al., 2018; ERDMANN et al., 2020) e em outros países (WEBB et al., 2010; VANDERZAAG et al., 2011; CHEN et al., 2014; BIERER et al., 2017) vem procurando técnicas de manejo dos dejetos líquidos que sejam eficientes na redução de perdas de elementos e diminuam os impactos negativos dos mesmos sobre o ambiente.

2.4 APLICAÇÃO SUPERFICIAL E INJETADA DO DEJETO LÍQUIDO DE BOVINO DE LEITE

O conhecimento já acumulado envolvendo o destino do N aplicado via fertilizantes minerais no solo não pode ser aplicado aos dejetos animais, já que estes, geralmente, apresentam pH elevado e altos teores de N amoniacal, além de uma parte na fração orgânica (AITA & GIACOMINI, 2008). Diversos autores têm observado que partes do N aplicado via dejetos líquidos de animais podem ser perdidos para atmosfera por volatilização (AITA et al., 2014; CAPOANE et al., 2015; RAUBER et al., 2017) e por desnitrificação (AITA et al., 2014; SADEGHPOUR et al., 2018), para águas de subsuperfície por lixiviação (AITA & GIACOMINI, 2008; SACOMORI et al., 2016) e para as águas de superfície por escoamento (SILVEIRA et al., 2011).

A aplicação de dejetos líquidos de animais diretamente sobre a superfície do solo favorece principalmente a volatilização de NH_3^+ , o qual representa um dos principais processos de perda de N para a atmosfera (SMITH et al., 2008), o que podem chegar a até 90 % do total do N aplicado pelo material orgânico (BIERER et al., 2017). A volatilização ocorre quando a grande parte do N na forma de NH_4^+ do DLB encontra o pH e a temperatura do solo mais elevados nas camadas mais superficiais, formando o NH_3^+ , que volatiliza por ser um gás. Algumas condições, como baixa umidade no solo, baixa capacidade de troca de cátions, temperaturas altas e aplicação de calcário sem incorporação com o solo, favorecem as perdas de NH_3^+ a partir

do DLB aplicado sobre a superfície do solo. As perdas de N devido à volatilização podem ser expressivas, variando de 45% a 80% do N amoniacal aplicado via fertilizante orgânico (MAGUIRE et al., 2011). Nos trabalhos de Jackson et al. (2000) e Thompson e Meisinger (2002), de 70 a 75% do N total aplicado com o dejetos suíno em superfície foi perdido por volatilização. Nicoloso et al. (2013) observaram em um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico de Concórdia - SC, que as perdas de N por volatilização em sistema de plantio direto foram acentuadas nos tratamentos onde o dejetos líquido suíno foi aplicado superficialmente.

Quanto ao potencial poluente dos dejetos líquidos de animais aplicados em superfície, destaca-se as emissões de N_2O como um dos mais importantes gases de efeito estufa. Além de possuir uma potencialidade de aquecimento cerca de 300 vezes superior ao do CO_2 (IPCC, 2007). Com relação à volatilização de NH_3 , esta contribui para as emissões indiretas de N_2O (ZAMAN & BLENNERHASSETT, 2010), produz chuva ácida (ZAMAN et al., 2009) e, após sua deposição, pode levar à eutrofização de ecossistemas aquáticos e acidificação do solo (NDEGWA et al., 2008). Além de poluírem o ambiente, as perdas de nitrogênio diminuem a eficiência do DLB como fertilizante do sistema agrícola, aumentam-se a necessidade de aplicar nitrogênio via fertilizante químico, aumentando os custos de produção.

Como visto acima, quando os fertilizantes orgânicos que possuem alta concentração de fosfatos são aplicados na superfície do solo tendem a saturar a capacidade de adsorção do P por causa do pequeno volume de solo em contato. Assim, os riscos de transferência de P por escoamento superficial são potencializados tanto na forma solúvel quanto particulado (BERWANGER et al., 2008), podendo causar a eutrofização das águas superficiais (BERTOL et al., 2017; CHEROBIM et al., 2017). Além disso, Nicolaisen et al. (2007) em três chuvas simuladas após a aplicação do fertilizante orgânico observaram que as maiores perdas de fósforo solúvel e de fósforo total foram nas parcelas que receberam dejetos líquido bovino de corte superficialmente, devido a um selamento superficial no solo pelo próprio dejetos, impedindo a infiltração da água. A aplicação de dejetos líquido na superfície do solo e a avaliação da transferência de seus nutrientes via escoamento superficial para espelhos de água em superfície tem sido tema de diversos trabalhos, principalmente na região Sul do Brasil (CERETTA et al., 2005; MORI et al., 2009; CAPOANE et al., 2015; BOITT et al., 2017; BERTOL et al., 2017).

Assim, práticas de manejo que possibilitam injetar os nutrientes do DLB ao solo podem ser agronomicamente mais eficientes. Segundo Giacomini et al. (2009), isso advém tanto sob o ponto de vista de ciclagem de nutrientes pelas plantas, quanto por serem ecologicamente mais apropriadas, uma vez que diminuem perdas de nutrientes para o meio ambiente. Esta estratégia de injetar o dejetos líquido de animais é eficiente no controle da volatilização de N (SØGAARD et al., 2002; HUIJSMANS et al., 2003; RAUBER Et al., 2017; DAMIAN et al., 2018). Segundo Misselbrook et al. (2002), a injeção pode reduzir em até 70% a volatilização comparada à aplicação superficial de dejetos líquido bovino em pastagem. Em um trabalho conduzido em laboratório, Sommer et al. (2004), verificaram que, dobrando a taxa de infiltração de dejetos bovino e suíno aplicados na superfície do solo, foi possível reduzir pela metade as emissões totais acumuladas de NH_3^+ . Ao injetar dejetos líquido de suínos no solo cultivado com milho em sistema de plantio direto, Damasceno (2010) encontrou que essa técnica reduziu em 27 vezes a emissão de NH_3^+ em relação à aplicação superficial do material.

Outro aspecto positivo da injeção é que devido a um maior contato do DLB com as partículas do solo em maiores profundidades, existe uma maior associação de máximas quantidades possíveis de nutrientes com os sítios de adsorção (DELL et al., 2011; WEBB et al., 2014), diminuindo as perdas e fazendo com que os nutrientes fiquem disponíveis por mais tempo para as plantas. A injeção de fertilizante orgânico também pode diminuir as perdas de nutrientes no escoamento superficial, como observado por Kulesza et al. (2014), que relataram diminuição de nitrogênio e o fósforo totais no escoamento em mais de 50% na aplicação incorporada de cama de frango em comparação com a aplicação superficial. No trabalho de Erdmann et al. (2020) em um CAMBISSOLO HÚMICO, observou-se que a injeção do fertilizante orgânico e do mineral ao solo aumentou o teor de P em relação à aplicação superficial. Estes autores citam que a injeção dos fertilizantes evitou o acúmulo de P nos primeiros centímetros do solo, reduzindo o risco da perda deste nutriente juntamente com perdas de solo e água por escoamento superficial. Assim, a injeção aumenta a eficiência do fertilizante orgânico como fonte de P, pois pode diminuir as perdas do P por enxurradas, reduzindo os riscos de contaminação das águas de superfície, que poderia causar a eutrofização e outros problemas ambientais e, por fim, aumentando a disponibilidade deste nutriente para as plantas.

Para a injeção de dejetos líquido de animais ao solo, há equipamentos que injetam o fertilizante orgânico a, aproximadamente, 7 cm de profundidade do solo. Essa injeção em linha

pode ser mais vantajosa, pois além de proteger os nutrientes das perdas provocadas pelas condições ambientais da superfície do solo (escoamento superficial, volatilização, entre outros), ela forma em profundidade uma faixa de solo onde os nutrientes estão em maior concentração, ou seja, pequenos sítios de adsorção saturados de nutrientes essenciais que estão presentes no DLB e podem realizar trocas mais facilmente com a solução do solo, podendo com isso ficar mais disponível para as plantas. Essa operação pode ser realizada até mesmo em sistemas conservacionistas como o plantio direto. Destaca-se que a injeção como estratégia de manejo de dejetos vem sendo utilizada com sucesso em outros países (VALLEJO et al., 2005), mas a alternativa é ainda pouco estudada no Brasil (DAMASCENO, 2010), principalmente quando se trata de dejetos líquidos bovinos.

3 HIPÓTESES

A injeção do dejetos líquido bovino no solo aumenta a disponibilidade de nutrientes nas camadas do solo e o aproveitamento destes pelas plantas, aumentando a produtividade e melhorando a composição químico-bromatológica da pastagem em relação à aplicação superficial;

O fertilizante orgânico é equivalente ao fertilizante mineral como fonte de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento da pastagem;

O uso de fertilizantes no inverno e a injeção ao solo do dejetos líquido bovino e do fertilizante mineral reduzem as perdas de amônia por volatilização em relação a adubações no verão e no modo de aplicação superficial.

4 OBJETIVOS

Determinar a resposta de pastagens de gramíneas de ciclo anual a fertilização com doses de dejetos líquidos bovino quando injetado no solo em relação à sua aplicação superficial, e também comparativamente ao fertilizante mineral e organomineral em um CAMBISSOLO HÚMICO de Lages – SC.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito da adubação com fertilizante mineral e com doses de dejetos líquidos bovino em aplicação superficial e injetada no solo sobre a produção de matéria seca da parte aérea e da composição químico-bromatológica das pastagens de milho e aveia preta;

Quantificar os teores de pH e nutrientes no solo após adubação com fertilizante mineral e doses de dejetos líquidos bovino em aplicação superficial e injetada no solo;

Comparar o uso do DLB como fertilizante para pastagem de milho e aveia em relação ao adubo mineral;

Quantificar as perdas de amônia por volatilização após aplicação de fertilizante mineral e dejetos líquidos bovino em superfície e injetadas no solo em duas épocas do ano.

5 CAPÍTULO I – USO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO EM APLICAÇÃO INJETADA NO SULCO COMO FERTILIZANTE PARA PASTAGEM DE MILHETO E AVEIA

5.1 RESUMO

O uso do dejetos líquido bovino (DLB) como fertilizante tem sido uma prática rotineira nas propriedades rurais. No entanto, o potencial fertilizante do DLB pode diminuir quando aplicado em altas doses na superfície do solo por favorecer perdas de nutrientes. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de DLB como fertilizante de pastagem quando injetado no solo em relação à sua aplicação superficial e também à adubação mineral. O trabalho foi conduzido durante dois anos no município de Lages – SC, em condições de campo com pastagem em simulação de pastejo, sobre um CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico. Os tratamentos compreenderam esquema fatorial 6x2, com seis fertilizações: a testemunha, sem fertilização; o FM; o DLB nas doses de 50, 100 e 150 m³ ha⁻¹, e uma fertilização organomineral de 50 m³ ha⁻¹ de DLB mais complemento com FM; em dois modos de aplicação dos fertilizantes: superficial e injetado. O delineamento foi o de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As fertilizações foram as parcelas e os modos de aplicação as subparcelas. A pastagem foi constituída por milho e aveia preta em cultivo sucessivo. Foram mensuradas a MS e a composição químico-bromatológica das pastagens. Também, foram coletadas amostras do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm e foram quantificados o pH em sal e os teores de macronutrientes. A injeção do DLB no solo aumentou a produção de MS do milho em relação à sua aplicação superficial, mas para o FM a aplicação superficial apresentou maiores valores de MS. A aplicação injetada aumentou os teores de proteína bruta, gordura bruta, nitrogênio e potássio na pastagem milho, mas diminuiu os teores de fósforo. O DLB+FM, em geral, apresentou os maiores valores dos teores da composição química-bromatológica do milho. A injeção ao solo dos fertilizantes aumentou a produção de MS da aveia preta em relação a aplicação superficial. No geral, as fertilizações DLB+FM e FM promoveram os maiores teores da composição química-bromatológica da aveia preta. No solo, o FM diminuiu o pH em relação ao DLB, e o DLB150 resultou nos maiores teores de K e P. A injeção dos fertilizantes ao solo diminuiu o pH, mas aumentou os teores de Ca e P

nas camadas de 0 a 10 cm, enquanto, a aplicação superficial aumentou os teores de Mg na camada de 0 a 2,5 cm. Assim, o uso do DLB foi tão eficiente em disponibilizar nutrientes para a pastagem quanto o fertilizante mineral, e de modo geral, a injeção do DLB demonstrou ser uma boa técnica para aumentar a eficiência deste como fertilizante de pastagem.

Palavras-chaves: Adubação orgânica. Potencial fertilizante. Injeção. Pastagem.

5.2 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande potencial para produção de derivados animais, como o leite, tendo como base alimentar as plantas forrageiras (BENITES et al., 2016). No entanto, a produção de animais a pasto é feita de forma pouco eficiente, devido à pouca preocupação com práticas conservacionistas e que visem garantir alta produtividade das pastagens, tais como correção e adubações do solo (ASSMANN et al., 2014). O uso de fertilizantes se torna limitado devido que o custo de sua aquisição é elevado, o que pode resultar na inviabilidade econômica da adubação de pastagens (MONDARDO et al., 2011), diminuindo a produção de MS e o valor nutritivo da forrageira (SKONIESKI et al., 2011, SILVA et al., 2015). Neste contexto, a produtividade animal é muito baixa, trazendo taxas de retorno insuficientes e até prejuízos ao pecuarista.

Porém, uma das possibilidades para a adubação de pastagens é utilizar o resíduo orgânico animal, chamado de dejetos líquidos bovinos (DLB), gerado nas instalações com sistema confinado total ou parcial (MARQUES et al., 2016). Essa prática é considerada uma estratégia eficaz para reduzir ou eliminar a dependência dos fertilizantes minerais e para manter a produtividade da pastagem, e resulta na ciclagem de nutrientes e sistemas mais sustentáveis (MARQUES et al., 2014; CHEN et al., 2014; FANGUEIRO et al., 2015; BIERER et al., 2017). Do mesmo modo, Withers et al. (2018) enfatizaram a importância da utilização dos resíduos orgânicos da produção agropecuária como fonte de nutrientes para a sustentabilidade da agricultura brasileira. Outros trabalhos também enfatizam o potencial fertilizante do DLB para

pastagens (ARAÚJO et al., 2011; GAMBAUDO et al., 2014; BARCELLOS et al., 2015; MARQUES et al., 2016).

No entanto, o potencial fertilizante do DLB pode não se manifestar completamente, dependendo de como é manejado, devido que aplicações de altas doses do resíduo orgânico em superfície do solo em sistema de plantio direto ocasionam maiores perdas de nutrientes por escoamento superficial (CAPOANE et al, 2015) e volatilização (BIERER et al., 2017). A aplicação de dejetos líquidos de animais diretamente sobre a superfície do solo favorece a perda de N principalmente por volatilização de NH_3 (RAUBER et al., 2017; BIERER et al., 2017), devido a condições de maior pH e temperatura nas camadas superficiais do solo. Segundo Maguire et al. (2011), as perdas de N devido à volatilização podem ser grandes, variando de 45% a 80% do N amoniacal aplicado via dejetos que pode ser perdido como NH_3 . Além disso, na ausência de preparo do solo existe a tendência de se concentrar nutrientes pouco móveis na camada superficial do solo, como o P (CASSOL, et al. 2012; BOITT et al., 2018), o que favorece sua transferência para os mananciais de água pela enxurrada e, ou erosão (BERTOL et al., 2017), que podem ser potencializadas com chuvas após a aplicação de DLB (CHEROBIM et al., 2017).

Assim, quando o objetivo é otimizar e quantificar a eficiência do DLB como fonte de nutrientes, recomenda-se o uso de tecnologias eficientes para atender rapidamente a esse objetivo (GEBREZGABHER et al., 2015). Destaca-se que a injeção como estratégia de manejo de dejetos vem sendo utilizada com sucesso em outros países (WEBB et al., 2014; CHEN et al, 2014; FANGUEIRO et al, 2015; BIERER et al., 2017), mas a alternativa é ainda pouco estudada no Brasil, principalmente quando se trata de DLB. A injeção ao solo do dejetos pode reduzir em até 90% as perdas de N por volatilização (WEBB et al., 2010) e pode diminuir as perdas de nutrientes no escoamento superficial (KULESZA et al., 2014). Segundo Dell et al. (2011) e Webb et al. (2014), quando o fertilizante orgânico é incorporado em linha, há um maior contato dos nutrientes do DLB com as partículas do solo em maiores profundidades, existindo uma maior associação de máximas quantidades possíveis de nutrientes com os sítios de adsorção, diminuindo as perdas.

Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar a resposta de pastagem de ciclo anual a doses de dejetos líquidos bovinos como fertilizantes quando injetados no solo em relação à sua aplicação superficial, e também ao fertilizante mineral e organomineral em um CAMBISSOLO HÚMICO de Lages – SC.

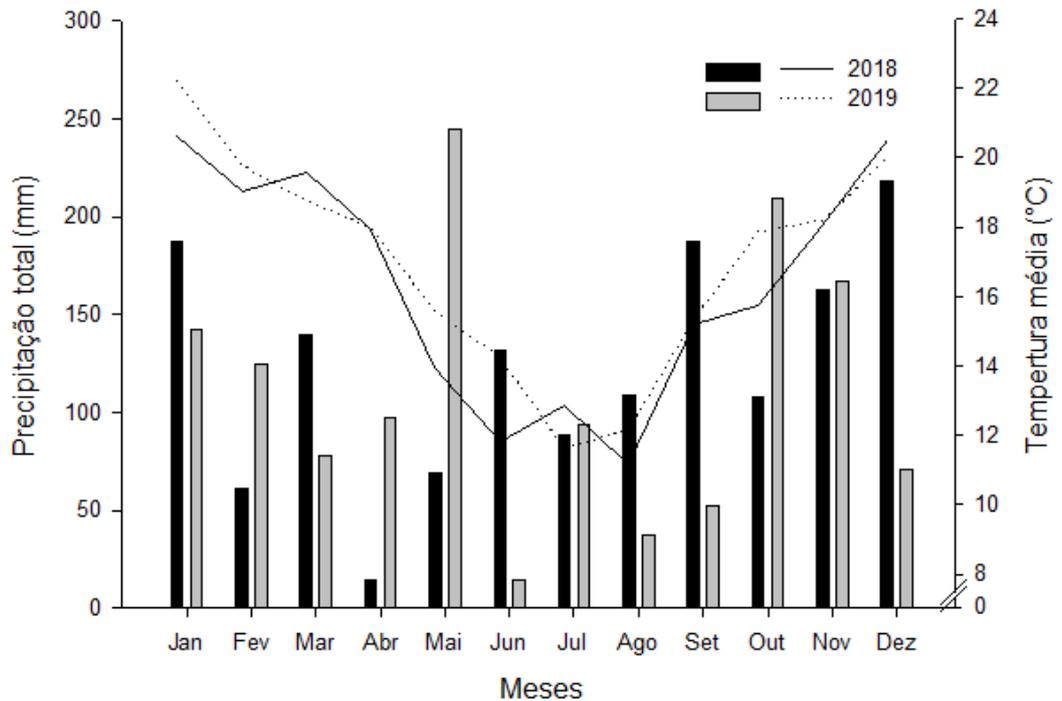
5.3 MATERIAIS E MÉTODOS

5.3.1 Localização e características da área experimental

O trabalho foi conduzido entre novembro de 2017 até novembro de 2019, em condições de campo com pastagem anual de milho e aveia em simulação de pastejo. A área se encontra no interior do município de Lages - SC, na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), a 27°44'00'' de latitude Sul e 50°04'50'' de longitude Oeste. A altitude média é de 892 m e o clima da localidade é caracterizado como mesotérmico úmido, com verão ameno (Cfb segundo a classificação de Köppen). As chuvas são distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.550 mm e 15,6 °C, respectivamente. A precipitação total e a temperatura média mensal durante a realização do experimento estão registradas na Figura 1 (EPAGRI-CIRAM, 2019).

O solo foi classificado como CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico (SANTOS et al., 2013). Nos últimos anos antes da implantação do experimento, a área foi mantida sob pousio e sem interferência agrícola. Para corrigir a acidez do solo para pH SMP igual a 5,5, em agosto de 2016 foram aplicadas 7,5 toneladas por ha⁻¹ de calcário filler dolomítico com PRNT de 90%, o qual apresentava 29% de óxido de Ca e 19% de óxido de Mg. O calcário foi distribuído uniformemente, em uma única aplicação na superfície do solo. Também, após a aplicação de calcário e antecedente a implantação do experimento, em outubro de 2016, foram realizadas coletas e análises do solo para caracterização das áreas, conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Figura 1 – Temperatura média (°C) e precipitação total (mm) nos meses ocorridos durante a condução do experimento (ano 2018 e 2019). As barras representam a precipitação e as linhas representam a temperatura.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Tabela 1 - Atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm de profundidade do CAMBISSOLO HÚMICO (CH) em Lages-SC, onde o experimento foi conduzido com a pastagem anual.

pH	SMP	MO	Argila	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{ph7}
		--- g kg ⁻¹ ---		mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----				
5,5	5,2	51	307	10,5	158	5,9	3,5	0,25	10,9	20,7

pH: pH do solo em água; SMP: pH do solo em solução tamponada; MO: matéria orgânica; P: fósforo disponível; K⁺: potássio disponível; Ca²⁺: cálcio trocável; Mg²⁺: magnésio trocável; Al³⁺: acidez trocável; H+Al: acidez potencial; V: saturação por bases; e, CTC_{ph7}: capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

5.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos compreenderam esquema fatorial 6x2, com seis fertilizações: a testemunha, sem fertilização (TEST), o fertilizante mineral (FM), o dejetos líquido bovino de leite nas doses de 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ ha⁻¹, uma fertilização organomineral com 50 m³ ha⁻¹ de DLB complementado com FM (DLB+FM), e dois modos de aplicação dos fertilizantes: superficial (SUP) e injetado (INC). O delineamento experimental foi em blocos completamente casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições, totalizando 48 unidades amostrais. As fertilizações foram alocadas nas parcelas principais e os modos de aplicação nas subparcelas. A área total do experimento foi de 1080 m² (27 x 40 m). O tamanho das parcelas foram de 40,5 m² (4,5 x 9 m) e das subparcelas foram de 18 m² (4,5 x 4 m), e a área útil de 12 m² (4 x 3 m).

As aplicações injetada e superficial dos fertilizantes foram feitas duas vezes ao ano, acontecendo antes da semeadura da pastagem de milho e aveia, uma na primavera/verão e outra no outono/inverno, respectivamente. Assim, no fim do experimento, totalizaram-se em 4 aplicações dos tratamentos no campo que ocorreram nas seguintes datas: 21 de novembro de 2017, 08 de junho de 2018, 17 de dezembro de 2018 e 05 de junho de 2019.

A pastagem foi constituída por milho (*Pennisetum glaucum*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) no inverno. As semeaduras do milho ocorreram em 28 de novembro de 2017 e 21 de dezembro de 2018, em uma densidade de 15 kg de sementes por ha. As semeaduras da aveia preta ocorreram nos dias 02 de julho de 2018 e 18 de junho de 2019, na densidade de 80 kg de semente por ha. As alturas de corte para simulação do pastoreio foram quando o milho atingiu entre 50 e 70 cm do solo e a aveia de 25 a 35 cm de altura. A competição interespecífica provocada por plantas espontâneas foi controlada com aplicação de herbicida glifosato em pré-emergência.

5.3.3 Caracterização do dejetos líquido bovino, equipamento de injeção e aplicação dos fertilizantes

A propriedade que disponibilizou o DLB se encontra em Lages - SC, nas margens da BR 116. O DLB foi obtido a partir de um rebanho leiteiro compostos por vacas da raça Jersey em sistema FreeStall. A estabilização do DLB ocorreu durante 3 a 4 meses em esterqueira aberta. A caracterização e as concentrações de nutrientes dos DLBs aplicados no experimento foram determinadas após digestão sulfúrica e nitroperclórica, conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995), e encontram-se demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características físicas e químicas dos dejetos líquido bovino de leite gerados por vacas Jersey confinadas em sistema FreeSatll aplicados na área do experimento como fertilizante das pastagens, Lages – SC.

	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NT	P	K	Ca	Mg	MS
	kg m ⁻³								%
DLB1	7,32	1,22	0,13	1,66	0,238	1,65	0,085	0,172	2,41
DLB2	8,08	0,91	0,07	1,76	0,237	1,89	0,106	0,192	4,39
DLB3	8,11	0,79	0,08	1,43	0,246	1,07	0,163	0,222	2,32
DLB4	7,84	0,63	0,07	1,98	0,460	1,18	0,111	0,267	3,63

DLB1: dejetos líquido bovino aplicado em 21 de novembro de 2017; DLB2: dejetos líquido bovino aplicado em 08 de junho de 2018; DLB3: dejetos líquido bovino aplicado em 17 de dezembro de 2018; DLB4: dejetos líquido bovino aplicado em 05 de junho de 2019; pH: pH em água; NT: nitrogênio total; e, MS: matéria seca.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A injeção do DLB ao solo foi realizada com equipamento desenvolvido em uma parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda. (Figura 2), composto de um tanque metálico com capacidade para 4.000 L, contendo linhas de injeção na parte traseira. O conjunto de linhas de injeção é fixado ao chassi do equipamento e compreende disco de corte frontal e facão sulcador em cuja face posterior é vertida o jato de DLB, distanciados em 35 cm. O conjunto é acionado por meio de pistão hidráulico central conectado por mangas de alta pressão ao sistema hidráulico do trator. Na tubulação de saída do tanque para as linhas de injeção, há um registro de esfera, que permite regulação da vazão. Este está posicionado antes da câmara de equalização da vazão, a qual tem a função de distribuir

o fluxo dos dejetos uniformemente nas mangueiras que conduzem às linhas de injeção. Os discos sulcadores apresentam diâmetro de 45 cm.

A injeção do DLB por subparcela foi realizada as linhas de injeção inseridas no solo, a uma profundidade de aproximadamente 7 cm e a mobilização média na superfície do sulco foi de 10 cm. Para aplicação incorporada do fertilizante mineral, usou-se o mesmo equipamento de injeção para abrir o sulco, e aplicou-se os fertilizantes minerais manualmente dentro do sulco. Posteriormente, estes sulcos foram fechados com uso de enxada. Para os tratamentos em superfície, a aplicação do DLB foi com o equipamento de incorporação com as linhas de injeção suspensas e do fertilizante mineral foi distribuição manual a lanço.

Figura 2 - Equipamento desenvolvido para injeção de dejetos líquido de animais pela parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda.



Fonte: <http://www1.ows.com.br/mepel/produto/ver/daol-incorporador/43>, acessado em 21 de fevereiro de 2020.

As quantidades de macronutrientes aplicados nos tratamentos com adubação após as 4 aplicações dos fertilizantes mineral e dejetos líquido bovino estão apresentadas na tabela 3. Os tratamentos FM e DLB+FM foram recomendados para cada pastagem conforme o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016), com base na primeira análise de caracterização do solo (tabela 1). Assim, as doses destes tratamentos foram calculadas para uma expectativa de rendimento de 12 e 7 Mg ha⁻¹ de massa seca para o milho e a aveia, respectivamente.

Tabela 3 - Doses de macronutrientes aplicados após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em CAMBISOLO HÚMICO em Lages - SC.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
	----- kg ha ⁻¹ -----				
Milheto 2017/2018					
FM*	190	140	120	40,9	–
FM+DLB*	190	140	120	39,2	8,8
DLB50	83	21	82	4,3	8,8
DLB100	166	41	164	8,5	17,5
DLB150	249	62	246	12,8	26,3
Aveia 2018					
FM*	130	70	70	20,5	–
FM+DLB*	130	70	95**	15,8	9,6
DLB50	88	34	95	5,3	9,6
DLB100	176	68	190	10,6	19,2
DLB150	264	102	285	15,9	28,8
Milheto 2018/2019					
FM*	190	100	120	29,3	–
FM+DLB*	190	100	120	27	11,1
DLB50	71	36	54	8,2	11,1
DLB100	143	71	107	16,4	22,2
DLB150	214	107	161	24,6	33,3
Aveia 2019					
FM*	130	70	70	20,5	–
FM+DLB*	130	70	71**	26,1	13,4
DLB50	100	67	71	5,6	13,4
DLB100	200	135	142	11,2	26,7
DLB150	300	202	213	16,8	40,1
TOTAL					
FM*	640	380	380	111,2	–
FM+DLB*	640	380	405	108,1	31,8
DLB50	342	158	302	23,4	31,8
DLB100	685	315	603	46,7	63,4
DLB150	1027	473	905	70,1	95,2

*Dose recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016).

**Valor alcançado com somente a aplicação do dejetos líquidos bovinos.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

No tratamento organomineral (DLB+FM), primeiramente foi aplicado o DLB no dia da aplicação dos fertilizantes, em seguida as concentrações de nutrientes no adubo orgânico foram definidas em laboratório de amostra retirada da máquina de injeção. Por fim, completou-se no

campo as quantidades faltantes de nutrientes com fertilizante mineral. As fontes de NPK dos fertilizantes minerais foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

5.3.4 Amostragem e análises do solo e da pastagem

Nas avaliações das pastagens, após seu estabelecimento, foram realizados cortes para determinação do rendimento da MS da parte aérea, da bromatologia e dos teores nutricionais no milho e na aveia. Estes cortes foram realizados utilizando um quadro metálico de 0,14 m² e com 7 cm de altura, que foi jogado duas vezes aleatoriamente dentro de cada subparcela, e, as plantas localizadas dentro deste quadro metálico foram cortadas manualmente com tesoura de poda. Após coleta das amostras, as subparcelas foram roçadas e o restante da pastagem foi retirada do local, simulando um pastejo rotacional. No total, na safra do milho 2017/2018, aveia 2018, milho 2018/2019 e aveia 2019 foram realizados 3 cortes, 3 cortes, 2 cortes e 2 cortes, respectivamente, totalizando 5 cortes para cada pastagem.

Em laboratório, assim que chegaram do campo, as amostras da forragem foram pesadas verdes (úmidas). Depois, a biomassa foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 65° C por 72h e pesadas novamente (peso seco), e pela diferença de peso, determinou-se o teor de matéria úmida. O rendimento da massa seca da parte aérea foi quantificado pelo peso seco da pastagem em g m⁻² e extrapolou-se os dados para Mg ha⁻¹. Após, procedeu-se a moagem das pastagens em moinho tipo Willey, com peneira de 1 mm. Além da produção de MS, foram determinados os atributos bromatológicos convencionais: proteína bruta (%PB), gordura bruta ou extrato etéreo (%GB), fibra em detergente neutro (%FDN), fibra em detergente ácido (%FDA), cinzas ou matéria mineral (%MM), segundo a metodologia chamada de Weende descrita por Silva e Queiroz (2002). Ainda, foram determinados nas pastagens os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, após a digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995).

Para análises dos atributos químicos do solo, as amostras foram coletadas após a última aplicação dos fertilizantes, e ocorreram nos dias 09 e 10 de agosto de 2019, com trado holandês e pá de corte, em seis camadas: 0 a 2,5 cm, 2,5 a 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm. Foram realizadas três subamostras de solo para cada subparcela. As amostras foram

destorroadas e guardadas em câmara fria para determinação imediata dos teores de nitrogênio mineral e, posteriormente foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, moídas e passadas em peneira 2 mm para determinação dos teores de fósforo e potássio disponíveis, de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis e o pH em solução salina.

O nitrogênio mineral foi quantificado pelo método macrokjeldahl de destilação a vapor descrito por Keeney & Bremner (1966). O pH do solo em solução salina de KCl 1M foi determinado em amostras diluídas na relação 1:1 de solo: solução, conforme o método proposto pela EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017). Os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro e manganês no solo foram determinados por extração pela solução Mehlich-3 (MEHLICH, 1984), sendo o fósforo quantificado por colorimetria, conforme metodologia de Murphy e Riley (1962), e o potássio por espectrofotometria de chama. Os teores de cálcio, magnésio, alumínio, manganês, zinco e ferro no solo foram quantificados por leitura no ICP-OES.

5.3.5 Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, a comparação das médias dos tratamentos foi pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Para as análises estatísticas foi utilizado o programa SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011).

Para os dados da composição químicos-bromatológicas das pastagens milheto e aveia foram apresentados os teores médios dos cinco cortes, para os dados de produtividade de MS das pastagens milheto e aveia foram apresentados os valores acumulados dos cinco cortes.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 Atributos químicos do solo

Após quatro aplicações dos tratamentos, os valores de pH do solo apresentaram efeito da interação entre modo de aplicação e fertilizações na camada de 0 a 2,5 cm (Tabela 4). Assim, observa-se que no modo de aplicação injetado, as fertilizações não diferiram entre si e o pH do solo variou entre 5,11 a 5,45 do tratamento DLB50 para o FM, respectivamente. No entanto, no modo de aplicação superficial, o tratamento DLB150 obteve pH do solo maior que o FM, apresentando os valores de 5,91 e 5,04, respectivamente. Porém, nenhum destes dois tratamentos diferiu da testemunha.

O menor valor do pH do solo na camada de 0 a 2,5 cm pelo fertilizante mineral na adição em superfície está relacionado com a adição da ureia como fonte nitrogenada, que após a aplicação deste tratamento, o amônio (NH_4^+) do fertilizante foi transformado em nitrato (NO_3^-) e/ou amônia (NH_3) e, em seguida, ocorre a lixiviação e/ou a volatilização do nitrogênio, ocasionando a liberação de íons H^+ e assim, a acidificação do solo (ROSADO et al., 2014). Tanto o processo de nitrificação quanto o de volatilização são mais acentuados em camadas superficiais do solo, devido que a volatilização ocorre em condições de pH e temperatura do solo mais elevados, e a nitrificação em condições de solo bem drenado e alta concentração de oxigênio. Assim, o fertilizante mineral acidificou o solo em maiores proporções somente no modo de aplicação superficial dos fertilizantes.

Ainda que no DLB também contenha uma predominância do nitrogênio do composto na forma amoniacal, o fertilizante orgânico apresenta compostos de reações alcalinizantes, como carbonatos (CHANTIGNY et al., 2004), que podem ter dominado sobre as reações acidificantes e fizeram com que a maior dose de DLB não diminuísse o pH no modo de aplicação superficial. Portanto, o DLB é um fertilizante que nessas condições não acidifica o solo em camadas superficiais. Barcellos et al. (2015), no município de Castro – PR, após 6 anos de aplicação superficial de doses de DLB (30, 60 e 90 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e níveis de adubação mineral (0, 50 e 100%) em um LATOSSOLO BRUNO, também observaram que o fertilizante

mineral reduziu o pH até a camada de 30 cm e, por outro lado, a aplicação de DLB proporcionou a manutenção do pH até a camada de 10 cm.

Tabela 4 - Valores de pH em suspensão solo:solução (relação 1:1) de KCl (1M) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetada (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em Lages – SC.

Modo de aplicação	Fertilizações						Média
	TEST	FM	DLB+FM	DLB50	DLB100	DLB150	
----- 0 a 2,5 cm -----							
INC	5,40 aA	5,45 aA	5,34 aA	5,11 aB	5,41 aA	5,32 aB	5,34
SUP	5,84 abA	5,04 bA	5,11 abA	5,83 abA	5,49 abA	5,91 aA	5,54
Média	5,62	5,25	5,22	5,47	5,45	5,61	
CV (%)	6,75						
----- 2,5 a 5 cm -----							
INC	4,81	4,56	4,8	4,94	4,99	5,29	4,89
SUP	5,10	4,64	4,67	5,04	5,10	5,55	5,01
Média	4,95 b	4,60 b	4,70 ab	4,99 ab	5,04 ab	5,42 a	
CV (%)	6,21						
----- 5 a 10 cm -----							
INC	4,28	4,08	4,23	4,57	4,33	4,34	4,31 A
SUP	4,09	3,92	3,87	4,08	4,21	4,26	4,07 B
Média	4,18	4,00	4,05	4,32	4,27	4,30	
CV (%)	5,82						
----- 10 a 20 cm -----							
INC	3,77	3,83	3,82	3,79	3,83	3,82	3,81
SUP	3,91	3,87	3,77	3,88	3,88	3,92	3,87
Média	3,84	3,85	3,80	3,83	3,85	3,87	
CV (%)	3,60						
----- 20 a 40 cm -----							
INC	3,73	3,69	3,68	3,72	3,73	3,74	3,71
SUP	3,79	3,57	3,66	3,73	3,67	3,71	3,69
Média	3,76	3,63	3,37	3,72	3,70	3,73	
CV (%)	2,42						

CV: coeficiente de variação.

Letras minúsculas comparam fertilização (linha) e letras maiúsculas comparam modo de aplicação (coluna) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Ainda na camada 0 a 2,5 cm, nota-se que a aplicação superficial dos tratamentos DLB50 e DLB150 obteve maior pH do solo em relação a injeção. Mesmo que o revolvimento do solo

seja baixo no modo de aplicação injetado dos fertilizantes, este intensifica as atividades bioquímicas dos microrganismos do solo e estimula maior mineralização da matéria orgânica do solo (DAMIAN et al., 2018), liberando para o solo maior concentração de íons H^+ e substituindo os cátions básicos por cátions ácidos (RAIJ, 1991). Assim, o pH do solo diminuiu com a mineralização dos compostos orgânicos de caráter ácido presentes no resíduo orgânico. Outra justificativa para este fato foi que os compostos de reações alcalinizantes do DLB, quando aplicados superficialmente no solo, acumularam-se na camada de 0 a 2,5 cm e causando maiores efeitos nessa camada.

Na camada de 2,5 a 5 cm (Tabela 4), observou-se efeito simples das fertilizações, onde o tratamento DLB150 promoveu maior pH do solo do que os tratamentos com aplicação de fertilizante mineral (FM e DLB+FM). Na média, o pH do solo nesta camada variou de 4,60 no tratamento FM a 5,42 no DLB150. Portanto, observa-se efeito semelhante a primeira camada, nos quais este resultado pode ser atribuído pela presença de ânions ou grupos funcionais orgânicos desprotonados do DLB, o que aumenta a adsorção de íons H^+ do solo e, conseqüentemente, promove aumento do pH do solo (CASSOL et al., 2012; LOURENZI et al., 2016), e também pela presença do N amoniacal da ureia do fertilizante mineral, que após a nitrificação ou volatilização, promove a diminuição do pH do solo (ROSADO et al., 2014). Scherer e Nesi (2009) no município de Chapecó – SC, estudando os efeitos da adubação orgânica com esterco de aves e suíno e do mineral com nitrato de amônio nas propriedades químicas de um LATOSSOLO VERMELHO, também constataram que o fertilizante mineral diminuiu o pH do solo em relação aos fertilizantes orgânicos.

Porém, o efeito simples que ocorreu na camada de 5 a 10 cm foi dos modos de aplicação, no qual a injeção dos fertilizantes obteve pH do solo maior que a aplicação superficial. Na média, o pH do solo diversificou entre 4,31 a 4,07 para o modo de aplicação injetado e superficial, respectivamente. Como supracitado, na aplicação superficial do DLB, os compostos de reações alcalinizantes ficaram acumulados nas camadas superficiais e reagiram com o solo a cima dos 5 cm, no entanto, quando o DLB foi injetado, estes compostos reagiram com o solo na camada abaixo dos 5 cm e promoveram o aumento do pH do solo na camada de 5 a 10 cm.

As áreas em sistemas de plantio direto apresentam duas camadas de solo distintas: uma mais superficial com características químicas mais favoráveis ao desenvolvimento das raízes, como o pH do solo mais elevado, e outra subsuperficial com baixo pH e menor fertilidade do solo (SCHERER & NESI, 2009). Estas condições promovem a concentração do sistema

radicular das plantas na camada mais superficial do solo e, assim, em ocasiões de baixa disponibilidade de água, as plantas absorvem menos água e nutrientes e diminuem a produtividade. Nestas ocasiões, a injeção do fertilizante orgânico e mineral ao solo pode ser uma alternativa para aumentar a fertilidade do solo em camadas mais profundas e, como resultado, o aumento de absorção de nutrientes e água devido ao maior crescimento das raízes. Na camada de 10 a 20 e 20 a 40 cm, não houve efeito das fertilizações e dos modos de aplicação nos valores de pH do solo.

Os teores de Mg^{2+} no solo não variaram entre as diferentes fertilizações nas camadas analisadas (Figura 3A), o que não era esperado, pois diferente do fertilizante orgânico, no tratamento mineral e na testemunha não foi aplicado magnésio ao solo. No entanto, a longo prazo, espera-se que os tratamentos com o DLB apresentem maiores teores de Mg^{2+} no solo em relação ao FM e à testemunha.

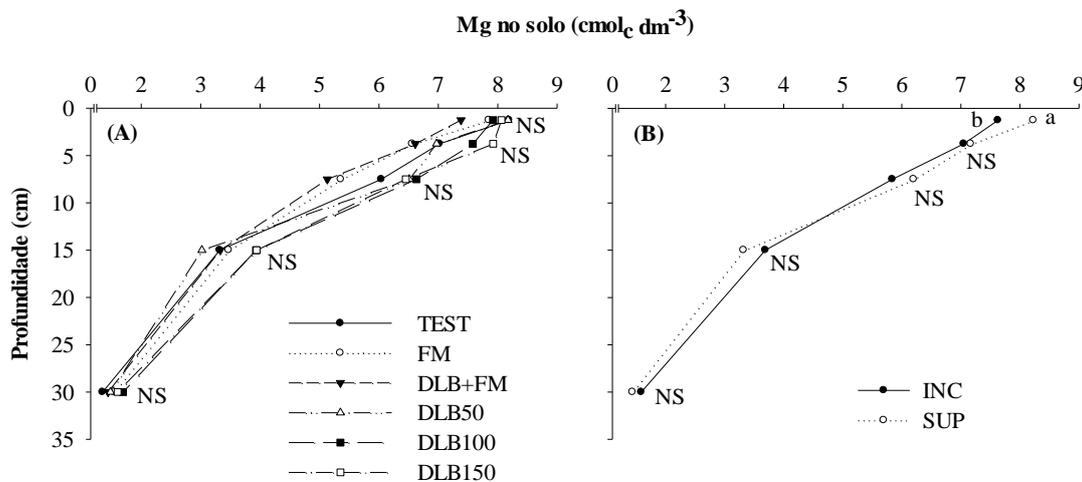
Provavelmente, a ausência de efeito das fertilizações no Mg^{2+} se deve a aplicação de calcário dolomítico no início do experimento e, assim, antes da aplicação dos tratamentos, os teores desse elemento no solo já estavam altos, conforme a interpretação do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016). Portanto, isso contribuiu para que as alterações nos teores de Mg^{2+} no solo provocadas pelos tratamentos fossem proporcionalmente pouco expressivas (CASSOL et al., 2012).

Do mesmo modo, em Uberlândia – MG, Silva et al. (2015) não observaram alterações entre a aplicação de fertilizante mineral e a dose de $180\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ dejetos líquidos suíno nos teores de Mg^{2+} na camada de 0 a 60 cm do solo em um LATOSSOLO VERMELHO cultivado com *Brachiaria decumbens*. No entanto, Silva et al. (2009) em Capão Alto – PR, observaram que após três aplicações superficiais de doses ($30, 60$ e $90\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$) de DLB em um LATOSSOLO BRUNO, os teores de Mg^{2+} no solo aumentaram de forma linear até a camada de 5 cm. Além disso, Cassol et al. (2012) após 9 aplicações em superfície de dejetos líquidos suíno e fertilizante mineral em sistema de plantio direto com cultivo de milho, observaram que os tratamentos que receberam o fertilizante mineral tiveram menor teor de Mg^{2+} em relação ao fertilizante orgânico na camada de 0 a 5 cm de um LATOSSOLO VERMELHO em Campos Novos - SC.

No entanto, obteve-se efeito simples dos modos de aplicação nos teores de Mg^{2+} no solo na camada de 0 a 2,5 cm (Figura 3B). Portanto, na média dos fertilizantes, observa-se que nesta camada a aplicação superficial dos fertilizantes aumentou $0,6\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ de magnésio no solo

em relação a injeção dos mesmos. Isso se deve ao fato que os fertilizantes foram aplicados em superfície e o Mg presente no DLB tendeu a ficar concentrado na primeira camada do solo, porém, quando aplicado de modo injetado no solo, o nutriente ficou distribuído pelo perfil do solo e, portanto, não se observa variação no teor deste nutriente entre as camadas avaliadas. Scherer e Nesi (2009) em Chapecó-SC, após aplicação de esterco de aves, esterco de suíno e nitrato de amônio em LATOSSOLO VERMELHO cultivado com milho no sistema de preparo convencional do solo (SPC) e sistema de plantio direto (SPD), também notaram que quando os fertilizantes foram incorporados ao solo (SPC), os teores de Mg^{2+} no solo ficaram distribuídos pelas camadas do solo.

Figura 3 -Teor de magnésio ($cmol_c dm^{-3}$) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $m^3 ha^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Barcellos et al. (2015), após 6 anos de aplicação superficial de doses (30, 60 e 90 $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) de DLB em um LATOSSOLO BRUNO, obtiveram incremento linear de Mg^{2+} no solo somente na camada de 0 a 5 cm. Também, Lourenzi et al. (2016) observaram em LATOSSOLO VERMELHO acréscimo dos teores de Mg^{2+} no solo, principalmente nas camadas superficiais do solo, após 6 anos de aplicação superficial de doses (2, 4, 8 e 16 $Mg ha^{-1}$) de composto orgânico derivado de dejetos líquidos suíno com maravalha. Assim, esses autores concluíram que

o acúmulo do Mg^{2+} na superfície do solo está relacionado com a quantidade do nutriente aplicado pelos fertilizantes orgânicos durante os 6 anos, com o modo de aplicação superficial e com a baixa exportação pelas plantas.

No entanto, o acúmulo do Mg^{2+} na superfície do solo nem sempre pode ser favorável, pois quando a disponibilidade dos nutrientes está concentrada na camada mais superficial, o crescimento das raízes fica limitado a esta camada, tendo como consequência a menor resistência a condições climáticas adversas e menor aproveitamento do nutriente (SILVA et al., 2009). Também, quando por erosão ocorrer a perda desta camada superficial com maior concentração de nutrientes, a fertilidade do solo ficara baixa, diminuindo o crescimento e a produtividade das plantas (OLIVEIRA et al., 2015). Portanto, para evitar estas ocasiões, o ideal é a distribuição dos elementos no perfil do solo e a solução pode ser a injeção dos fertilizantes ao solo.

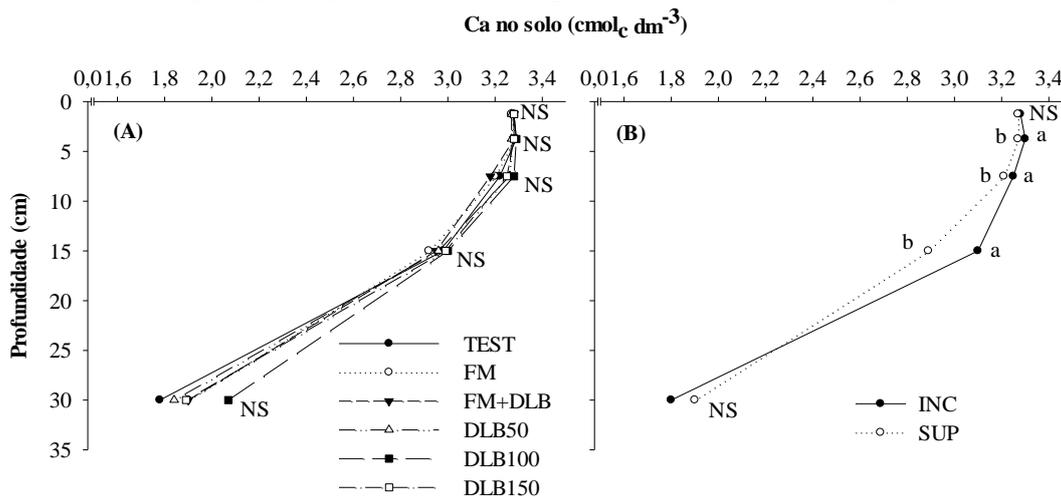
Para todas as camadas do solo, os teores de Ca^{2+} não foram alterados pelas diferentes fertilizações (figura 4A). Esse resultado não era esperado, ainda mais no caso do Ca^{2+} , pois tanto na aplicação do DLB quanto na do superfosfato triplo (fonte de P no fertilizante mineral) foi adicionado Ca^{2+} ao solo, diferentemente do tratamento testemunha. Assim como o Mg^{2+} , o Ca^{2+} foi fornecido em quantidade expressiva por ocasião da calagem do solo, conferindo antes de qualquer aplicação dos tratamentos o alto teor de Ca^{2+} no solo, conforme a interpretação do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016). Assim, o uso de adubo orgânico ou mineral não alterou os teores de Ca^{2+} no solo neste experimento.

Igualmente, um estudo no município de Araguaína – TO, Araújo et al. (2011) não observaram acréscimo nos teores de Ca^{2+} na camada de 0 a 40 cm após uma aplicação em superfície de doses (37,5, 75 e 112,5 m^3ha^{-1}) de DLB em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO cultivado com *Brachiaria Brizantha* cv Marandu. No entanto, no estudo de Silva et al. (2009) e Barcellos et al. (2015) com uso de dejetos líquido bovino e nos estudos de Cassol et al. (2012), Silva et al. (2015) e Erdmann et al. (2020) com dejetos líquido suíno, a fertilização orgânica proporcionou maiores teores de Ca^{2+} no solo em relação ao adubo mineral. Completando, esses autores destacam a importância do fertilizante orgânico como fonte de Ca^{2+} para as plantas, podendo substituir parcial ou completamente o adubo mineral.

Na figura 4B, observa-se que houve efeito simples do modo de aplicação nos teores de Ca^{2+} nas camadas de 2,5 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, onde a injeção dos fertilizantes apresentou a

maior concentração deste elemento em relação a aplicação superficial. Essa diferença foi mais notável na camada de 10 a 20 cm, pois, na média, a injeção dos fertilizantes foi superior em cerca de $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} no solo em relação ao modo de aplicação superficial. Esse fato pode ter ocorrido por dois motivos: (a) o pH do solo na camada de 10 a 20 cm foi maior quando os fertilizantes foram incorporados no solo, aumentando a disponibilidade do Ca^{2+} nessa camada; (b) a máquina injetora, ao abrir os sulcos, incorporou no perfil do solo o Ca^{2+} proveniente dos fertilizantes e do calcário em camadas subsuperficiais.

Figura 4 - Teor de cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Em alguns trabalhos, há indicações que as sucessivas aplicações de altas doses de dejetos líquidos em superfície, em sistema de cultivo sem revolvimento do solo, aumentam as quantidades de nutrientes, como o Ca^{2+} , nas camadas superficiais (CERETTA et al., 2003; SCHERER et al., 2007; SCHERER & NESI, 2009; GIROTTO et al., 2010). Assim como encontrado no estudo de Ceretta et al. (2003) em um ALISSOLO CRÔMICO, com aplicação superficial de doses (20 e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) de dejetos líquidos suínos em pastagem natural no município de Paraíso do Sul – RS, também observaram acúmulo do Ca^{2+} até a camada de 5 cm após a adubação orgânica em superfície. Também, Scherer e Nesi (2009) em Chapecó-SC, observaram

que os teores de Ca^{2+} no solo foram maiores na camada superficial após adubação com esterco de aves em sistema de plantio direto em relação ao mesmo fertilizante no sistema de plantio convencional, com revolvimento do solo.

Por outro lado, com a injeção ao solo, há um maior contato do DLB com as partículas do solo em profundidade, assim, os elementos ficam mais distribuídos pelos sítios de adsorção ao longo do perfil do solo, diminuindo as perdas de nutrientes por escoamento superficial ou por lixiviação, fazendo com que estes fiquem mais disponíveis por mais tempo para as plantas. Essa distribuição do Ca^{2+} em camadas subsuperficiais é favorável porque diminui a saturação do Al^{3+} no solo, o que aumenta a absorção de água e nutrientes pelas raízes devido ao maior crescimento destas em profundidade e, por fim, aumenta a resistência da planta a condições climáticas adversas e a produtividade das plantas (STONE & SILVEIRA, 2001)

Os teores de K^+ no solo tiveram efeito de interação entre fertilizações e modo de aplicação na camada 0 a 2,5 cm (Tabela 5). Nesta camada, para o modo de aplicação injetado, o tratamento testemunha, com 621 mg dm^{-3} , apresentou os menores teores de K^+ no solo, o que já era esperado, pois este tratamento não foi aplicado fertilizante. Ainda, os teores dos tratamentos FM, DLB+FM e DLB50 não diferiram da testemunha, ou seja, os tratamentos que diferiram da testemunha foram o DLB100 e o DLB150, apresentando 1216 mg dm^{-3} e 1362 mg dm^{-3} de K, respectivamente. Após as quatro aplicações dos fertilizantes, a quantidade de K adicionado no solo nos tratamentos DLB100 e DLB150 foram respectivamente 2 e 3 vezes maior que a necessidade do milho e aveia (Tabela 2), o que explica os maiores teores de K^+ no solo. No entanto, essa alta concentração de K^+ não é desejável, pois diminui a absorção e pode causar deficiência de Mg^{2+} para as plantas. Assim, se faz necessário manejar doses adequadas de DLB para a adubação de pastagem.

No entanto, ainda na camada de 0 a 2,5 cm, as fertilizações não foram diferentes no modo de aplicação superficial. Este fato pode ter ocorrido porque houve escoamento superficial do DLB, que podem ter sido potencializadas com chuvas após a aplicação (CHEROBIM et al., 2017), principalmente das maiores doses (DLB100 e DLB150) e, assim, perdeu-se K^+ para o meio e diminuiu a sua disponibilidade para as plantas nos tratamentos com fertilizante orgânico. Ainda, o DLB pode ter escoado para as parcelas com fertilizante mineral e a testemunha, acrescentando K^+ nestes tratamentos durante a condução do experimento. Isso explica a ausência de efeito entre as fertilizações e a testemunha, tanto para o K^+ quanto para o Ca^{2+} e para o Mg^{2+} no solo. Novamente, pode-se enfatizar que se deve usar o manejo correto de doses

de DLB, pois o escoamento deste fertilizante orgânico pode causar eutrofização de mananciais de água a jusante dos locais da aplicação (CERETTA et al., 2005; BERTOL et al., 2017). Portanto, ao empregar doses altas de DLB, o mais correto é utilizar o modo de aplicação injetado para evitar o escoamento do adubo orgânico por enxurrada.

Por fim, na camada 0 a 2,5 cm, a aplicação superficial do fertilizante mineral concentrou maior teor de K^+ no solo do que a injeção (Tabela 5), sendo os valores iguais a 1470 e 883 $mg\ dm^{-3}$ de K, respectivamente. Estudos com sucessivas aplicações de fertilizantes minerais revelaram que no sistema de plantio direto, a pouca mobilização do solo promove o acúmulo de nutrientes, como o K^+ (SCHERER & NESI, 2009; SCHERER et al., 2010; LOURENZI et al., 2016), ficando passíveis a perdas por escoamento superficial (SCHERER et al., 2010). No entanto, essa diferença dos modos de aplicação superficial e injetado não foi observada para as doses de DLB, devido a dois fatos: (a) com o adubo orgânico foi adicionada elevada quantidade de K^+ , diminuiu-se o efeito do modo de aplicação e; (b) com o escoamento do DLB na aplicação superficial, houve maiores perdas de K^+ para o meio e, assim, este nutriente não apresentou acúmulo na camada superficial. Do mesmo modo, Erdmann et al. (2020) em Lages – SC, após três aplicações superficiais e injetadas de dejetos líquidos suíno e fertilizante mineral em um CAMBISSOLO HÚMICO cultivado com milho, não constataram alterações no teor de K^+ no solo entre os diferentes modos de aplicação.

Na camada de 2,5 a 5 cm, observa-se efeito simples das diferentes fertilizações, onde a testemunha demonstra o menor teor e o DLB150 o maior teor de K^+ no solo, contendo na média valores iguais a 396 e 846 $mg\ dm^{-3}$ de K^+ , respectivamente. No entanto, os tratamentos FM, DLB+FM e DLB50 não se distinguiram da testemunha. Assim, as doses de 100 e 150 m^3ha^{-1} de DLB foram os tratamentos que incrementaram este nutriente nesta camada. Ainda, o DLB150 evidenciou maiores teores de K^+ no solo também em relação aos tratamentos FM, DLB+FM e DLB50. Na camada de 5 a 10 cm, somente o DLB150 aumentou o teor de K^+ no solo em relação a testemunha. Os altos teores de K^+ no solo pelo DLB150 refletem a maior adição deste nutriente em relação à retirada pelos cortes das pastagens. Também, essa alta concentração de K^+ pelo perfil do solo do tratamento com a maior dose de DLB foi decorrente de uma provável lixiviação devido a quantidade adicionada deste elemento neste tratamento. As camadas de 10 a 20 e 20 a 40 cm não tiveram efeito significativo para as fertilizações e modo de aplicação.

Tabela 5 - Teor de potássio (mg dm^{-3}) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetadas (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) em Lages – SC.

Modo de aplicação	Fertilizações						Média
	TEST	FM	DLB+FM	DLB50	DLB100	DLB150	
----- 0 a 2,5 cm -----							
INC	621cA	883abcB	816bcA	907abcA	1216abA	1362aA	967
SUP	1003aA	1470aA	1195aA	1150aA	1138aA	1036aA	1165
Média	812	1176	1005	1029	1177	1199	
CV (%)							24,5
----- 2,5 a 5 cm -----							
INC	531	399	411	371	538	821	511
SUP	207	481	413	595	743	872	551
Média	369c	440bc	412bc	483bc	640ab	846a	
CV (%)							40,7
----- 5 a 10 cm -----							
INC	203	212	304	342	375	433	312
SUP	216	273	255	364	471	495	346
Média	209b	242ab	279ab	353ab	423ab	464a	
CV (%)							31,7
----- 10 a 20 cm -----							
INC	156	143	193	213	212	195	185
SUP	165	156	141	250	198	198	185
Média	160	150	167	231	205	196	
CV (%)							19,8
----- 20 a 40 cm -----							
INC	182	198	196	217	240	230	210
SUP	211	206	253	357	272	214	252
Média	197	202	225	287	256	222	
CV (%)							23,6

CV: coeficiente de variação.

Letras minúsculas comparam fertilização (linha) e letras maiúsculas comparam modo de aplicação (coluna) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

No trabalho de Scherer et al. (2010), após caracterização de áreas com mais de 15 anos de aplicação de dejetos líquidos suínos e de fertilizante mineral em propriedades rurais da região oeste de Santa Catarina, verificaram que a adubação mineral incrementou os teores de K^+ apenas nas camadas mais superficiais, enquanto que a adubação orgânica aumentou os teores do nutriente até 1 m de profundidade. Estes autores ainda observaram que até a profundidade

de 20 cm, os teores de K^+ no solo estão bem acima do valor de 180 mg dm^{-3} de K, estabelecido como teor muito alto para as classes de solo estudadas, conforme o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016). Assim como encontrado por Silva et al. (2015) com cultivo de *Brachiaria decumbens*, em Uberlândia – MG, que tanto nos tratamentos que receberam doses de adubação orgânica como aqueles com adubação mineral, observaram movimentação do K^+ no perfil do solo até a camada de 60 cm.

Contudo, quando utilizado com a dose correta junto com o modo de aplicação correto e outros manejos conservacionistas, impedindo a perda do potássio por escoamento superficial ou lixiviação, o DLB pode ser utilizado como fertilizante para as plantas (BARCELLOS et al., 2015), podendo substituir o uso de adubos minerais. Diversos trabalhos com o uso de adubos orgânicos contendo alto teor de K^+ não observaram que este fato foi prejudicial ao desenvolvimento de pastagens (CERETTA et al., 2003; ARAÚJO et al., 2011; SILVA et al., 2015) ou de culturas de grãos (CASSOL et al., 2012; ERDMANN et al., 2020).

Os teores de P no solo também tiveram interação entre as fertilizações e modo de aplicação na camada de 0 a 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10 cm (Tabela 6). Assim, primeiro se discute abaixo o efeito das fertilizações dentro de cada modo de aplicação para as três camadas, e depois o efeito dos modos de aplicação dentro de cada fertilização também para as três camadas.

Assim, diferente do que ocorreu com o K^+ no solo, para os teores de P no modo de aplicação injetado, as fertilizações não foram diferentes entre si na camada de 0 a 2,5 cm, embora os valores variaram de 29,1 para $116,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P nos tratamentos testemunha e DLB100, respectivamente. Já para o modo de aplicação superficial dos fertilizantes, observa-se que a testemunha possui o menor teor de P com $45,2 \text{ mg dm}^{-3}$, e o DLB150 apresentou o maior teor com $234,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de P. Porém, os tratamentos DLB+FM, DLB50 e DLB100 não diferiram no teor de P em relação a testemunha. Somente o fertilizante mineral e a maior dose de DLB incrementaram os teores de P, em valores de 4 e 5 vezes a mais de P em relação a testemunha, respectivamente. Ainda no modo de aplicação superficial na camada de 0 a 2,5cm, o FM não diferiu dos tratamentos DLB+FM, DLB50 e DLB100.

No tratamento com a maior dose de DLB foi adicionado 100 kg ha^{-1} de P acima da recomendação para o milho e aveia. Assim, esperava-se que a aplicação superficial do DLB150 apresentasse o maior teor de P na camada de 0 a 2,5 cm em relação a testemunha e aos demais tratamentos. Esse fato ocorreu devido que o P é pouco móvel no solo e tende a ficar

acumulado em camadas mais superficiais na ausência de preparo do solo (CASSOL et al., 2012; SILVA et al., 2015; BOITT et al., 2018). Porém, quando a dose de $150 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de DLB foi injetada ao solo, o efeito de concentrar o P foi dispersado nas camadas subsuperficiais e, por isso, neste modo de aplicação para esta camada não foi observado o efeito da maior dose do fertilizante orgânico em relação aos outros tratamentos. Para enfatizar este fato, na camada de 0 a 2,5 cm, a aplicação superficial do DLB150 demonstrou maior teor de P em relação a injeção deste tratamento, e na camada de 2,5 a 5 cm, o efeito do modo de aplicação no tratamento DLB150 foi ao contrário.

Na camada de 2,5 a 5 cm, no modo de aplicação injetado dos fertilizantes, a testemunha tem o menor teor de P do solo com $17,9 \text{ mg dm}^{-3}$, valor semelhante aos observados nos tratamentos FM e DLB50. As doses 100 e $150 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ do DLB aumentaram os teores de P em relação a testemunha, apresentando valores iguais a $44,3$ e $63,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de P, respectivamente, no entanto, a dose $100 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ do DLB não diferiu dos tratamentos FM e DLB50. Na aplicação superficial dos fertilizantes, o DLB150 apresentou o maior teor de P em relação a todos os outros tratamentos.

Ainda avaliando as fertilizações dentro dos modos de aplicação, na camada de 5 a 10 cm, na injeção dos fertilizantes, o tratamento DLB+FM foi o único que incrementou P em relação a testemunha nessa camada. Mas, no modo de aplicação superficial, não houve diferença entre as fertilizações. Como o P é pouco móvel no solo, na aplicação superficial dos fertilizantes, o P adicionado ficou retido na camada de 0 a 5 cm e, logo, as fertilizações não tiveram diferença no teor de P nas camadas mais inferiores, quando comparadas a testemunha.

Em todas as camadas, o fertilizante orgânico DLB demonstrou potencial fertilizante como fonte de P para as plantas, pois forneceu P no solo igual ou a mais que o fertilizante mineral. Barcellos et al. (2015), após 6 anos de aplicação superficial de doses de DLB (30 , 60 e $90 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e níveis de adubação mineral (0, 50 e 100%) em um LATOSSOLO BRUNO, também constataram que os dois tipos de fertilizante não diferem entre si e aumentaram os teores de P até a camada de 5 cm do solo em relação as testemunhas. No entanto, no estudo de Erdmann et al. (2020) com três aplicação de fertilizante mineral e dejetos líquido suíno com recomendação para o nitrogênio para o milho ($160 \text{ kg de N ha}^{-1}$), observaram que na camada de 0 a 5 cm o fertilizante orgânico aumentou mais P em relação ao mineral, já na camada de 5 a 10 cm, os dois fertilizantes foram iguais e superiores a testemunha. Porém, esses autores relatam que o enriquecimento de P nas camadas superficiais após aplicação de fertilizantes deve

ser monitorado com precaução, tendo em vista que podem ocorrer perdas de solo e P em situações favoráveis ao escoamento superficial, tendo potencial para diminuir a qualidade da água nos cursos a jusante.

Agora, em se tratando do efeito do modo de aplicação nos teores de P em cada fertilização, observa-se na Tabela 6 que na camada de 0 a 2,5 cm a aplicação superficial do FM e do DLB150 acrescentaram mais P ao solo do que a injeção destes fertilizantes. Estes dois tratamentos foram as fontes que mais adicionaram o P ao solo, e assim, devido à baixa mobilidade do P, em solos não revolvidos, acumularam mais esse elemento na camada superficial. Portanto, tanto o fertilizante orgânico, quanto o mineral, quando aplicados superficialmente ficam propensos à ocorrência de perdas de P pelo escoamento superficial (BERTOL et. al., 2017; BOITT et al., 2018).

Já na camada de 2,5 a 5 cm, tanto no tratamento DLB150 quanto o DLB+FM, a injeção apresentou maiores teores de P no solo em relação ao modo de aplicação superficial. Pode-se inferir que a injeção destes tratamentos evitou o acúmulo concentrado de P nos primeiros centímetros do solo, o que reduz o risco da perda deste nutriente juntamente com perdas de solo, de água e do dejetos líquido por escoamento superficial. Assim, a injeção aumentou a eficiência do dejetos líquido como fonte de P, aumentando sua disponibilidade em profundidade para as plantas e reduzindo os riscos de contaminação das águas de superfície, que causa a eutrofização e outros problemas ambientais. E na camada de 5 a 10 cm, somente no DLB+FM que a injeção deste tem teor de P superior a aplicação superficial.

Similarmente, ao estudar por três anos os modos de aplicação superficial e injetado de fertilizante orgânico e mineral em um CAMBISSOLO HÚMICO de Lages – SC, Erdmann et al. (2020) demonstraram que na média a injeção dos fertilizantes aumentou o teor de P em relação à aplicação superficial na camada de 0 a 5 cm. Estes autores ainda indicam que a injeção dos fertilizantes evita que o P seja perdido na mesma taxa que quando aplicado superficialmente, pois ao adicionar o P de forma concentrada em sulcos, são criadas faixas de alta disponibilidade do nutriente e, também, dessa forma o P está menos susceptíveis a perdas por escoamento superficial. Assim, a injeção dos fertilizantes no solo, atenua possíveis problemas ambientais, como a eutrofização de águas, e por aumentar a eficiência de fertilização dos fertilizantes, diminui o custo para o produtor com as adubações do solo.

Tabela 6 - Teor de fósforo (mg dm^{-3}) em camadas de um CAMBISSOLO HÚMICO sob cultivo de milho e aveia após quatro fertilizações injetadas (INC) e superficiais (SUP) com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada (INC) e superficial (SUP) em Lages – SC.

Modo de aplicação	Fertilizações						Média
	TEST	FM	DLB+FM	DLB50	DLB100	DLB150	
----- 0 a 2,5 cm -----							
INC	29,1aA	81,7aB	103,3aA	50,1aA	116,1aA	78,0aB	76,4
SUP	45,2cA	178,0abA	112,9bcA	80,6bcA	126,9bcA	234,5aA	129,7
Média	37,1	129,8	108,1	65,4	121,5	156,3	
CV (%)	41,7						
----- 2,5 a 5 cm -----							
INC	17,9cA	27,9bcA	72,4aA	26,4bcA	53,1abA	87,4aA	43,5
SUP	22,2bA	33,4bA	42,3bB	24,4bA	44,3bA	63,6aB	42,3
Média	20,1	30,6	57,32	25,4	48,7	75,5	
CV (%)	33,6						
----- 5 a 10 cm -----							
INC	18,5bA	20,7abA	49,1aA	34,3abA	39,4abA	33,6abA	32,6
SUP	14,9aA	27,3aA	20,9aB	21,8aA	31,8aA	35,5aA	25,3
Média	16,8	24,00	35	28	35,6	34,60	
CV (%)	34,8						
----- 10 a 20 cm -----							
INC	12,4	9,7	19,1	13,4	15,6	13,6	13,9
SUP	13,2	13,6	16,3	11,9	14,9	19,9	14,9
Média	12,8	11,6	17,70	12,6	15,3	16,7	
CV (%)	28,15						
----- 20 a 40 cm -----							
INC	8,1	5,9	9,2	4,8	9,7	6	7,3
SUP	5,6	5,2	7,9	5,9	5,9	7,6	6,3
Média	6,8ab	5,6b	8,6a	5,3b	7,8ab	6,8ab	
CV (%)	30,10						

CV: coeficiente de variação.

Letras minúsculas comparam fertilização (linha) e letras maiúsculas comparam modo de aplicação (coluna) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Todavia, este trabalho deve continuar a ser desenvolvido a longo prazo, pois alguns dados ainda são inconstantes. Segundo Fangueiro et al. (2015), a injeção de dejetos é uma das técnicas mais recomendadas em alguns países, mas existem algumas limitações que dificultam sua implementação, a saber: (a) requer forte investimento inicial em máquinas e maior consumo de energia; (b) não é aplicável em solos pedregosos ou argilosos; e (c) não é aplicável em pequenas parcelas. Neste caso, o item c é aplicável a este estudo, onde as parcelas são pequenas para a aplicação do DLB devido ao tamanho da máquina injetora, onde as parcelas,

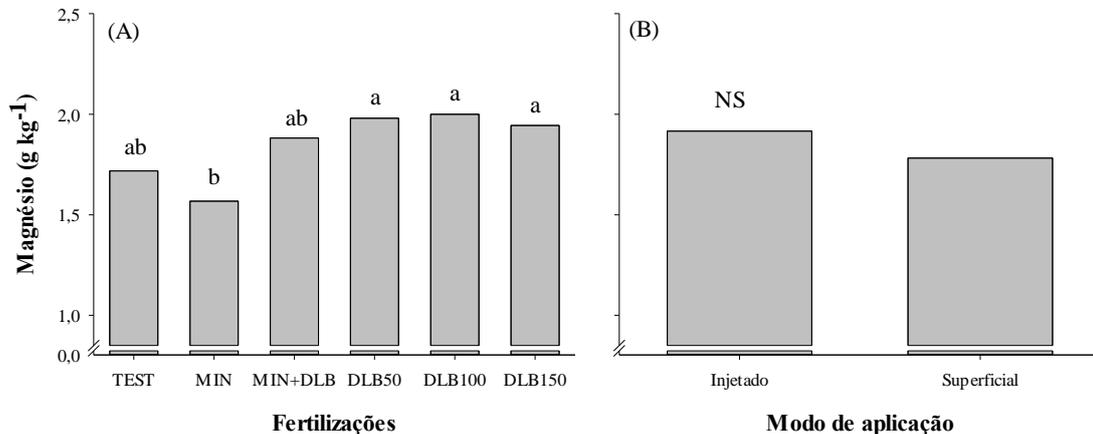
principalmente as que possuíam os tratamentos com as maiores doses de DLB, podem ter afetado outras parcelas adjacentes.

5.4.2 Composição química e bromatológica do milheto

Apesar de que as distintas fertilizações não alteraram o teor de Mg^{2+} no solo, os teores deste nutriente na pastagem composta por milheto obteve comportamento diferente (Figura 5A), onde o tratamento FM proporcionou o menor teor de Mg na pastagem, apresentando $1,57 \text{ g kg}^{-1}$. O DLB aumentou o teor de Mg no milheto em relação ao FM, no entanto, os tratamentos testemunha e DLB+FM não foram diferentes das doses de DLB e nem do FM. Ainda, não houve diferença entre o modo de aplicação injetado e superficial (Figura 5B).

A menor concentração de Mg na pastagem milheto pelo fertilizante mineral em relação as doses de DLB pode estar atrelada ao fato de que neste tratamento não foi adicionado Mg^{2+} ao solo durante a condução do experimento. Também, a fertilização com FM reduziu o pH do solo e aplicou maiores quantidades de Ca^{2+} no solo em relação as doses de DLB e a testemunha, e esses fatos podem ter contribuído para uma menor absorção de Mg^{2+} pelo milheto. Em Goiânia – GO, Barnabé et al. (2007), ao estudarem aplicação de doses ($50, 100$ e $150 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$) de dejetos líquidos suíno e fertilizante mineral em pastagem de *Brachiaria Brizantha* cv Marandu, observaram que a maior dose de dejetos aumentou o teor de Mg na pastagem quando comparada ao FM, e que estes dois fertilizantes obtiveram maiores teores em relação a testemunha. Também, o experimento de Marques et al. (2016) no município de Itaqui – RS, após fertilização com DLB na dose de $135 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ e FM em consórcio de aveia e azéveo em um PLINTOSSOLO HÁPLICO, observou que o adubo orgânico aumentou o teor de Mg na pastagem em relação ao adubo mineral.

Figura 5 – Teor médio de magnésio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

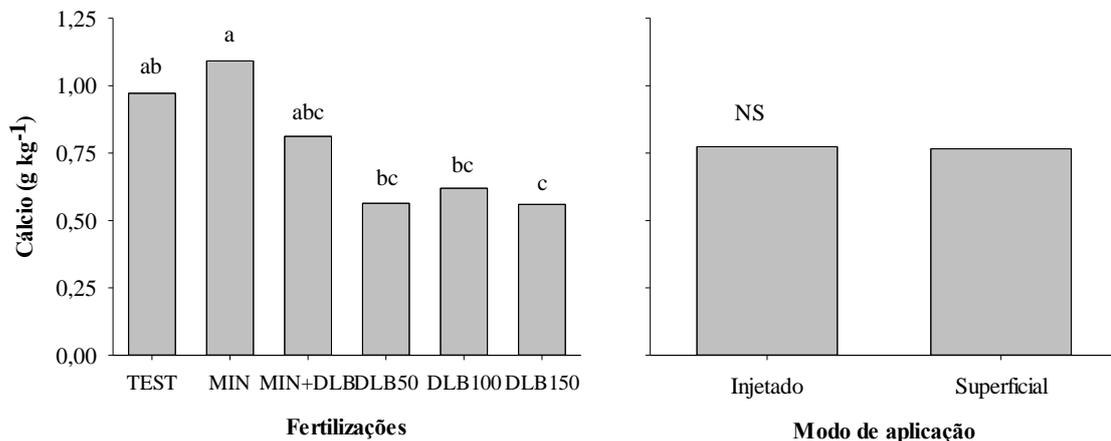
O Mg é um nutriente que precisa ser ingerido com mais frequência pelos bovinos, pois o mecanismo homeostático não é eficiente o suficiente para manter os níveis de Mg no sangue e pela dificuldade dos animais adultos em mobilizarem grandes quantidades de Mg dos ossos (MEDEIROS et al., 2015). Assim, conforme este trabalho e outros, o DLB foi o fertilizante mais eficiente para aumentar a concentração do Mg na pastagem e melhorar o valor nutritivo desta no requisito Mg.

Os teores de Ca no milho tiveram desempenho inverso ao do Mg, pois o FM com 1,09 g kg^{-1} teve a maior concentração de Ca, no entanto, não foi diferente dos tratamentos testemunha e DLB+FM (Figura 6A). Todas as doses de DLB apresentaram teor de Ca na pastagem menor que o FM. As doses de 50 e 100 m^3ha^{-1} não foram diferentes da testemunha e DLB+FM, mas a dose de 150 m^3ha^{-1} foi menor que a testemunha no teor desse nutriente na pastagem. Em relação aos modos de aplicação dos fertilizantes, não houve diferença entre estes para o teor de Ca na pastagem (Figura 6B).

Ainda que os teores de Ca^{2+} no solo não tenham sido diferentes com as fertilizações, o FM foi o adubo que mais adicionou Ca ao solo, no total de 111,2 kg ha^{-1} , influenciando a maior

absorção deste pela pastagem neste tratamento. No entanto, as doses de DLB, principalmente a de $150 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, diminuíram os teores de Ca nessa pastagem devido ao fato que foram adicionadas quantidades altas de K^+ no solo com esses tratamentos. Pois, segundo Malavolta (2006), fatores externos podem afetar a absorção do Ca^{2+} no solo pelas plantas, como a presença de outros íons, como K^+ e Mg^{2+} em concentrações altas no solo.

Figura 6 - Teor médio de cálcio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

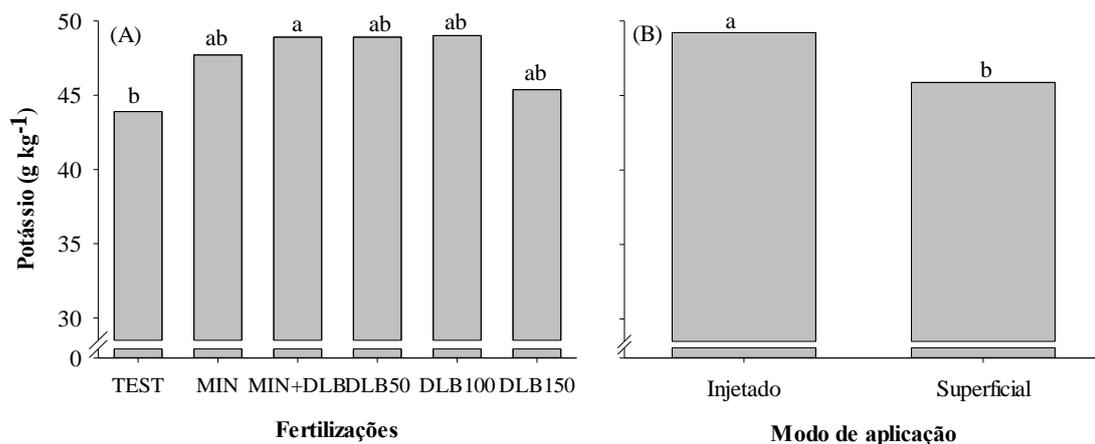
NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Porém, Marques et al. (2016) não observaram diferença do fertilizante orgânico para o mineral em relação aos teores de Ca na pastagem em consórcio de aveia preta e azéveo. Ainda, nos estudos com aplicação de dejetos líquidos suínos e FM em *Brachiaria*, de Barnabé et al. (2007) e Silva et al. (2015), observou-se que as doses de 150 e $120 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, respectivamente, aumentaram os teores de Ca na pastagem em relação ao FM. Assim, estes autores citam que o uso de fertilizante orgânico como forma de aporte de nutrientes a forrageiras constitui uma forma viável de produzir forragem em quantidade e qualidade semelhante a pastagens adubadas com fertilizante mineral.

Apesar de não fazer parte de compostos orgânicos estáveis, o K é um dos elementos acumulado em maiores quantidades na pastagem, e é essa a principal fonte de K exigido pelos bovinos. Os teores de K na pastagem milheto apresentaram efeito simples de fertilização (Figura 7A) e de modo de aplicação (Figura 7B). Para as fertilizações, os teores de K encontrados na pastagem não foram diferentes entre os tratamentos que obtiveram aplicação de adubo orgânico ou mineral, e somente o DLB+FM obteve maiores concentrações de K na pastagem em relação ao tratamento testemunha, sendo os valores de 50,4 e 43,9 g kg⁻¹, respectivamente.

Figura 7 - Teor médio de potássio (g kg⁻¹) em cinco cortes de pastagem composta por milheto após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações na Figura 7A e modo de aplicação na Figura 7B pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Da mesma forma, o trabalho de Silva et al. (2015) após fertilização mineral, organomineral e de doses de dejetos líquidos suínos apresentou que o tratamento organomineral obteve o maior teor de K no tecido vegetal da pastagem *Brachiaria decumbens*. No entanto, junto com este tratamento, as fertilizações com FM e dose de 180 m³ha⁻¹ de dejetos também foram superiores a testemunha no teor de K na pastagem. Gambaudo et al. (2014) e Mondardo et al. (2011) que aplicaram doses de dejetos líquidos de bovino e suíno, respectivamente,

verificaram o aumento linear dos teores de K em tecido vegetal de pastagem de sorgo e aveia com o aumento das doses dos adubos orgânicos.

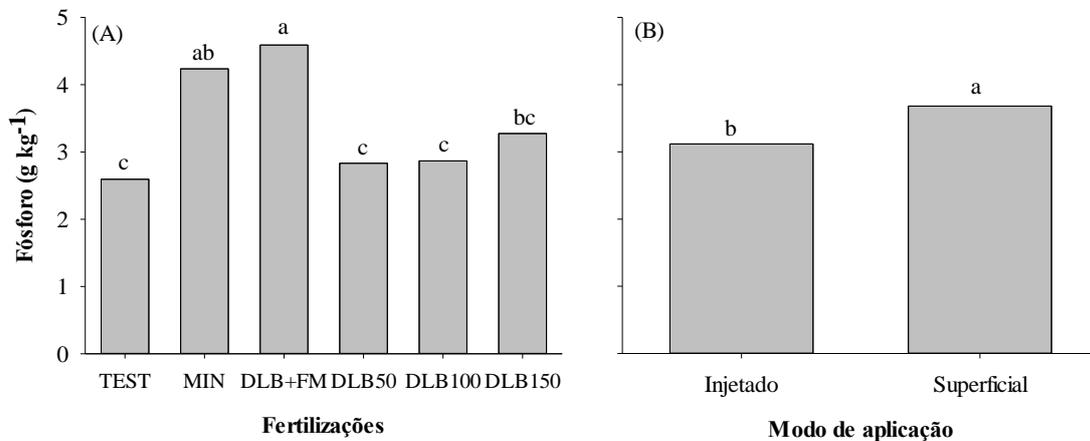
Na figura 7B, observa-se que a aplicação injetada dos fertilizantes apresentou maiores teores de K na pastagem milheto em relação ao superficial. Este resultado pode ter sido causado pelo fato de que quando o DLB foi aplicado de modo superficial no solo, este elemento foi facilmente perdido pelo escoamento superficial do DLB para fora da área experimental, principalmente nas maiores doses, ficando indisponível para a absorção pelas plantas. Outro motivo pela maior concentração do K na pastagem no modo de aplicação injetado, pode ser devido que este nutriente é mobilizado no solo principalmente pelo mecanismo de difusão, onde o nutriente em contato com a raiz passa de um meio de maior concentração para um de menor concentração. Então, quando o K foi injetado no solo, este nutriente ficou em maior concentração no sulco de aplicação e mais distribuído no perfil do solo, favorecendo o seu contato com a raiz em profundidade e, conseqüentemente, a maior absorção deste nutriente. Além disso, em épocas mais secas as plantas têm maior dificuldade em absorver nutrientes de camadas mais superficiais de solo.

Nos teores de P no tecido vegetal do milheto houve efeito simples para as fertilizações (Figura 8A). Os maiores teores de P nessa forragem foram encontradas nos tratamentos DLB+FM e FM com 4,59 e 4,23 g kg⁻¹, respectivamente, e estes foram os únicos tratamentos superiores a testemunha, no entanto, o tratamento FM não diferiu do DLB150. Nos teores de P no solo (Tabela 6), observa-se que nas camadas de 2,5 a 10 cm, no modo de aplicação injetado, o tratamento DLB+FM apresentou os maiores teores deste nutriente, podendo isso explicar a maior absorção de P pelas plantas neste tratamento.

Ainda, os teores de P no tecido vegetal do milheto nos tratamentos com doses de DLB não diferiram da testemunha, e isso pode ser explicado pelo fato de que as fertilizações com DLB aplicaram menos P ao solo do que a recomendação para o milheto. Também, aproximadamente dois terços do P presente no dejetos líquido está numa forma não solúvel em água (BARCELLOS, 1992), fazendo parte de estruturas orgânicas, assim, o material necessita passar pelo processo de mineralização para disponibilizar este P residual do dejetos e ficar disponível para a planta. No entanto, Silva et al. (2015) observaram que os tratamentos organomineral e a dose de 180 m³ha⁻¹ de dejetos líquido suíno incrementaram os teores de P no tecido vegetal da *Brachiaria decumbens* em relação a testemunha. Já Gambaudo et al. (2014) na Argentina, após aplicação de doses (80 e 160 m³ha⁻¹) de dejetos líquido bovino em sorgo, não

observaram diferença nos teores de P no tecido vegetal entre as doses e nem destas com a testemunha (sem fertilização).

Figura 8 - Teor médio de fósforo (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações na Figura 7A e modo de aplicação na Figura 7B pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

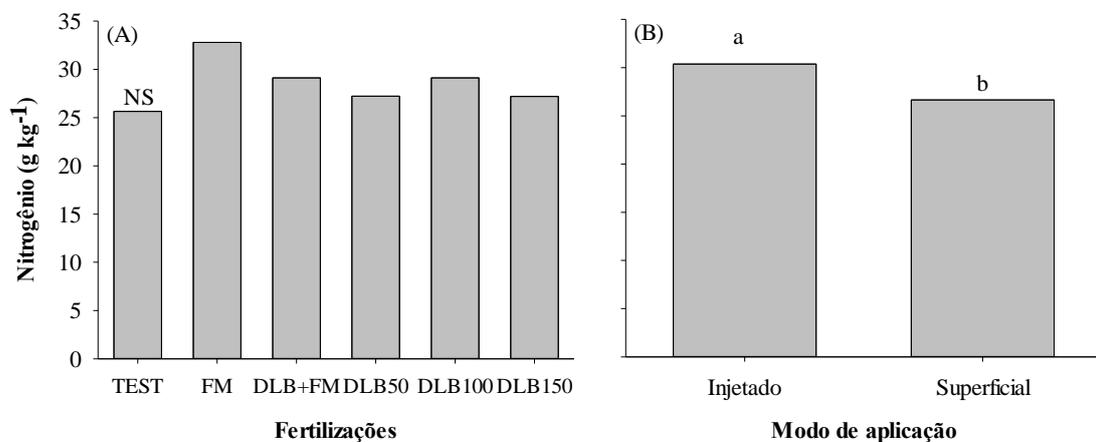
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Na figura 8A, observa-se que houve diferença para o modo de aplicação, onde o maior teor de P no milho foi encontrado no modo de aplicação superficial dos fertilizantes. No entanto, era esperado que ao injetar os fertilizantes no solo, o P ficaria em maior concentração nos sulcos e distribuído no perfil do solo, estando em maior contato com as raízes, e consequentemente, favorecendo a absorção deste nutriente, já que em maior parte desta absorção se dá pelo mecanismo de difusão. Mas, o resultado foi ao contrário, quando o P foi injetado ao solo, este ao ter mais contato com mais sítios de adsorção, pode ter ficado mais fortemente adsorvido nos colóides do solo e, portanto, tornou-se menos disponível para a absorção das plantas, explicando o resultado encontrado nesse trabalho.

Os teores de N no milho não tiveram resposta às diferentes fertilizações (Figura 9A) e se situaram na faixa de 25,6 a 32,8 g kg^{-1} nos tratamentos testemunha e FM, respectivamente.

A dinâmica do N no solo após a aplicação dos fertilizantes pode ter sido responsável pela ausência de resposta do N no tecido vegetal do milho, pois a disponibilidade de N no solo depende, principalmente, do destino da fração de N amoniacal do DLB e ureia e, em menor grau, da mineralização do N orgânico do DLB (MORVAN et al., 1996). No entanto, Mondardo et al. (2011) em pastagem de aveia preta aplicando crescentes doses de dejetos líquidos suínos observaram aumento linear dos teores de N no tecido vegetal. Estes autores ainda citam que este resultado é altamente desejável, visto que o teor de N está diretamente correlacionado com o teor de proteína bruta da forragem e este componente é responsável pelos maiores custos no momento de formulação de dietas para ruminantes.

Figura 9 - Teor médio de nitrogênio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Na Figura 9B, observa-se que o teor de N no milho obteve diferença entre os modos de aplicação, onde a injeção dos fertilizantes ao solo apresentou os maiores teores de N em relação à aplicação superficial. Este fato pode ser explicado porque a injeção ao solo do dejetos pode reduzir em até 90% as perdas de N por volatilização (WEBB et al., 2010), assim, com

uma menor perda de N, maiores teores de N no solo ficaram disponíveis para a absorção pelas plantas, aumentando o teor de N no tecido vegetal da pastagem milheto.

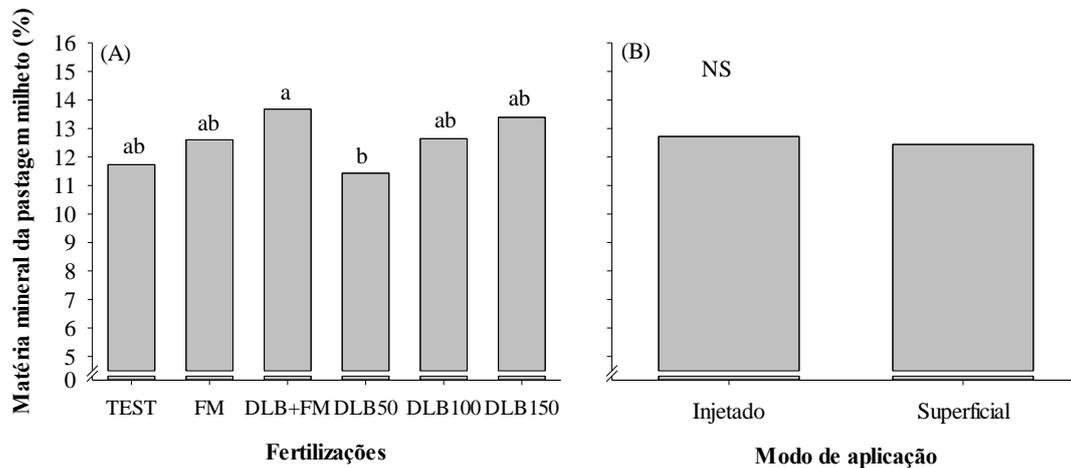
Embora a análise bromatológica seja uma tecnologia simples, relativamente barata e de importância estratégica, não é muito utilizada pela maioria dos produtores brasileiros, particularmente para a determinação da composição de forragens em sistemas de pastejo. De qualquer forma, quando a forragem é a única fonte de alimento, ela deve fornecer o total de energia, proteína, vitaminas e minerais necessários para a produção animal, e mesmo quando ela não é a única fonte, é economicamente interessante o máximo de uso de seus nutrientes (SILVA et al., 2008).

Matéria mineral (MM) é o teor total de macro e microminerais contidos nas pastagens, silagens ou forragens. Assim, a composição mineral das plantas forrageiras varia em função de uma série de fatores interdependentes, tais como: a idade da planta, a fertilidade do solo e adubação empregada, diferenças entre espécies e variedades, estação do ano e etc.

Sendo assim, observa-se que houve efeito simples de fertilização na matéria mineral da pastagem milheto (Figura 10A), onde o tratamento DLB+FM foi o único que apresentou maiores teores de MM em relação a dose de $50 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de DLB, com os respectivos valores de 13,7 e 11,4 %. Este fato ocorreu porque no tratamento DLB+FM as adições de nutrientes via os fertilizantes foram de acordo com a necessidade do milheto, mantendo estes elementos em níveis adequados no solo e proporcionando maiores teores de K e P nos tecidos da pastagem. Já no tratamento DLB50, as quantidades dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) adicionados com esta dose de DLB foram abaixo da exigência do milheto. No entanto, nenhuma das fertilizações foi diferente da testemunha.

Na figura 10B, observa-se que não houve diferença entre os modos de aplicação dos fertilizantes para o teor de MM no milheto. No caso da MM, é essencial que o produtor ou técnico conheça a qualidade de certas forragens que serão utilizadas para sua alimentação, para se evitar a deficiência mineral no rebanho e também os gastos com suplementos minerais.

Figura 10 - Teor médio de matéria mineral (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

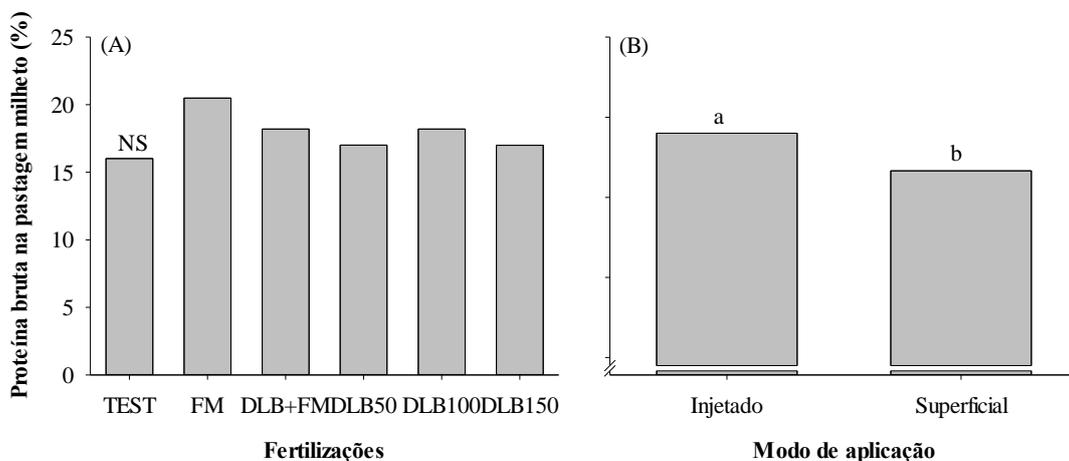
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A proteína bruta (PB) inclui todos os compostos nitrogenados como o nitrogênio proteico e o nitrogênio não proteico, tais como: amidas, aminas, aminoácidos, nitratos, etc., sendo o teor obtido simplesmente pela determinação do nitrogênio total da amostra da pastagem e sua multiplicação por um fator de 6,25, uma vez que as proteínas apresentam porcentagem de N quase constante de aproximadamente 16 % (SILVA & QUEIROZ, 2002). A proteína das forragens é um nutriente de fundamental importância na nutrição dos ruminantes, uma vez que fornece o nitrogênio necessário para a reprodução das bactérias responsáveis pelo processo fermentativo que ocorre no rúmen.

Portanto, os teores de PB na pastagem milho obtiveram comportamento igual a concentração de N na pastagem, onde não houve efeito das fertilizações (Figura 11A) e houve efeito simples dos modos de aplicação (Figura 11B). A PB, em relação ao tratamento testemunha (sem fertilização), não foi alterada pela fertilização orgânica ou mineral. No entanto, para que haja adequada reprodução e atividade bacteriana no rúmen do animal é necessário que a dieta contenha no mínimo 8 % de PB (MEDEIROS et al., 2015). Deste modo, observa-se na Figura 11A que tanto para os tratamentos com aplicação de fertilização como

para a testemunha, os teores de PB no milho estão acima dos 8 % exigidos pela nutrição animal.

Figura 11 - Teor médio de proteína bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

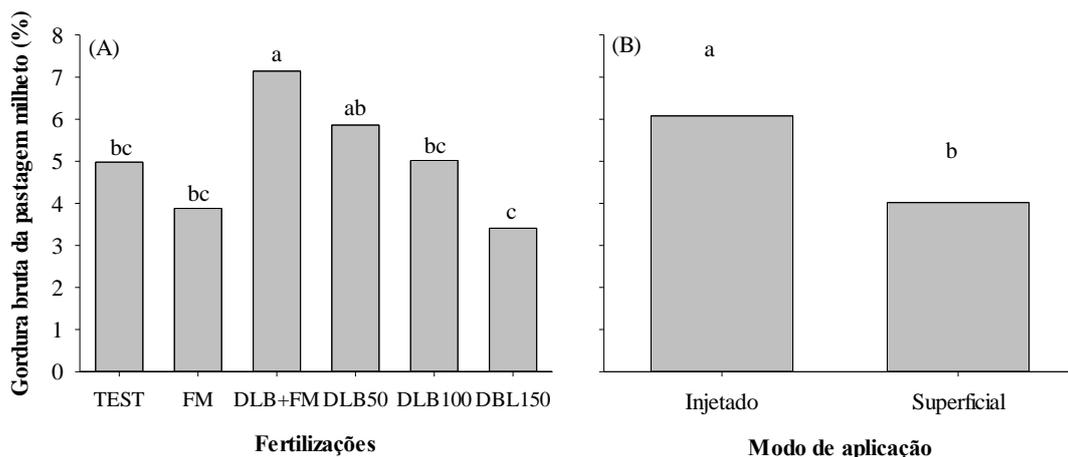
No trabalho de Silva et al. (2015) ao avaliarem a composição bromatológica de *Brachiaria decumbens*, também observaram que os tratamentos com doses de dejetos líquidos de suíno, com fertilizante mineral e com organomineral foram semelhantes entre si para os teores de PB. No entanto, somente a maior dose de dejetos (180 m³ha⁻¹) e o FM incrementaram o teor de PB em relação a testemunha, com aumento na ordem de 152 e 156 %, respectivamente. No entanto, Coblenz et al. (2017) ao estudarem doses de N aplicadas com ureia (20, 40, 60, 80 ou 100 kg de N ha⁻¹) e doses de dejetos líquidos bovinos (42,3 e 84,600 m³ ha⁻¹) em pastagem de aveia, perceberam que o fertilizante mineral e o orgânico aumentaram linearmente os teores de PB, porém, o fertilizante mineral foi superior ao DLB.

A aplicação injetada dos fertilizantes diminui as perdas de N por volatilização (SCHIRMANN et al., 2013; RAUBER et al., 2017; ERDMANN et al., 2020;), portanto, este

elemento ficou mais disponível para a pastagem milheto, aumentando o seu teor no tecido vegetal (Figura 9B) e, conseqüentemente, aumentou o teor de proteína bruta (Figura 11B). Assim, observa-se que a injeção dos fertilizantes ao solo incrementou 2,3% a PB comparada a aplicação superficial.

A gordura bruta (GB) ou extrato etéreo corresponde o teor de óleo no alimento animal (silagem, grãos, feno, pastagem, etc.). O teor de óleo é a principal fonte de energia para os animais, onde cada grama de óleo tem 2,25 vezes mais energia que uma grama de carboidratos (amido ou açúcares). No milheto o teor de GB foi alterado pelas diferentes fertilizações (Figura 12A) e pelos modos de aplicação (Figura 12B). Entre as fertilizações, somente o tratamento DLB+FM apresentou incremento de GB na pastagem milheto em relação a testemunha, apresentando o maior teor de GB igual a 7,14 %, também sendo superior aos tratamentos FM, DLB100 e DLB150. O tratamento DLB150 obteve o menor teor de GB com 3,14 % e foi inferior ao DLB50 e DLB+FM.

Figura 12 - Teor médio de gordura bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por milheto após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações na Figura 7A e modo de aplicação na Figura 7B pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

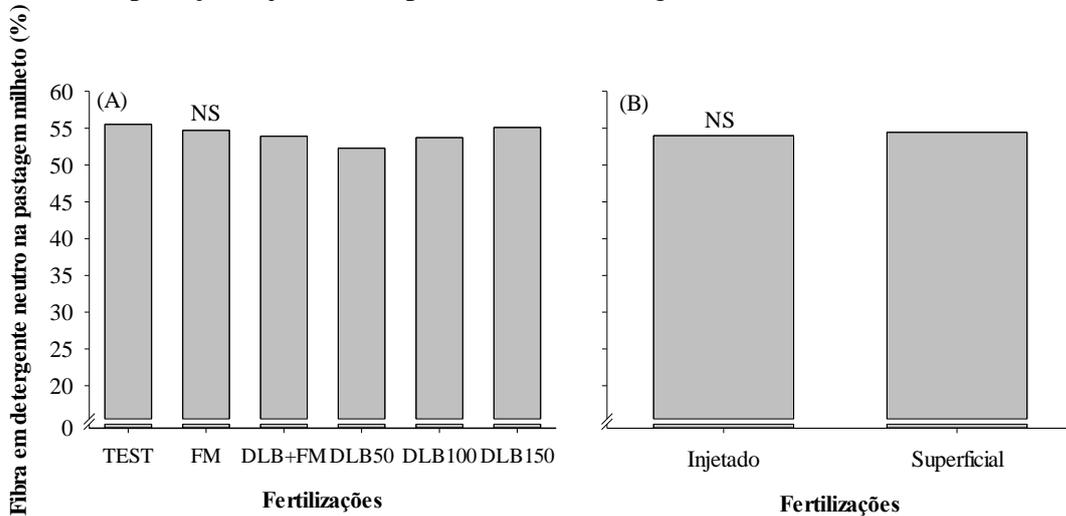
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A GB não costuma ocorrer em grandes quantidades nas dietas de ruminantes. Esses animais tiveram sua evolução vinculada ao consumo de forrageiras, que naturalmente têm valores baixos deste elemento bromatológico, próximos a 3 % da MS (MEDEIROS et al., 2015). Portanto, esse nutriente tem limitações na sua inclusão nas dietas, não devendo ultrapassar os 6 % da MS ingerida pelo animal, e o principal motivo seria uma influência negativa da gordura na degradabilidade da fibra (MEDEIROS et al., 2015). Assim, o tratamento DLB+FM ultrapassou o valor limite de 6 % de GB na pastagem milheto, podendo ser prejudicial na nutrição dos animais. Entre os modos de aplicação, a injeção dos fertilizantes ao solo incrementou em 2 % a GB na pastagem milheto em relação a aplicação superficial.

A parede celular pode ser separada em fibra detergente neutro (FDN) que determina a sua concentração na planta e expressa a fibra digestível (celulose e hemicelulose) e fibra detergente ácido (FDA) que determina a qualidade da parede celular e expressa a fração indigestível (lignina, sílica e cutina). Nos valores de FDN na pastagem milheto, observa-se que não houve diferença entre as fertilizações (Figura 13A) e entre os modos de aplicação (Figura 13B). O consumo voluntário de MS está intimamente relacionado com a concentração de fibra detergente neutro (FDN) na forragem, uma vez que este constituinte reflete diretamente a capacidade volumosa de ocupação de espaço no rúmen e, indiretamente, a densidade em energia disponível da forragem. Quanto maior a concentração de FDN na pastagem, menor o consumo de MS da mesma, em razão do maior espaço ocupado no rúmen (MEDEIROS et al., 2015). Assim, neste caso, nenhum tratamento influenciou no teor de FDN e, assim, não afetaria o consumo voluntário da pastagem pelos animais.

Na figura 14, para os valores de FDA na pastagem milheto, também não houve diferença entre as fertilizações (Figura 14A) e entre os modos de aplicação (Figura 14B). A digestibilidade da MS depende do teor de FDA, ou seja, quanto maior a concentração de FDA na pastagem, menos digestível esta será no rúmen do animal. Entretanto, nenhum tratamento influenciou na digestibilidade da pastagem milheto relacionada ao FDA.

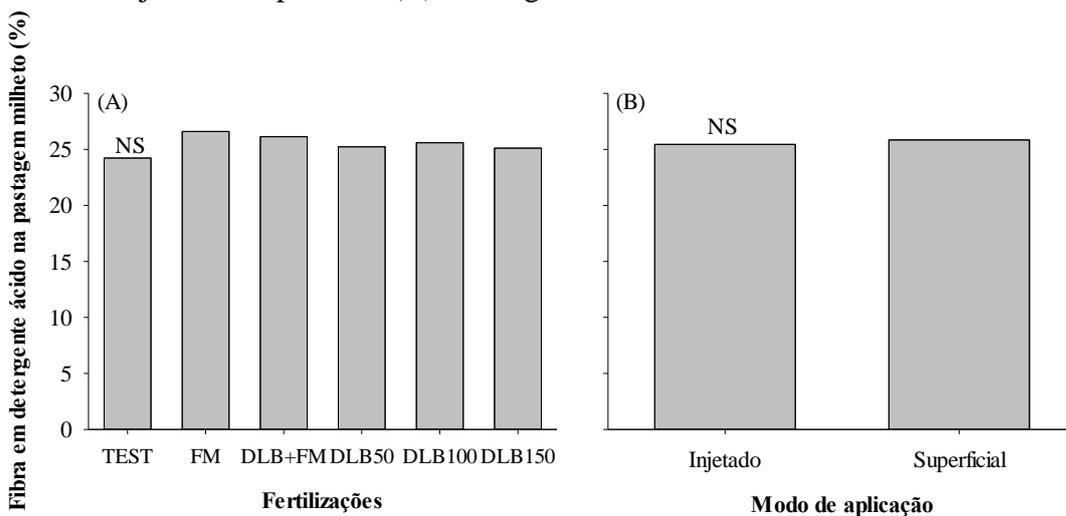
Figura 13 - Teor médio de fibra em detergente neutro (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Figura 14 - Teor médio de fibra em detergente ácido (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Igualmente a este trabalho, Silva et al. (2015) não encontraram diferença entre as fertilizações mineral, orgânica e organomineral e nem destas com a testemunha (sem fertilização) nos teores de FDN e FDA na pastagem de *Brachiaria decumbens* em Uberlândia - MG. Este autor cita que os teores de FDN e FDA são mais influenciados pela idade da planta e, por isso, as fertilizações não alteraram estes componentes bromatológicos. No entanto, Marques et al. (2016) observaram que na pastagem azevem, as fertilizações minerais, orgânica com DLB e organomineral diminuíram os teores de FDN e FDA em relação à testemunha.

De modo geral, o tratamento DLB+FM como fertilizante apresentou os resultados mais favoráveis em relação às características químico bromatológicas da pastagem de milheto, como as maiores concentrações de K e P no tecido vegetal e os maiores teores de matéria mineral, no entanto, ultrapassou o limite de 6 % de gordura bruta. Porém, no geral, as fertilizações com doses de DLB e mineral tiveram resultados semelhantes para a composição química e bromatológica da pastagem.

5.4.3 Produção acumulada de matéria seca da pastagem milheto

Após as quatro aplicações dos tratamentos, a produção acumulada de matéria seca (MS) da pastagem composta por milheto apresentou interação entre as fertilizações e os modos de aplicação (Figura 15). Assim, no modo de aplicação injetado, a maior produção acumulada de MS do milheto ocorreu no tratamento DLB100 e a menor, no tratamento sem fertilização (TEST), alcançando médias de 44,01 e 10,04 t ha⁻¹, respectivamente. Ou seja, em dois anos de cultivo da pastagem milheto, a adição injetada da dose de 100 m³ha⁻¹ de DLB aumentou 34 t ha⁻¹ de MS de milheto no acumulado de cinco cortes. No entanto, o tratamento DLB100 não diferiu dos tratamentos DLB150 e DLB+FM.

No modo de aplicação injetado, os tratamentos DLB100 e DLB+FM aumentaram a produção acumulada de MS em relação ao FM. Apesar dos tratamentos FM, DLB100 e DLB+FM adicionarem quantidades semelhantes de nutrientes ao solo, a aplicação do fertilizante orgânico foi mais promissora devido que uma grande proporção de N contida nos dejetos é inicialmente insolúvel e somente liberada para absorção da planta quando a fração orgânica é decomposta, o que pode levar de algumas semanas a vários meses (SILVA et al.,

2011). Aproximadamente dois terços do P presente nos dejetos está numa forma não solúvel em água, fazendo parte de estruturas orgânicas, assim, o material também necessita passar pelo processo de decomposição para disponibilizar este P para as plantas (SILVA et al, 2011). Porém, esta característica é diferente para os fertilizantes minerais, onde os nutrientes N e P são totalmente solúveis, não precisando da mineralização para ficar disponível para as plantas (CASSOL et al., 2012). Isso explica o fato dos tratamentos DLB100 e DLB+FM apresentarem produtividades acumulada de MS maiores ao FM, pois foi disponibilizado para o desenvolvimento das plantas primeiro os nutrientes solúveis dos dois fertilizantes (orgânico e mineral), e depois, com a decomposição, os menos solúveis constituídos somente no DLB, ou seja, nos tratamentos com DLB os nutrientes foram sendo disponibilizados lentamente por mais tempo para o milho, principalmente entre os cortes da pastagem, favorecendo com isso o crescimento, especialmente nos cortes posteriores ao primeiro realizado a cada ciclo da pastagem.

Ainda no modo de aplicação injetado, a dose de $150 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de DLB, não diferiu dos tratamentos DLB100, DLB+FM e FM, o que pode estar relacionado com a adição de quantidades excessivas de alguns nutrientes no solo, como o K, o que pode ter prejudicado o crescimento da pastagem milho. Assim, para a recomendação correta da dose de DLB para fertilização de pastagens se faz necessário a análise e interpretação da disponibilidade dos nutrientes no solo. Contudo, no modo injetado, todos os tratamentos fertilizados foram superiores a testemunha na produção acumulada de MS do milho. Este fato demonstra que a cultura do milho é exigente no requisito fertilidade do solo para o seu desenvolvimento, e, conseqüentemente, a adubação do solo aumenta a produção de forragem para alimentação dos animais.

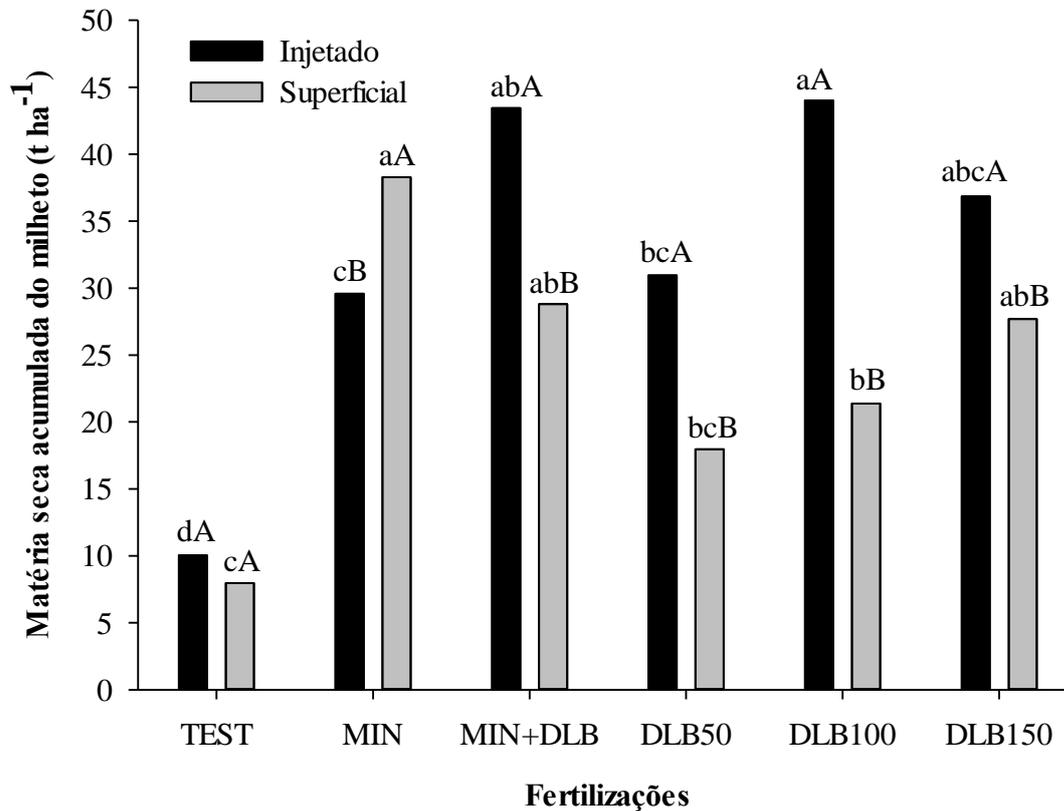
No modo de aplicação superficial, também a testemunha apresentou o menor valor na produção acumulada de MS para o milho, no entanto, foi o tratamento FM que apresentou a maior produção, alcançando aproximadamente 39 t ha^{-1} de MS da forragem. Ainda, diferente do que ocorreu na injeção dos fertilizantes, no modo de aplicação superficial o tratamento com a dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de DLB foi semelhante da testemunha e o FM demonstrou maior produção de MS em relação ao DLB100. Além disso, os tratamentos DLB100, DLB150 e DLB+FM foram semelhantes ao DLB50. Assim, observa-se que houve menor crescimento e desenvolvimento do milho quando o DLB foi aplicado superficialmente ao solo. Este fato pode ser explicado porque quando o fertilizante orgânico foi aplicado superficialmente existem

maiores perdas de N por volatilização (RAUBER et al., 2017) e de nutrientes por escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2015; BOITT et al., 2018).

Damian et al. (2018) em cultivo de trigo em um LATOSSOLO VERMELHO, após aplicação de DLB em superfície ou injetado no solo com ou sem adição de inibidor de nitrificação, onde as doses do DLB foram estabelecidas com base no teor de N total (SBCS - NRS, 2004), observaram que a maior produção de MS do trigo foi no tratamento com injeção do DLB com a adição de inibidor. Observaram ainda que a aplicação superficial deste resíduo orgânico não aumentou a MS do trigo em relação a testemunha (sem fertilização). Os autores indicam que isso ocorreu devido que a injeção do DLB diminui as perdas de N por volatilização e o uso do inibidor reduziu as perdas de N por lixiviação, aumentando a disponibilidade deste nutriente para as plantas e, conseqüentemente, a produção de MS.

Quando comparamos o modo de aplicação em cada fertilização, observa-se que no fertilizante mineral a aplicação superficial obteve maior produção de MS do milho em relação a injeção deste fertilizante ao solo. No entanto, nos tratamentos que possuem o fertilizante orgânico (DLB50, DLB100, DLB150 e DLB+FM), a injeção ao solo alcançou maior produção de MS do que a aplicação superficial. Portanto, como já supracitado, enfatiza-se que a aplicação superficial do DLB não foi tão eficiente na produção de MS do milho quanto a injeção ao solo deste fertilizante, e este fato pode ser devido a três motivos de que na aplicação superficial: (a) houve escoamento superficial do DLB logo após a sua aplicação e, com isso, maiores perdas de nutrientes para o meio ambiente (SILVEIRA et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2015), como K (Tabela 6), diminuindo a absorção destes pela planta (Figura 7); (b) houve maiores perdas de N por volatilização (RAUBER et al., 2017), também reduzindo a absorção deste elemento pelas plantas (Figura 9) e; (c) sem o revolvimento do solo, há um maior acúmulo de nutrientes na camada superficial (CASSOL et al., 2012), que além de aumentar também as perdas de nutrientes por escoamento superficial ou/e erosão, diminui o desenvolvimento em profundidade das raízes das plantas, podendo afetar o crescimento e a produção de MS do milho em condições climáticas adversas.

Figura 15 – Produtividade acumulada de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $m^3\ ha^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada e superficial em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilização e letras maiúsculas comparam modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

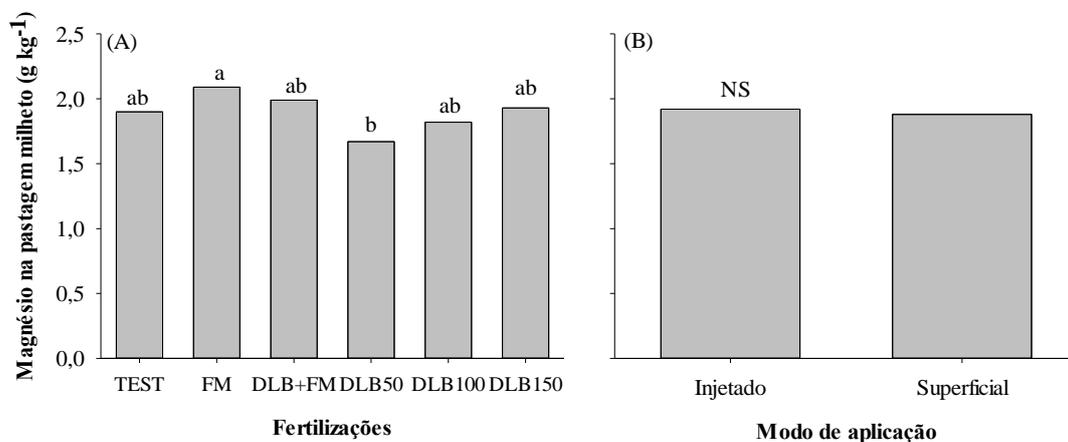
5.4.4 Composição química e bromatológica da pastagem aveia preta

Segundo Coblenz et al. (2017) não existe um esclarecimento claro dos efeitos da adubação mineral e com dejetos de animais sobre a quantidade e o valor nutritivo das forragens. Assim, estas incertezas são devidas a diversos fatores: (a) múltiplos cortes ou pastoreio por estação; (b) aplicação dividida de fertilizantes; (c) mudanças climáticas ao longo das colheitas; (d) avaliação de múltiplas espécies forrageiras com diferentes taxas de maturação dentro do

mesmo estudo; e) e a resposta ao crescimento da fertilização nitrogenada. Portanto, em alguns dados químicos bromatológicos, os tratamentos e o modo de aplicação obtiveram efeito diferente na pastagem de aveia preta em relação à pastagem milheto.

Assim, observa-se na Figura 16A, que os teores de Mg no tecido vegetal da pastagem de aveia preta apresentaram comportamento diferente do milheto, pois, no geral, na aveia, o FM apresentou o maior teor de Mg, sendo o único tratamento com maior teor de Mg no tecido quando comparado ao tratamento DLB50, com médias de 2,1 e 1,7 g kg⁻¹ de Mg, respectivamente. Todavia, esse resultado não era esperado, devido que não foi adicionado Mg ao solo com o fertilizante mineral. No entanto, nenhum dos tratamentos fertilizados diferiu da testemunha, como ocorrido com os teores de Mg²⁺ no solo.

Figura 16 - Teor médio de magnésio (g kg⁻¹) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

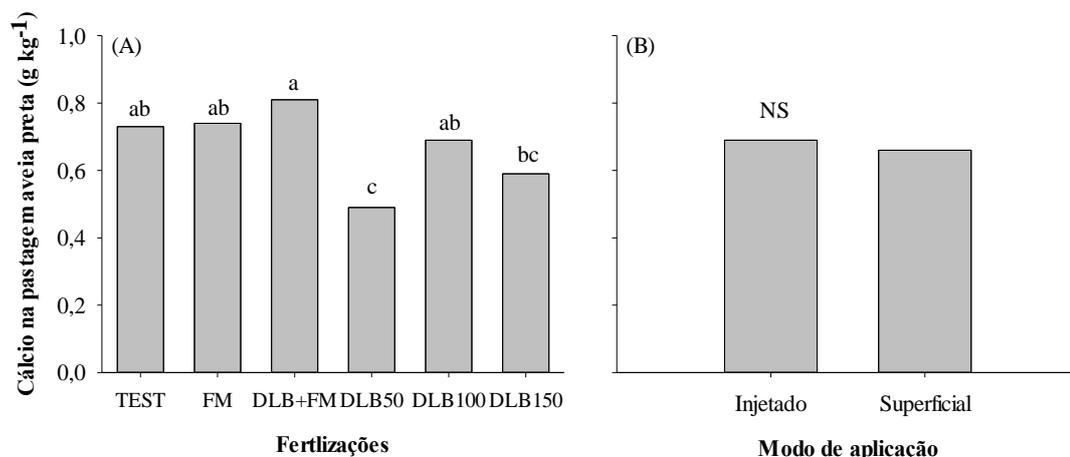
Porém, Marques et al. (2016) que utilizaram fertilizações mineral, organomineral e orgânica com dejetos líquidos bovinos em aveia preta, encontraram maior teor de Mg no tecido vegetal no tratamento DLB, e todos os tratamentos fertilizados obtiveram maiores teores de Mg em relação à testemunha (sem fertilização). Em contrapartida, Silva et al. (2015), que utilizaram doses de dejetos líquidos suínos, adubação mineral e adubação organomineral em pastagem

brachiaria, observaram aumento no teor de Mg no tecido vegetal somente na maior dose de dejetos ($180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) em relação ao tratamento testemunha, sem fertilização.

Para os modos de aplicação (figura 16B), houve semelhança entre a injeção e a aplicação superficial dos fertilizantes, sendo um dado semelhante com o que ocorreu na pastagem do milho. Este fato pode ter ocorrido porque os teores de Mg^{2+} no solo já eram considerados altos antes da aplicação dos tratamentos, o que diminuiu o efeito do modo de aplicação na absorção de Mg pelas plantas.

Na figura 17A, observa-se que o maior valor dos teores de Ca na forragem de aveia foi obtido no tratamento DLB+FM, com $0,81 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca, no entanto, este não diferiu dos tratamentos FM, DLB100 e Testemunha. O DLB+FM foi superior somente quando comparado aos tratamentos DLB50 e DLB150. Ainda, os teores de Ca no tecido vegetal da aveia preta dos tratamentos FM, DLB100 e testemunha tiveram maiores valores que o tratamento DLB 50. Para o modo de aplicação não se obteve resposta para teores de Ca no tecido vegetal da aveia preta (Figura 17B).

Figura 17 - Teor médio de cálcio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

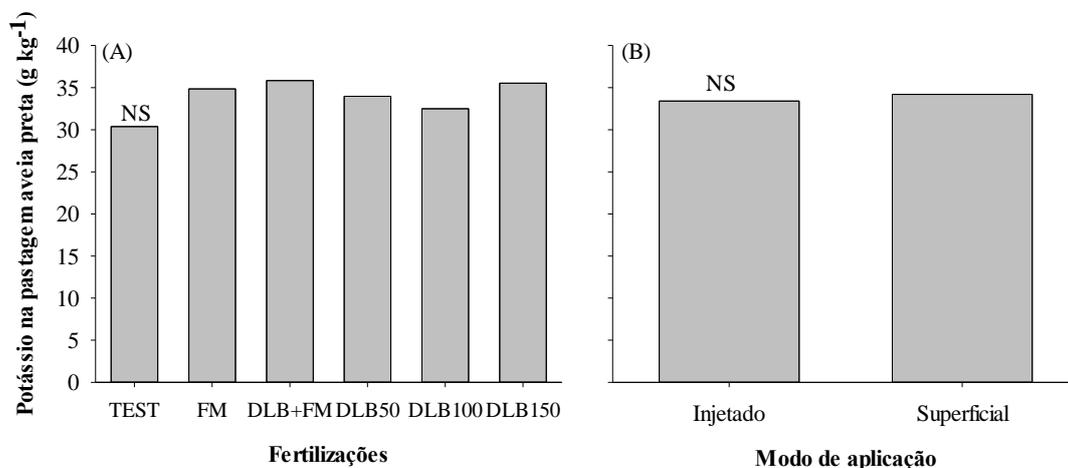
NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Marques et al. (2016) no município de Itaqui – RS, após fertilização com DLB na dose de $135 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, FM e organomineral, em consórcio de aveia e azéve em um PLINTOSSOLO HÁPLICO, não obtiveram diferenças nos teores de Ca no tecido vegetal da pastagem entre as fertilizações. Silva et al. (2015) no município de Uberlândia- MG, em um trabalho com aplicação de doses de dejetos líquido suíno, obtiveram resultados semelhantes a este trabalho em corte de brachiaria aos 60 dias após a aplicação dos tratamentos, onde os tratamentos testemunha (sem adubação) e fertilizante mineral obtiveram maiores teores de Ca no tecido vegetal da pastagem do que no tratamento com dose de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos.

Na figura 18, observa-se que não houve efeito das fertilizações (Figura 18A) e nem dos modos de aplicação (Figura 18B) no teor de K no tecido vegetal da pastagem aveia preta. Mesmo que no solo os teores de K^+ foram maiores nos tratamentos com fertilização em relação a testemunha, este comportamento não foi observado no tecido vegetal da aveia preta, e este fato pode estar relacionado que a cinética de absorção dos nutrientes é diferente para cada espécie de pastagem e para cada estação do ano. Segundo Coblenz et al. (2017) alguns fatores influenciam no valor nutritivo das pastagens, como as mudanças climáticas ao longo das colheitas e as espécies de forrageiras com diferentes taxas de maturação.

Figura 18 - Teor médio de potássio (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquido bovino nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquido bovino combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.

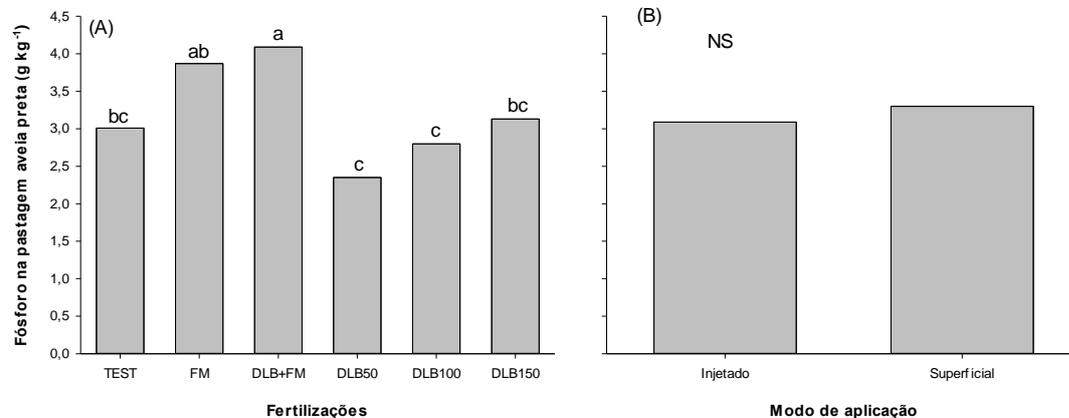


NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O comportamento do P no tecido vegetal da pastagem de aveia preta foi semelhante a pastagem de milho, ou seja, conforme se observa na Figura 19A, os maiores teores de P no tecido vegetal foram encontrados nos tratamentos DLB+FM, com $4,09 \text{ g kg}^{-1}$ de P, sendo este o único tratamento superior a testemunha. Nos teores de P no solo (Tabela 6), observou-se que nas camadas de 2,5 a 10 cm, no modo de aplicação injetado, o tratamento DLB+FM apresentou os maiores teores deste nutriente, podendo isso explicar a maior absorção de P pelas plantas neste tratamento. Também, os teores de P no tecido vegetal da aveia preta nos tratamentos com doses de DLB não diferiram da testemunha, reforçando o comportamento encontrado na pastagem de milho. No entanto, o tratamento FM não diferiu do DLB150 e nem da testemunha, mas foi superior ao DLB50 e DLB100.

Figura 19 - Teor médio de fósforo (g kg^{-1}) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

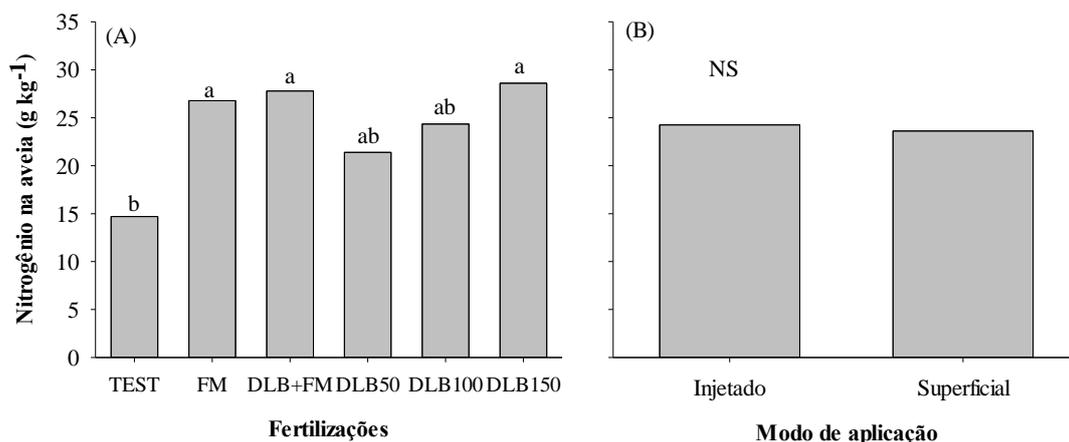
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Similar ao ocorrido neste trabalho, Gambaudo et al. (2014) na Argentina, após aplicação de doses (80 e 160 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de dejetos líquidos bovinos em sorgo, não observaram diferença nos teores de P no tecido vegetal entre as doses do fertilizante orgânico e nem destas com a testemunha (sem fertilização). No entanto, Mondardo et al. (2011) ao utilizarem doses (10, 20, 30, 40 e 50 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de dejetos líquidos suínos em pastagem de aveia preta, encontraram aumento linear dos teores de P no tecido vegetal com o aumento das doses aplicadas. Na figura 19B,

observamos que não houve efeito dos modos de aplicação no teor de P no tecido vegetal da aveia preta.

Em relação aos teores de N no tecido vegetal, a pastagem de aveia preta teve efeito diferente da pastagem de milho, onde as fertilizações tiveram efeito simples (Figura 20A) e os modos de aplicação não tiveram efeito (Figura 20B). Os tratamentos FM, DLB+FM e DLB150 apresentaram maior teor de N na aveia preta quando comparado a testemunha, sendo os teores iguais a 26,8, 27,8 e 28,6 g kg⁻¹ para 15 g kg⁻¹ de N, respectivamente. Este resultado era esperado, pois foi nestes três tratamentos a maior adição de N no solo via fertilizantes. Ainda, os tratamentos DLB50 e DLB100 foram iguais a testemunha. No entanto, todos os tratamentos fertilizados, tanto com aplicação de adubo orgânico quanto o adubo mineral, não foram diferentes entre si.

Figura 20 - Teor médio de nitrogênio (g kg⁻¹) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Também, Silva et al. (2015) encontraram resultados semelhantes em seu experimento, ao comparar as adubações com doses de dejetos líquidos suínos, mineral e organomineral e estas

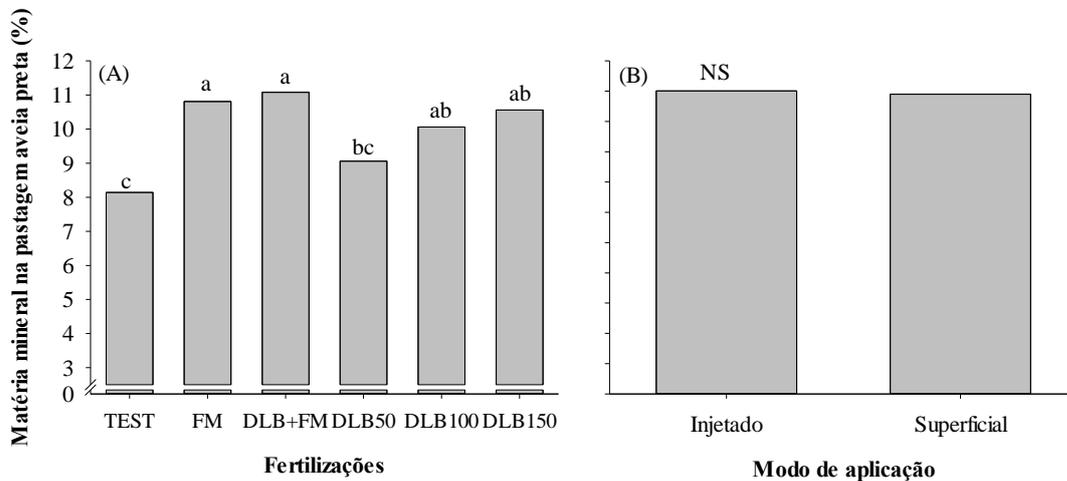
com a testemunha (sem adição de adubos). Esses autores observaram aumento nos teores de N no tecido vegetal da pastagem de brachiaria nos tratamentos que utilizaram adubação mineral, organomineral e a maior dose de dejetos ($180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). O que indica que quanto maior a quantidade de N aplicado no solo, maior o teor encontrado no tecido da planta.

Para o modo de aplicação, não se obteve diferença nos teores de N no tecido vegetal da pastagem aveia preta (Figura 20B). Este fato pode ser devido que o N do solo no inverno teve reduções na sua volatilização. Pois, a volatilização do N se dá a partir da forma de amônio e é liberado pela atividade da enzima urease, que é favorecida pelas condições de temperatura elevada juntamente com a evaporação de água no solo (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990). Então, quando as temperaturas são amenas a atividade da urease diminui e reduz as perdas de N por volatilização.

Como já citado, matéria mineral é o conjunto dos macros e microminerais na MS da pastagem e a fertilidade do solo influencia neste componente. Assim, igualmente ao milho, observa-se na Figura 21A que as diferentes fertilizações interferiram nos valores de MM da pastagem aveia preta. Assim, os tratamentos DLB+FM e FM obtiveram os maiores teores de MM na aveia preta, com 11,1 e 10,8 %, respectivamente. Ainda, estes dois tratamentos não diferiram do DLB100 e DLB150, mas foram superiores a testemunha e DLB50. Os tratamentos DLB100 e DLB150 também apresentaram valores maiores de MM na aveia preta que a testemunha. No geral, os tratamentos DLB+FM e FM tiveram as maiores concentrações de macronutrientes no tecido vegetal da pastagem aveia preta. Estes fatos já eram esperados devido que os tratamentos FM, DLB+FM, DLB100 e DLB150 adicionaram maiores teores de nutrientes ao solo comparado aos tratamentos testemunha e DLB50.

No entanto, os diferentes modos de aplicação dos fertilizantes no solo não foram diferentes nos valores de MM na pastagem aveia preta (Figura 21B). Diferente do que ocorreu com o milho, a injeção dos fertilizantes não incrementou nenhum nutriente no tecido vegetal da aveia preta em relação a aplicação superficial, e vice-versa, não alterando também a MM da aveia preta.

Figura 21 - Teor médio de matéria mineral (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

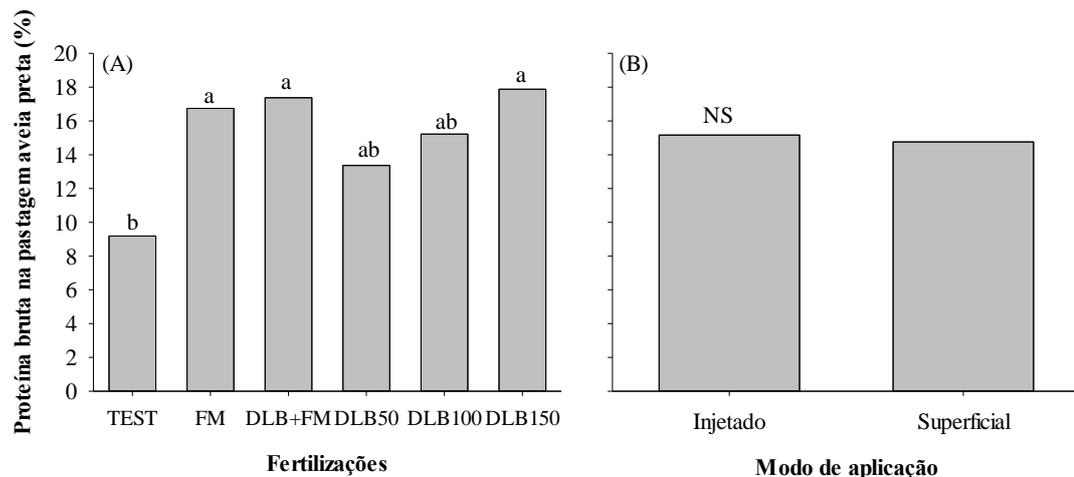
Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O teor de PB no tecido vegetal de uma pastagem é estimado pela concentração de N total também no tecido vegetal. Portanto, observa-se que o comportamento da PB na pastagem aveia preta foi semelhante ao teor de N, onde houve diferença entre as fertilizações (Figura 22A) e não houve entre os modos de aplicação (Figura 22B). Assim, os tratamentos DLB150, DLB+FM e FM foram superiores nos teores de proteína bruta da pastagem aveia preta em relação a testemunha, apresentando valores iguais a 17,9, 17,4 e 16,7 %, respectivamente. O teor de PB na aveia preta na testemunha foi igual a 9,2 %. No entanto, não houve diferença entre os tratamentos com fertilização mineral ou orgânica. Marques et al. (2016) também observaram incremento de PB na aveia preta e azevém nos tratamentos com fertilização mineral, orgânica (DLB) e organomineral em relação a testemunha (sem fertilização), no entanto, entre estas fertilizações não se obteve diferença.

Para um desempenho animal mínimo, a forragem deve possuir em sua MS um mínimo de 8% de PB para atender as necessidades nitrogenadas das bactérias do rúmen. Assim, tanto nas fertilizações como nos modos de aplicação, todos os tratamentos tiveram teores de PB na

aveia preta acima do valor limite. No entanto, o DLB150, DLB+FM e FM obtiveram na aveia preta quase 10% de PB a mais que o valor mínimo.

Figura 22 – Teor médio de proteína bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



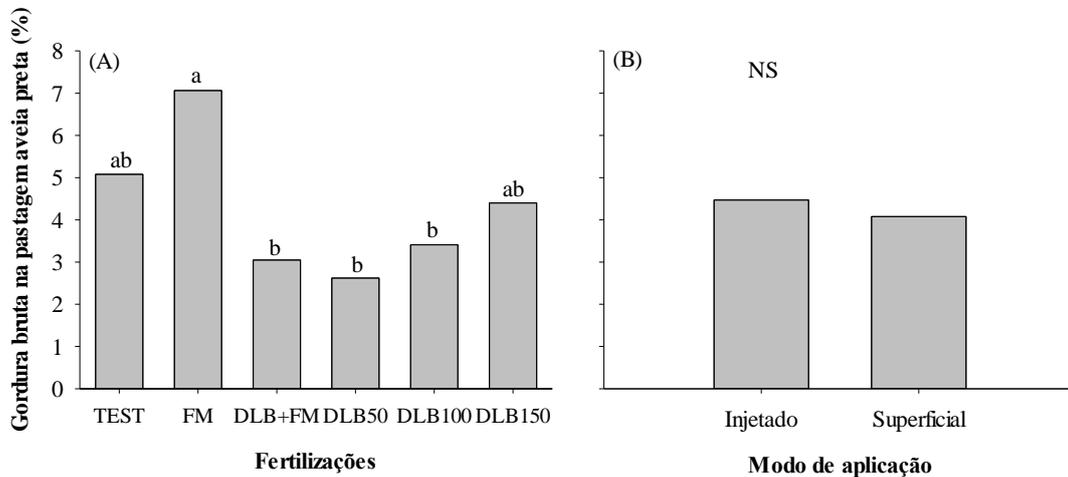
Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Para a GB da pastagem aveia preta, observa-se na Figura 23A que o tratamento FM obteve o maior teor com 7,1 % de GB, ultrapassando o valor limite de 6 % e, assim, diminuindo a degradabilidade da fibra no rúmen do animal. Ainda, o FM foi superior aos tratamentos DLB50, DLB100 e DLB+FM e igual aos tratamentos DLB150 e testemunha nos teores de GB da aveia preta. Por fim, nenhum dos tratamentos fertilizados foi diferente da testemunha, sem fertilização. Entre os modos de aplicação dos fertilizantes não houve diferença para o teor de GB na pastagem de aveia preta (Figura 23B).

Figura 23 - Teor médio de gordura bruta (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m³ha⁻¹, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

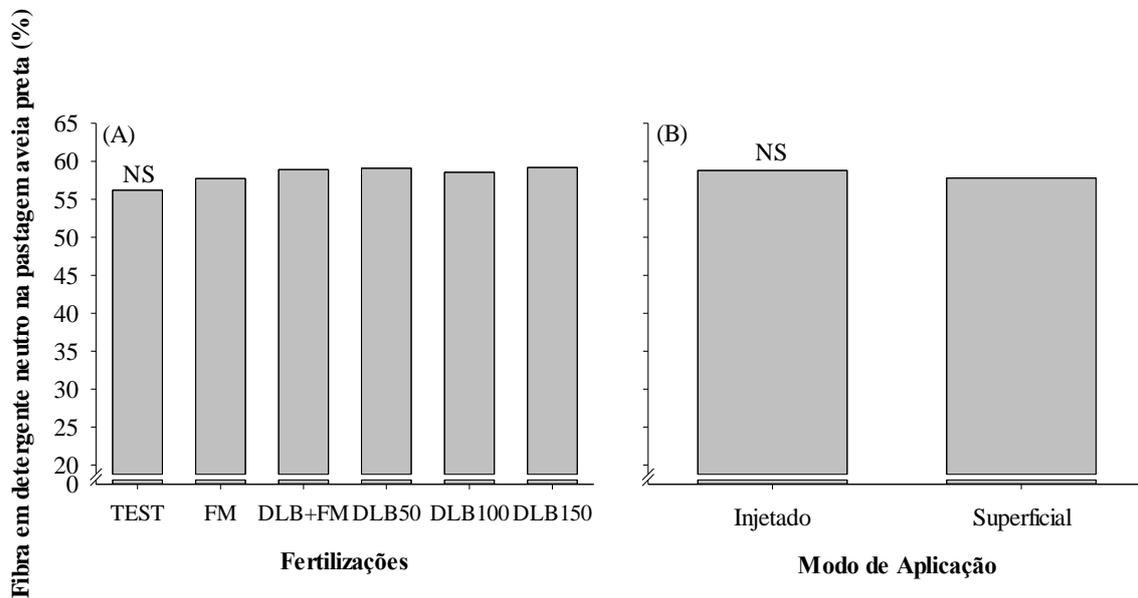
NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Igualmente ao milho, os teores de FDN na pastagem aveia preta também não obtiveram diferença entre as fertilizações (Figura 24A) e entre os modos de aplicação (Figura 24B). Apesar da ausência de resposta do FDN aos tratamentos, todas as fertilizações aplicadas proporcionaram valores de FDN próximos ou inferiores a 60%, o que segundo Van Soest (1994) é fundamental para certificação da qualidade da planta forrageira, pois valores de FDN superiores a 60%

Ainda, observa-se na Figura 25, que os valores de FDA na pastagem aveia preta não apresentaram diferença entre as fertilizações (Figura 25A) e entre os modos de aplicação (Figura 25B). Assim, tanto o fertilizante orgânico quanto o mineral no modo de aplicação superficial e injetada ao solo não demonstraram capacidade em aumentar ou diminuir os teores de FDN e FDA no milho e aveia preta. No entanto, no município de Marechal Cândido Rondon- PR, Mondardo et al. (2011) em pastagem de aveia preta aplicando doses crescentes de dejetos líquidos suínos em superfície observaram que os teores de FDA diminuíram linearmente com as doses do fertilizante orgânico, no entanto, também não encontraram diferença nos teores de FDN. Barnabé et al. (2007), também encontraram redução nos teores de FDA com o aumento das doses de dejetos líquidos suínos ao trabalhar com capim marandu.

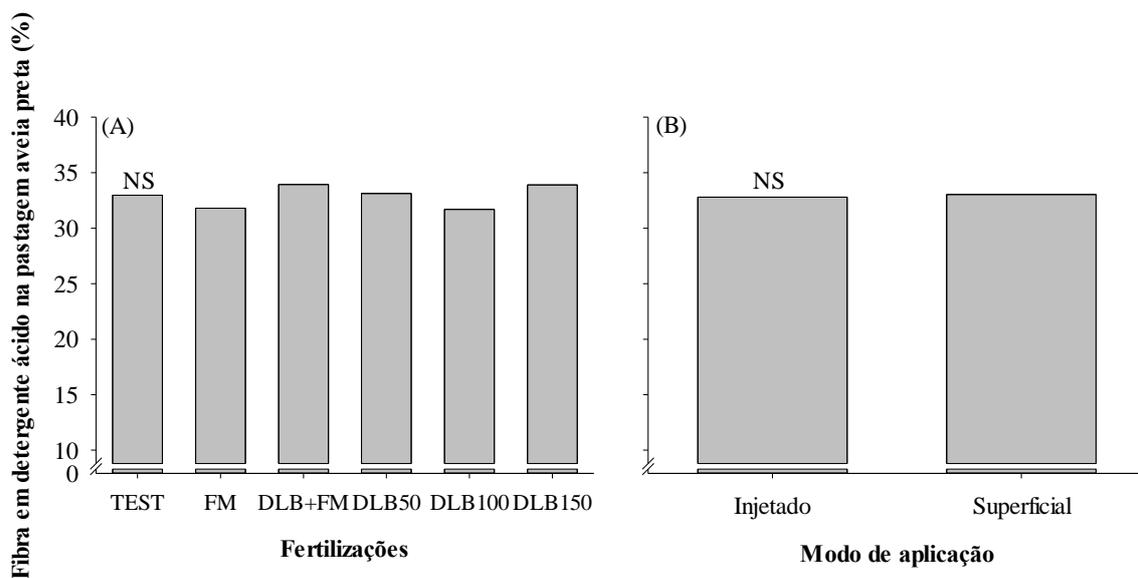
Figura 24 – Teor médio de fibra em detergente neutro (%) em cinco cortes de pastagem composta por aveia preta após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Figura 25 – Teor médio de fibra em detergente ácido (%) em cinco cortes de pastagem composta por milho após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) m^3ha^{-1} , fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinados com fertilizante mineral (DLB+FM) (A) em aplicação injetada e superficial (B) em Lages – SC.



NS: não significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

5.4.5 Produção acumulada de matéria seca da pastagem aveia preta

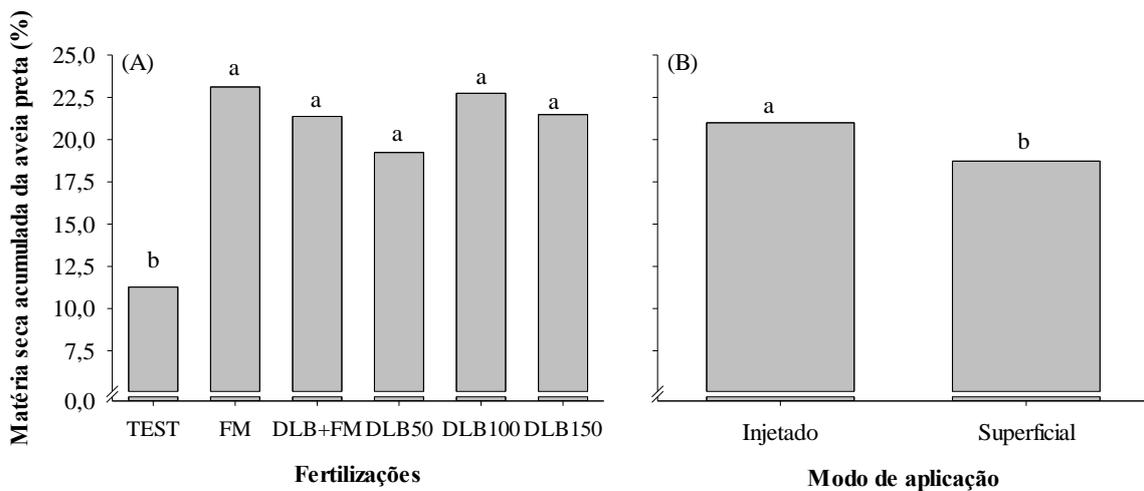
Após 4 aplicações dos tratamentos, a produção acumulada de MS de 5 cortes da pastagem aveia preta apresentou efeito simples de fertilizações (Figura 26A) e de modos de aplicações (Figura 26B). Portanto, observa-se na Figura 26A, que o FM apresentou a maior produção de MS, com média de $23,1 \text{ t ha}^{-1}$, porém, sem diferir dos demais tratamentos fertilizados. Mas estes tratamentos foram superiores a testemunha, que apresentou a menor produção de MS da aveia preta, com média de $11,3 \text{ t ha}^{-1}$. A dinâmica de produção de MS de forrageiras de inverno é diferente das forrageiras de verão, e por isso, diferente da pastagem milheto, a aveia preta não apresentou diferentes respostas para as doses de fertilizante orgânico e destas para as fertilizações com adubo mineral e organomineral.

Além disso, a ausência de resposta na produção acumulada de MS da pastagem aveia preta entre os tratamentos fertilizados pode ser atribuída ao fato de que os teores de todos os nutrientes encontrados no solo estavam em classe de disponibilidade alta (SBCS - NRS, 2016), independentemente da fertilização utilizada, ou seja, não houve deficiência nutricional para a aveia preta em nenhum tratamento fertilizado. No entanto, a cultura da aveia demonstrou-se que é exigente no requisito fertilidade do solo para o seu desenvolvimento, e, conseqüentemente, a adubação do solo aumenta a disponibilidade de pastagem para alimentação dos animais.

Em seu trabalho, Marques et al. (2016) também observaram que a produção de MS da forrageira aveia no primeiro corte foi maior com a presença de adubação em relação ao tratamento sem adubação (testemunha), não ocorrendo diferença entre a adubação orgânica e mineral. No entanto, em solos mexicanos, durante seis anos, Salazar-Sosa et al. (2010) avaliou como fertilizante de milho forrageiro cinco doses de DLB (0, 40, 80, 120 e 160 Mg ha^{-1}), fertilizante químico $150 - 150 \text{ kg ha}^{-1}$ (N – P_2O_5) e a testemunha (sem fertilizante químico e sem DLB). Então, no comportamento da produção de MS da forragem, estes autores observaram que a testemunha apresentou a menor MS entre os tratamentos, e que as doses de 40 e 80 Mg ha^{-1} de DLB proporcionaram a maior produção de MS. As duas maiores doses de DLB (120 e 160 Mg ha^{-1}) e o fertilizante químico foram maiores que a testemunha, porém, menores que as outras doses de DLB (40 e 80 Mg ha^{-1}). Outros fatores podem interferir nos

dados da quantidade de pastagem quando fertilizadas com DLB, que são a composição do dejetos animal, a dose aplicada e a época de aplicação do material (COBLENTZ et al., 2017).

Figura 26 - Produtividade acumulada de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cinco cortes de pastagem composta por milheto após quatro fertilizações com dejetos líquidos bovinos nas doses de 0 (TEST), 50 (DLB50), 100 (DLB100) e 150 (DLB150) $m^3\ ha^{-1}$, fertilizante mineral (FM) e dejetos líquidos bovinos combinado com fertilizante mineral (DLB+FM) em aplicação injetada e superficial em Lages – SC.



Letras minúsculas comparam fertilizações na Figura 7A e modo de aplicação na Figura 7B pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Na Figura 26B, observa-se que na média das fertilizações, a injeção dos fertilizantes ao solo produziu maior quantidade de MS da aveia preta em relação a aplicação superficial, alcançando valores de 21 e 18,7 $t\ ha^{-1}$ de MS, respectivamente. E este fato pode ser explicado porque quando os adubos orgânico e mineral foram aplicados superficialmente existem maiores perdas de N por volatilização (RAUBER et al., 2017; BIERER et al., 2017) e de nutrientes por escoamento superficial (OLIVEIRA et al., 2015; BOITT et al., 2018), diminuindo a disponibilidade destes nutrientes para absorção das raízes das plantas e reduzindo a eficiência destes adubos como fertilizantes para a pastagem de aveia preta.

5.5 CONCLUSÃO

A injeção em linha de dejetos líquidos bovinos aumentou no solo a disponibilidade de cálcio e fósforo na camada de 2,5 a 10 cm, e aumentou os teores de potássio, nitrogênio, proteína bruta e gordura bruta no tecido vegetal do milho. Conseqüentemente, a injeção das doses de dejetos líquidos bovinos aumentou a produção de matéria seca do milho. No entanto, para o fertilizante mineral, foi a aplicação superficial que aumentou a produção de matéria seca do milho. A injeção de todas as fertilizações incrementou a produção de matéria seca da aveia.

O uso de doses de dejetos líquidos bovinos e de fertilizante mineral não alterou o teor de magnésio e de cálcio no solo, no entanto, a dose de $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos bovinos e a fertilização organomineral (dejetos líquidos bovinos + fertilizante mineral) aumentaram os teores de potássio e de fósforo no solo, respectivamente. No geral, o organomineral demonstrou os maiores teores da composição química bromatológica das pastagens de milho e aveia preta. Para o milho, no modo de aplicação injetado dos fertilizantes, o uso de dejetos líquidos bovinos aumentou a produção de matéria seca, no entanto, na aplicação superficial, o fertilizante teve a maior produção de matéria seca. Na aveia, o fertilizante mineral e o dejetos líquidos bovinos foram semelhantes na produção de matéria seca.

6 CAPÍTULO II – VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA APÓS APLICAÇÃO SUPERFICIAL E INJETADA AO SOLO DE FERTILIZANTE MINERAL E ORGÂNICO

6.1 RESUMO

A aplicação de dejetos líquidos bovinos na superfície do solo é uma prática comum na adubação de pastagem. No entanto, preocupações com as perdas de nutrientes, principalmente do N por volatilização, demandam a pesquisa de alternativas para reduzir estas perdas. A injeção é uma prática que contempla essas preocupações, mas não é amplamente adotada. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação superficial e injetada ao solo de fertilizante mineral e orgânico em duas épocas do ano na volatilização de amônia (NH_3). O trabalho ocorreu durante o período de junho a julho de 2018 e de dezembro de 2018 a janeiro de 2019 no município de Lages – SC, em condições de campo com pastagem em simulação de pastejo. A área possui o solo Cambissolo Húmico Alítico típico. Os tratamentos compreenderam esquema fatorial $3 \times 2 \times 2$, com três fertilizações: a testemunha, o FM, e o DLB na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; em dois modos de aplicação dos fertilizantes: superficial e injetado e em duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno. O delineamento foi em blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e quatro repetições. As diferentes fertilizações foram as parcelas, os modos de aplicação as subparcelas e as subsubparcelas foram as épocas do ano em que foram realizadas as coletas. Foi quantificada a volatilização de NH_3 durante 22 dias após a aplicação dos tratamentos por metodologia de câmara semiaberta. Na média, o FM volatilizou maiores teores de NH_3 em relação ao DLB. A volatilização total de NH_3 foi menor quando o DLB foi injetado ao solo e quando FM foi aplicado superficialmente. Assim, para o DLB a aplicação injetada no solo foi uma técnica mais adequada para reduzir as perdas de N por volatilização.

Palavras-chaves: Volatilização. Nitrogênio. Dejetos Bovinos. Injeção.

6.2 INTRODUÇÃO

O nitrogênio geralmente é o nutriente mais limitante para o crescimento das plantas não leguminosas na maioria dos solos agrícolas, portanto, a produção agrícola depende muito de insumos orgânicos ou inorgânicos como fontes de N. No Brasil, a aplicação de dejetos líquido bovino (DLB) em sistemas agrícolas como fertilizante é uma prática bastante utilizada, devido que remove o resíduo de local de produção animal e acrescenta os nutrientes e materiais orgânicos que ajudam o crescimento das culturas e a qualidade do solo (VENDRAMINI et al., 2007; BIERER et al., 2017; DAMIAN et al., 2018). Os nutrientes fornecidos pelo DLB reduzem as exigências nutricionais do solo que são preenchidas com fertilizantes químicos caros (BIERER et al., 2017; DAMIAN et al., 2018). No entanto, problemas ambientais decorrentes do seu uso no campo estão causando preocupações crescentes (CHADWICK et al., 2011; CHEN et al., 2014; CAPOANE et al., 2015), como a prática de aplicar o DLB em superfície.

A aplicação de dejetos líquido de animais diretamente sobre a superfície do solo geralmente resulta em perdas de N, principalmente a volatilização de NH_3^+ , o qual representa um dos principais processos de perda desse nutriente para a atmosfera (BIERER et al., 2017; RAUBER et al., 2017; DAMIAN et al., 2018). A volatilização ocorre quando a grande parte do N na forma de NH_4^+ do DLB encontra o pH e a temperatura do solo mais elevados nas camadas mais superficiais, formando o NH_3^+ , que volatiliza por ser um gás. Algumas condições, como baixa umidade no solo, baixa capacidade de troca de cátions, temperaturas altas e aplicação de calcário sem injeção com o solo, favorecem as perdas de NH_3 a partir do DLB aplicado sobre a superfície do solo.

As perdas de N devido à volatilização podem ser grandes; 45 % a quase 100 % do N amoniacal aplicado pode ser perdido como NH_3 (MAGUIRE et al., 2011; AITA et al., 2014). Nos trabalhos de Jackson et al. (2000) e Thompson e Meisinger (2002), observou-se que de 70 a 75% do N total aplicado com o dejetos suíno em superfície foi perdido por volatilização. Nicoloso et al. (2013) observaram em um NITOSSOLO VERMELHO Distroférico de Concórdia - SC, que as perdas de N por volatilização em sistema de plantio direto foram acentuadas nos tratamentos onde o dejetos líquido suíno foi aplicado superficialmente. Assim, as perdas de N diminuem a eficiência do uso do DLB como fertilizante no sistema agrícola e aumentam a necessidade de insumos via fertilizante mineral (BIERER et al., 2017).

Nesse contexto, quando o objetivo é otimizar a eficiência do uso do dejetos bovino como fonte de nutrientes (EKPO et al., 2016), recomenda-se o uso de tecnologias eficientes para atender rapidamente a esses objetivos (GEBREZGABHER et al., 2015). Estratégias como a injeção de resíduos no solo podem resultar em redução significativa da volatilização do NH_3 (DELL et al., 2012; AITA et al., 2014; RAUBER Et al., 2017; DAMIAN et al., 2018), a qual segundo Bierer et al. (2017), pode reduzir em até 98 % a volatilização de NH_3 comparada à aplicação superficial do DLB. Trabalhos como de Smith et al. (2008), que avaliaram diferentes profundidades de injeção de dejetos líquido suíno em solo do Canadá (5, 10, 15, 20, 25 e 30 cm), verificaram que a eficiência da aplicação injetada na redução da emissão de NH_3 variou de 36 % a 58 % nas profundidades de 5 e 30 cm, respectivamente. A injeção de fertilizante orgânico reduz substancialmente as emissões de NH_3 devido que diminui a exposição do dejetos ao ar e aumenta a imobilização do NH_4^+ por causa de um maior contato do DLB com as partículas do solo (DELL et al., 2011; WEBB et al., 2014).

A injeção de fertilizantes orgânicos é uma alternativa recomendada e tem sido adotada em países de clima temperado, demonstrando ser eficiente na redução da volatilização do NH_3 (CHANTIGNY et al., 2004; CHEN et al., 2014; BEIRER et al.; 2017). No entanto, ainda é pouco utilizada no Brasil devido ao maior custo em relação a aplicação superficial do fertilizante orgânico. Porém, Chen et al. (2014) estudaram os custos de diferentes técnicas de aplicação e concordaram que a injeção tem um custo maior de início; no entanto, o custo total da injeção pode ser menor devido a menor perda de nutrientes e à redução da necessidade de fertilizantes químicos.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação superficial e injetada ao solo de fertilizante mineral e dejetos líquido bovino em duas épocas do ano na volatilização de amônia (NH_3).

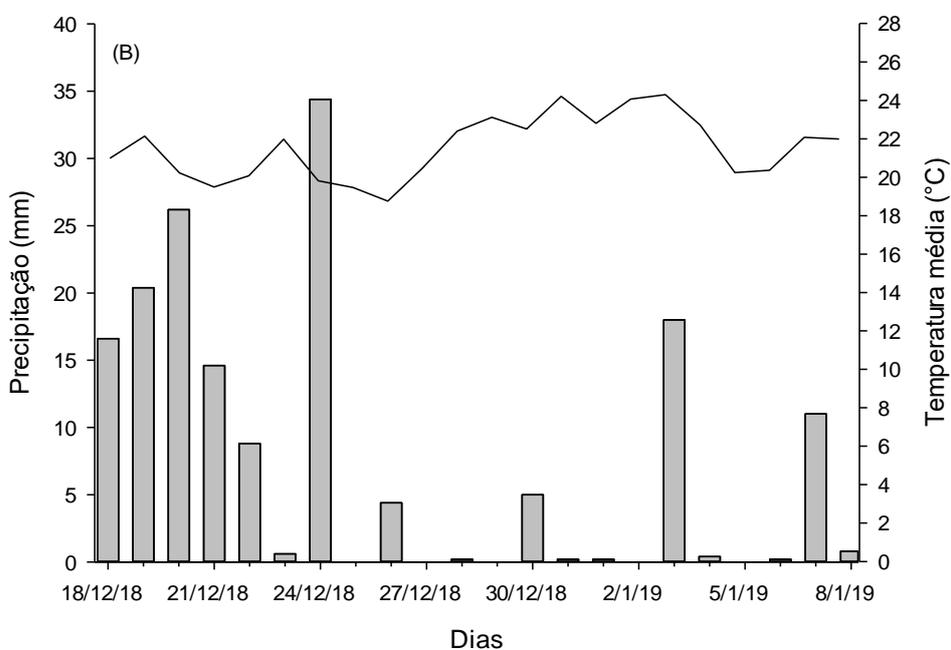
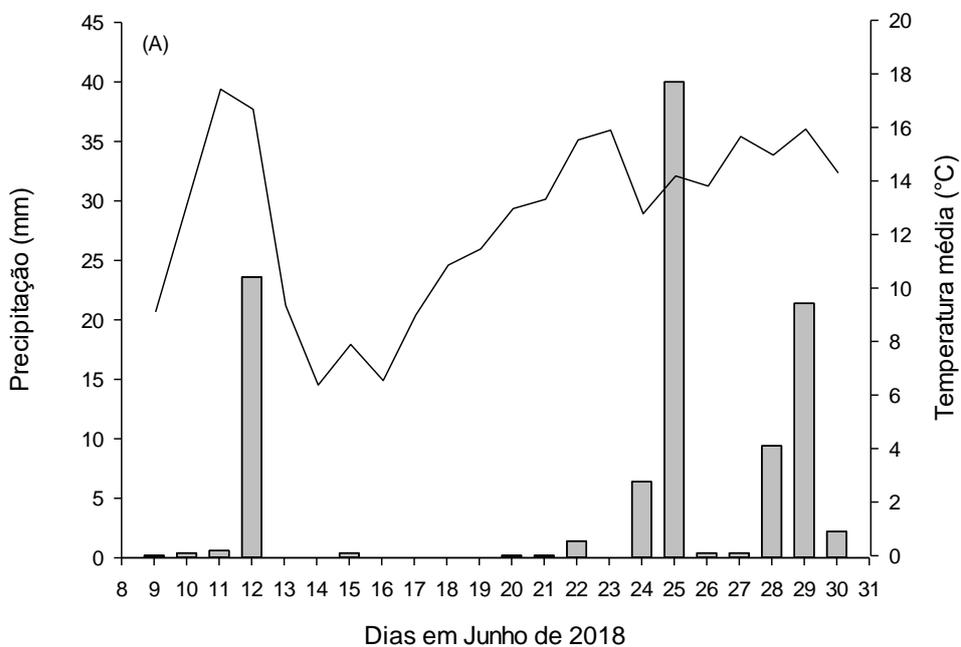
6.3 MATERIAIS E MÉTODOS

6.3.1 Localização e características da área experimental

O trabalho foi conduzido em condições de campo em dois períodos: no outono e inverno de 2018 e na primavera e verão de 2018 e 2019. A área do experimento se encontra no interior do município de Lages - SC, na Fazenda de Pesquisas do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), a 27°44'00'' de Latitude Sul e 50°04'50'' de Longitude Oeste e a altitude média é de 892 m. O clima da localidade é caracterizado como mesotérmico úmido, com verão ameno (Cfb segundo a classificação de Koppen). As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.550 mm e 15,6 °C, respectivamente. A precipitação total e a temperatura média durante os dias da realização do experimento estão registradas na Figura 27 (EPAGRI – CIRAM, 2019).

A área possui o solo classificado como CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico (SANTOS et al., 2013). Antes da implantação do experimento a área era mantida, nos últimos três anos, sob pousio e sem receber interferência agrícola. Para corrigir a acidez do solo para pH SMP igual a 5,5, em agosto de 2016 foi aplicado 7,5 toneladas por ha⁻¹ de calcário filler dolomítico com PRNT de 90%, o qual apresentava 29% de óxido de Ca e 19% de óxido de Mg. O calcário foi distribuído uniformemente na superfície do solo em uma única aplicação. Também, após a aplicação do calcário e antecedente a implantação do experimento, foram realizadas coletas e análises do solo para caracterização das áreas, conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995), sendo os resultados apresentados na Tabela 7.

Figura 27 - Temperatura média (°C) e precipitação total (mm) dos dias ocorridos durante a condução do experimento no outono/inverno (A) e na primavera/verão (B). As barras representam a precipitação e as linhas representam a temperatura.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Tabela 7 - Atributos químicos e físicos da camada de 0 a 20 cm de profundidade do CAMBISSOLO HÚMICO em Lages-SC.

pH	SMP	MO	Argila	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{ph7}
		--- g kg ⁻¹ ---		- mg dm ⁻³ -		----- cmol _c dm ⁻³ -----				
5,5	5,2	51	307	10,5	158	5,9	3,5	0,25	10,9	20,7

Fonte: produção do próprio autor (2018). Legenda - pH: pH do solo em água; SMP: pH do solo em solução tamponada; MO: matéria orgânica; P: fósforo disponível; K⁺: potássio disponível; Ca²⁺: cálcio trocável; Mg²⁺: magnésio trocável; Al³⁺: acidez trocável; H+Al: acidez potencial; V: saturação por bases; e, CTC_{ph7}: capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

6.3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos compreenderam o esquema fatorial 3x2x2, com três tipos de fertilizações: a testemunha, sem fertilização (TEST); o fertilizante mineral (FM); e o uso de dejetos líquidos bovinos de leite (DLB) na dose de 100 m³ ha⁻¹ (DLB100); em dois modos de aplicação dos fertilizantes: superficial (SUP) e injetado (INC) e duas épocas de coleta da amônia: primavera/verão e outono/inverno. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas e quatro repetições, totalizando 48 unidades amostrais. As diferentes fertilizações foram alocadas nas parcelas principais, os dois modos de aplicação nas subparcelas e as subsubparcelas foram definidas para as épocas do ano em que foram realizadas as coletas de amônia. O tamanho das parcelas foram de 40,5 m² (4,5 x 9 m) e das subparcelas foram de 18 m² (4,5 x 4 m), e a área útil de 12 m².

6.3.3 Caracterização do dejetos líquidos bovinos, equipamento de injeção e aplicação dos fertilizantes

O DLB foi obtido a partir de um rebanho leiteiro compostos por vacas da raça Jersey mantidas em confinamento no sistema FreeStall. A propriedade que disponibilizou o DLB se encontra em Lages - SC, próximo da BR 116. A estabilização do DLB ocorreu durante 3 a 4 meses em esterqueira aberta. A caracterização e a concentração de nutrientes de todos os DLB

aplicados foram determinadas conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e encontra-se demonstrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Características físicas e químicas dos dejetos líquido bovino de leite gerados por vacas Jersey em sistema FreeStall aplicados na área do experimento como fertilizante das pastagens, Lages – SC.

	pH	NH ₄ ⁺	NO ₃ ³⁻	NT	P	K	Ca	Mg	MS
		----- kg m ⁻³ -----							%
DLB2	8,08	0,91	0,07	1,76	0,237	1,89	0,106	0,192	4,39
DLB3	8,11	0,79	0,08	1,43	0,246	1,07	0,163	0,222	2,32

DLB2: dejetos líquido bovino aplicado em 08 de junho de 2018; DLB3: dejetos líquido bovino aplicado em 17 de dezembro de 2018; pH: pH em água; NT: nitrogênio total; e, MS: matéria seca.

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A injeção do DLB ao solo foi realizada com equipamento desenvolvido em uma parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda. (Figura 2), composto de um tanque metálico com capacidade para 4.000 L, contendo linhas de injeção na parte traseira. O conjunto de linhas de injeção é fixado ao chassi do equipamento e compreende disco de corte frontal e facão sulcador em cuja face posterior é vertida o jato de DLB, distanciados em 35 cm. O conjunto é acionado por meio de pistão hidráulico central conectado por mangas de alta pressão ao sistema hidráulico do trator. Na tubulação de saída do tanque para as linhas de injeção, há um registro de esfera, que permite regulagem da vazão. Este está posicionado antes da câmara de equalização da vazão, a qual tem a função de distribuir o fluxo dos dejetos uniformemente nas mangueiras que conduzem às linhas de injeção. Os discos sulcadores apresentam diâmetro de 45 cm.

A injeção do DLB foi realizada com as linhas de injeção inseridas no solo por subparcela, a uma profundidade de aproximadamente 7 cm e a mobilização média na superfície do sulco foi de 10 cm. Para aplicação injetada do fertilizante mineral, usou-se o mesmo equipamento de injeção, abrindo um sulco e aplicando os fertilizantes minerais manualmente. Posteriormente, estes sulcos foram fechados com uso de enxada. Os tratamentos em superfície, a aplicação do DLB foi feita com o equipamento de injeção suspenso e para o fertilizante mineral a distribuição foi manual a lança.

Figura 28 - Equipamento desenvolvido para injeção de dejetos líquido de animais pela parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo – RS (UPF/RS) e a empresa MEPEL Ltda.



Fonte: <http://www1.ows.com.br/mepel/produto/ver/daol-incorporador/43>, acessado em 21 de fevereiro de 2020.

As aplicações injetada e superficial dos fertilizantes foram realizadas duas vezes, uma no outono/inverno e outra na primavera/verão, e que ocorreram em 08 de junho de 2018 e 17 de dezembro de 2018, respectivamente. O tratamento FM foi o recomendado para aveia no inverno e milho no verão conforme o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016), com base na primeira análise do solo (tabela 1). As doses foram calculadas para uma expectativa de rendimento de 12 e 7 Mg ha⁻¹ para o milho e aveia, respectivamente. As fontes de NPK dos fertilizantes minerais foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. As quantidades de nutrientes aplicados em cada tratamento após as duas aplicações dos fertilizantes estão apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 - Teores de macronutrientes aplicados nas duas fertilizações e o total durante a condução do experimento em CAMBISOLO HÚMICO em Lages - SC.

	N	P₂O₅	K₂O	Ca	Mg
----- kg ha ⁻¹ -----					
Aveia 2018					
AM*	130	70	70	20,5	–
DLB100	176	68	190	10,6	19,2
Milheto 2018/2019					
AM*	190	100	120	29,3	–
DLB100	143	71	107	16,4	22,2
TOTAL					
AM*	640	380	380	111,2	–
DLB100	618	315	603	46,7	63,4

Legenda - *Dose recomendada pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (SBCS - NRS, 2016).

Fonte: produção do próprio autor, 2020.

6.3.4 Amostragem e análise de amônia volatilizada

A coleta de NH₃ volatilizada ocorreram 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 18 e 22 dias após a aplicação dos tratamentos, sendo uma época no outono/inverno e outra na primavera/verão. As coletas de amônia foram realizadas antes da semeadura das pastagens. A metodologia utilizada foi semelhante a utilizada por Trivelin e Manzone (2002).

Assim, para avaliar a NH₃ volatilizada foram utilizadas espumas absorvedoras de 8x8 cm e densidade de 0,02 g cm⁻³ (Figura 29). As espumas foram embebidas em 11ml de ácido fosfórico 0,05N e envolvidas por fita de polytetrafluoretileno (PTFE ou veda rosca), que é permeável a amônia e impermeável a água. Em seguida, dentro de sacos plásticos, as espumas foram levadas ao campo. Depois, retirou-se as espumas dos sacos plásticos e foram colocadas dentro de uma câmara semiaberta (galão de água 5L) (Figura 30). Cada subparcela tinha uma câmara semiaberta e cada câmara recebeu uma espuma. No modo de aplicação injetado, as câmaras foram colocadas em cima da linha de injeção. As espumas ficaram viradas para o solo a uma altura do solo de 8 cm atreladas em placas de PVC de 10x10 cm e estas apoiadas em quatro hastes.

Figura 29 - Espumas absorvedoras de 8x8 cm e densidade de $0,02 \text{ g cm}^{-3}$ embebidas em 11ml de ácido fosfórico 0,05N.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Figura 30 – Câmaras semiabertas com as espumas viradas para o solo a uma altura do solo de 8 cm atreladas em placas de PVC de 10x10 cm e estas apoiadas em quatro hastes.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Após, as espumas foram retiradas das câmaras e armazenadas novamente em saco plástico até o laboratório para imediata determinação do N. Assim, as espumas foram lavadas com 250 ml de água destilada em funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo (Figura 31). Retirou-se uma alíquota de 50 mL, e posteriormente, a amostra foi submetida

à análise de nitrogênio pelo método de macrokjeldahl, sendo para isso adicionados 15 mL de NaOH 40% à amostra e utilizada uma solução receptora de ácido bórico e ácido sulfúrico 0,05N para a titulação.

Figura 31 - Espumas lavadas com 250 ml de água destilada em funil de Buckner com placa porosa ligado a uma bomba de vácuo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para o cálculo do nitrogênio, utilizou-se a seguinte equação: $N \text{ (mg)} = \text{vol gasto de ácido sulfúrico} * \text{normalidade do ácido} * 14 * (250/50)$. Depois, somou-se para cada dia o acumulado de NH_3 volatilizado de cada época do ano e, também, somou-se os valores de N das 12 coletas de cada época do ano para obter a volatilização total de NH_3^+ .

6.3.5 Estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias dos tratamentos foi por meio do teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Para as análises foi utilizado o programa SISVAR.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

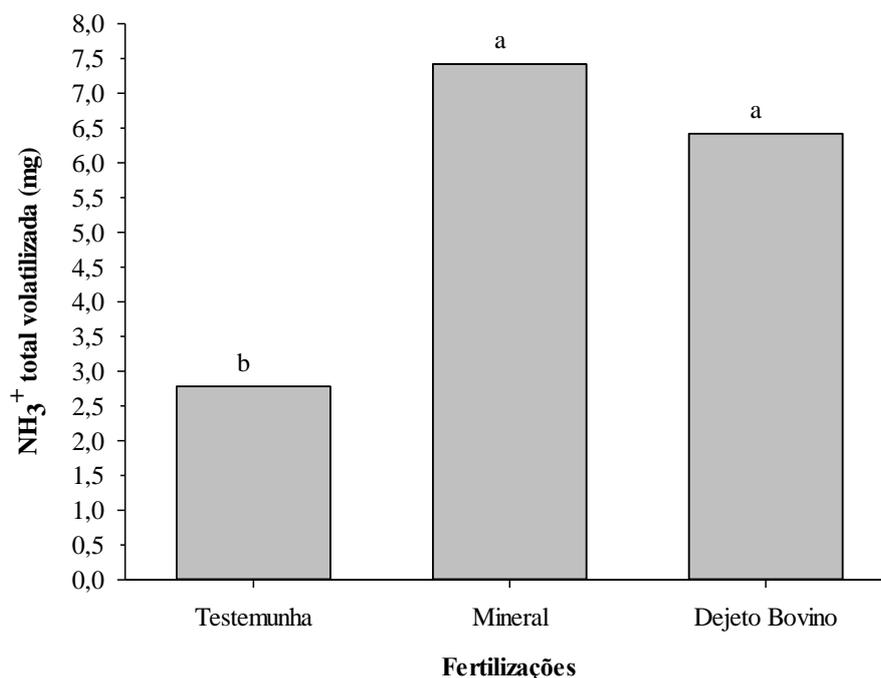
A volatilização total de NH_3 apresentou diferença nos efeitos simples entre as fertilizações (figura 32), entre os modos de aplicação (figura 33) e entre as épocas do ano (figura 34). Também houve interações duplas entre as fertilizações e os modos de aplicação (figura 35) e entre as fertilizações e as épocas do ano (figura 36).

Assim, na figura 32, observa-se que no efeito simples das fertilizações, na média o tratamento que menos volatilizou amônia (NH_3) no total foi a testemunha, aonde isso já era esperado devido que neste tratamento não foi utilizado fonte de nitrogênio, e os tratamentos com DLB e FM volatilizaram mais amônia. Os tratamentos fertilizados incrementaram em torno de 2,5 vezes mais a volatilização da NH_3 em relação a testemunha. A total perda de NH_3 por volatilização nos tratamentos fertilizados foi de aproximadamente $4,6 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, as propriedades deste solo junto com o clima Cfb do local contribuíram para uma baixa perda total de NH_3 por volatilização. Estas perdas de N por volatilização para o meio comprometem a eficiência agrônômica dos fertilizantes, o lucro econômico do produtor e a produtividade das culturas, e aumenta o potencial poluente do material orgânico.

No estudo de Aita et al. (2014) em dois solos de Santa Maria - RS, ambos classificados como PODZÓLICO VERMELHO, no entanto, o solo 1 tem a textura franco arenosa e o solo 2 possui a textura franca, observa-se comportamento diferente entre o fertilizante orgânico dejetos líquido suíno e a ureia na volatilização de amônia para cada solo. No solo 1, a ureia perdeu menos NH_3 do que o dejetos suíno, já no solo 2, foi o tratamento com dejetos suíno que perdeu menos NH_3 por volatilização em relação a ureia. No estudo de Rauber et al. (2017), em solo arenoso, o fertilizante mineral e o orgânico volatilizaram mais NH_3 em relação a testemunha

(sem fertilização) até o segundo dia de coleta. No entanto, após o terceiro dia não houve diferença entre a testemunha, o fertilizante orgânico e o mineral na volatilização de NH_3 , provavelmente devido à estrutura do solo, o que pode ter favorecido a lixiviação de nitratos. Ainda neste estudo, no solo argiloso, nos dois primeiros dias não houve diferença na volatilização de NH_3 entre os três tratamentos, porém, no terceiro dia o dejetos suíno apresentou maior volatilização de NH_3 em relação a ureia e testemunha, e depois do quarto dia, novamente, não se teve mais diferença entre os tratamentos. Assim, nota-se que o clima, tipo de solo e a composição do fertilizante orgânico influenciam na volatilização de NH_3 .

Figura 32 - Volatilização total de NH_3 (mg) após uso das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquido bovino na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização), na média dos dois modos de aplicação: injetado e superficial, e das duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno.

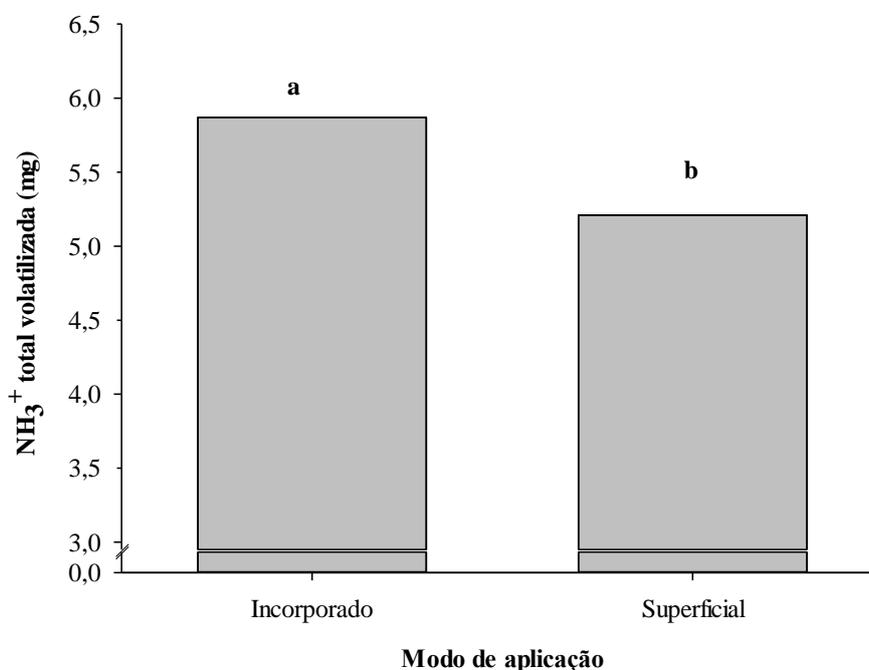


Letras minúsculas diferem as fertilizações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

No efeito simples de modo de aplicação, observa-se que na média geral a injeção dos fertilizantes volatilizou mais NH_3 no total em relação a aplicação superficial (Figura 33). O pH do solo é um fator que determina a volatilização da amônia. A aplicação superficial do

fertilizante mineral diminuiu o pH do solo (Tabela 4) em relação aos outros tratamentos na camada de 0 a 2,5 cm e, na camada de 5 a 10, na média dos fertilizantes, a aplicação superficial diminuiu o pH do solo em relação a injeção dos fertilizantes ao solo (Tabela 4). Assim, ao diminuir o pH do solo, a aplicação superficial do solo pode ter reduzido a volatilização da NH_3 .

Figura 33 - Volatilização total de NH_3 (mg) após uso de fertilizantes no modo de aplicação injetado e superficial, na média das três fertilizações: fertilizante mineral, dejetos líquido bovino na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e uma testemunha (sem fertilização), e das duas épocas de coleta: primavera/verão e outono/inverno.



Letras minúsculas diferem os modos de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2019.

Também, este fato pode ter ocorrido devido que foi colocado uma câmara semiaberta por subparcela. Na subparcela do modo de aplicação injetado, a câmara foi colocada em cima do sulco onde os fertilizantes orgânico ou mineral estavam concentrados e, assim, a área da câmara semiaberta cobriu uma maior quantidade concentrada dos fertilizantes em relação a câmara na subparcela da aplicação superficial. Ou seja, a câmara na subparcela da aplicação injetada coletou mais NH_3 volatilizada porque em sua área tinha maior quantidade de fertilizante em relação a mesma área da câmara da aplicação superficial. Para corrigir este erro

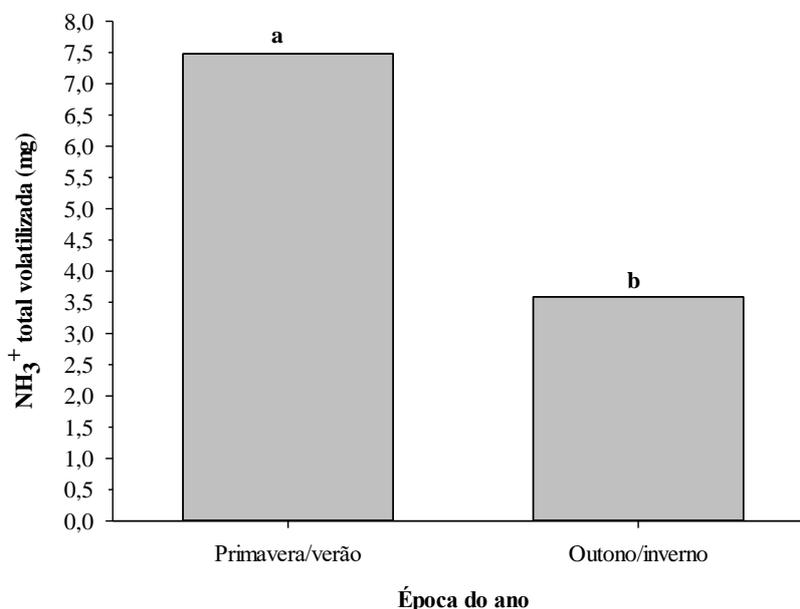
experimental, no mínimo deveria ter sido colocado duas câmaras em cada subparcela, sendo estas colocada uma no sulco e outra no entre sulco no modo de aplicação injetado.

No entanto, Rauber et al. (2017) ao estudarem aplicação superficial e injetada ao solo do dejetado líquido suíno, fertilizante mineral (ureia) e a testemunha em solo argiloso e arenoso durante 14 dias, observaram que no solo argiloso, a injeção dos fertilizantes reduziu a volatilização da NH_3 em relação ao modo de aplicação superficial. Segundo esses autores, essa redução se deve à menor exposição dos fertilizantes ao ar e à maior retenção de NH_4^+ nas partículas do solo. No solo arenoso, não há diferença na volatilização do NH_3 entre os modos de aplicação.

Na figura 34, comparando-se as duas épocas do ano de coleta, na primavera/verão foi perdido 2 vezes mais N por volatilização em relação ao período de outono/inverno. Segundo Aita et al. (2014), valores menores e maiores de perda de N por volatilização da ureia e do fertilizante orgânico aplicado superficialmente ou injetado entre os locais e os anos indicam que as condições ambientais no momento da aplicação têm um impacto maior na volatilização. Assim, neste estudo percebe-se a diferença das temperaturas entre as épocas do ano foi o fator mais determinante para maiores ou menores perdas de N por volatilização de NH_3 .

De acordo com este trabalho, Tasca et al. (2011) verificaram que as emissões ocorridas com a adição de fertilizante mineral (ureia) no solo eram 30 % maiores a 35 °C do que a 18 °C. No experimento de Rauber et al. (2017) com dejetado líquido suíno, fertilizante mineral e testemunha em aplicação superficial e injetada ao solo, o pico de volatilização (terceiro dia) coincidiu com a temperatura máxima superior a 35 °C, principalmente quando os fertilizantes foram aplicados na superfície.

Figura 34 - Volatilização total de NH_3 (mg) em duas épocas do ano: primavera/verão e outono/inverno, na média das três fertilizações: fertilizante mineral, dejetos líquidos bovinos na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e uma testemunha (sem fertilização), e dos dois modos de aplicação: injetado e superficial.



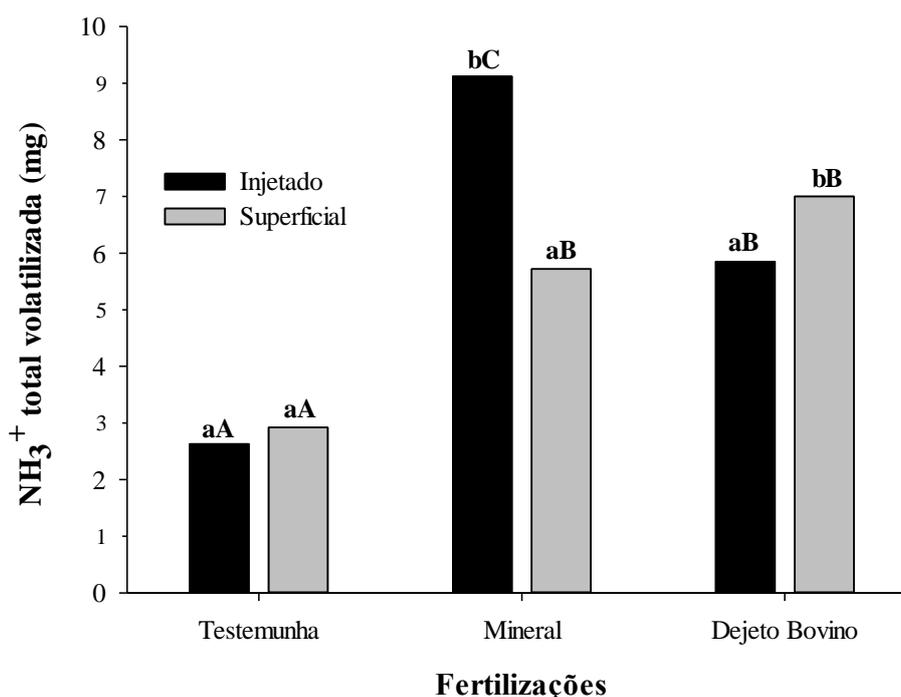
Letras minúsculas diferem as épocas do ano pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2020.

Na Figura 35, observa-se que houve interação entre as fertilizações e os modos de aplicação dos fertilizantes na volatilização total de NH_3 . Tanto na aplicação superficial, quanto na injetada dos fertilizantes, a testemunha foi o tratamento que menos volatilizou NH_3^+ , o que já era esperado, pois neste tratamento não foi adicionado N ao solo. Porém, na aplicação injetada, o fertilizante mineral volatilizou mais NH_3 em relação ao dejetos líquidos bovinos, e isto pode estar relacionado ao fato de que foi adicionado maior quantidade de N via fertilizante mineral, e este N é mais solúvel que o N da fonte orgânica. Mas na aplicação em superfície, os dois tratamentos fertilizados não foram diferentes entre si. Como o modo de aplicação superficial dos fertilizantes volatiliza mais NH_3 (RAUBER et al., 2017), o efeito da origem do N via fertilizante na volatilização de NH_3 foi pouco expressivo.

Ainda na Figura 35, quando se compara os modos de aplicação para cada fertilizante, a injeção do DLB diminuiu a volatilização da NH_3 em relação ao modo de aplicação superficial. Para este experimento, a injeção do DLB diminuiu no total a perda de aproximadamente 1 kg ha^{-1} de NH_3 por volatilização. Essa redução foi alcançada devido a menor exposição do fertilizante

orgânico ao ar e favorecendo a adsorção e retenção do NH_4^+ do DLB nas partículas do solo (DELL et al., 2011). No entanto, para o fertilizante mineral, a aplicação em superfície volatilizou menos NH_3 em relação a injeção deste fertilizante ao solo. A aplicação superficial do fertilizante mineral diminuiu o pH do solo (Tabela 4) e, conseqüentemente, reduziu a perda de N por volatilização. Assim, conclui-se que para o DLB a injeção ao solo foi uma prática competente para diminuir as perdas de N por volatilização, e aumentar sua eficiência como fonte de N para as plantas.

Figura 35 - Volatilização total de NH_3 após das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquido bovino na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização) em dois modos de aplicação: injetado e superficial.



Letras maiúsculas diferem modo de aplicação dentro de cada fertilização e letras minúsculas diferem fertilizações dentro de cada modo de aplicação pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2019.

No entanto, Rauber et al. (2017) observaram que tanto para o fertilizante mineral quanto para o dejetos líquido bovino, a volatilização total de NH_3 foi maior na aplicação superficial do que na injeção dos fertilizantes ao solo, e este comportamento é observado no solo argiloso e arenoso. Nos EUA, em um estudo de volatilização em ambiente controlado (22°C) por 14 dias

de Bierer et al. (2017) com aplicação de DLB, a injeção do fertilizante orgânico na subsuperfície reduziu as perdas de NH_3^+ em 98 % e 87 % em solo franco-argiloso e arenoso, respectivamente. Estes autores também observaram que 70 % da perda total de NH_3 por volatilização ocorreu nas primeiras 36 e 48 horas após aplicação do DLB em superfície para o arenoso e o franco-argiloso, respectivamente. No tratamento injetado do DLB, 70% da perda total de NH_3 ocorreu 96 e 144 h após a aplicação para o arenoso e franco-argiloso, respectivamente.

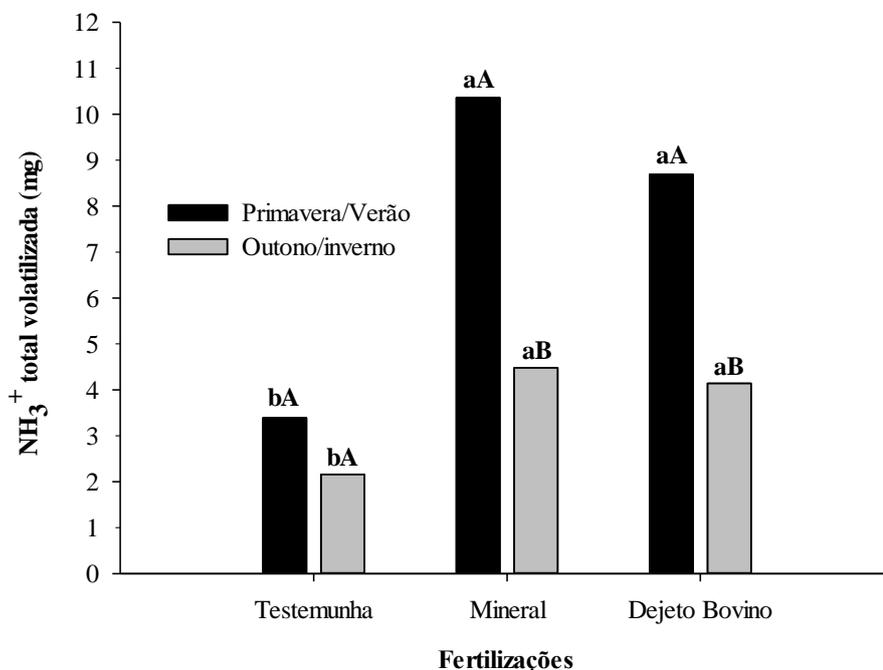
Neste trabalho, as perdas de N pela volatilização da amônia podem ter influenciado na produção de matéria seca (MS) da pastagem milheto, pois, observa-se na Figura 15 que o FM aplicado em superfície apresentou maior produção de MS do milheto em relação a sua aplicação injetada no solo. No entanto, a injeção ao solo do DLB aumentou a produção de MS do milheto quando comparada a aplicação superficial do fertilizante orgânico. Portanto, o comportamento da produção de MS do milheto foi igual ao comportamento da volatilização de NH_3 , ou seja, maiores perdas de N por volatilização ocasionaram menor produção de MS.

Na figura 36, nota-se a interação entre as fertilizações e as épocas do ano na volatilização total de NH_3 . Assim, observa-se que tanto na primavera/verão quanto no outono/inverno, novamente a testemunha volatilizou menos NH_3 em relação aos tratamentos fertilizados, e estes últimos não diferiram entre si. Ou seja, independente da época do ano, quando foi aplicado fertilizante como fonte de N houve maiores perdas de NH_3 por volatilização.

Porém, comparando-se as épocas nas diferentes fertilizações, observa-se que nos tratamentos DLB e fertilizante mineral, a primavera/verão volatilizou mais NH_3 em relação ao outono/inverno. Como já supracitado, maiores temperaturas da primavera/verão tendem a proporcionar maiores perdas de N por volatilização. No entanto, no tratamento testemunha, as épocas do ano não foram diferentes entre si. A temperatura não afetou na volatilização da NH_3^+ quando não se adiciona N no solo.

Embora as câmaras estáticas semiabertas sejam úteis para comparar perdas de volatilização entre tratamentos experimentais (SMITH et al., 2008), eles são reconhecidos por subestimar a volatilização de NH_3^+ , por causa das condições microclimáticas e movimento restrito do ar dentro da câmara (SMITH et al., 2008). Ainda, para melhores resultados deste experimento seria necessário a colocação de mais câmaras por subparcela para quantificar as perdas de N por volatilização. Porém, observa-se com este trabalho uma prévia sobre as perdas de N e quais práticas de manejo é mais eficiente para cada fertilizante em cada época do ano.

Figura 36 - Volatilização total de NH_3 após das fertilizações com fertilizante mineral e dejetos líquido bovino na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, e uma testemunha (sem fertilização) em duas épocas do ano: primavera/verão e outono/inverno.



Letras maiúsculas diferem época do ano dentro de cada fertilização e letras minúsculas diferem fertilizações dentro de cada época do ano pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2019.

6.5 CONCLUSÃO

A injeção do DLB diminuiu as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia em relação ao modo de aplicação superficial.

As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia são semelhantes entre o DLB e FM quando esses fertilizantes são aplicados na superfície do solo. No entanto, no modo de aplicação superficial, o DLB volatiliza menos amônia.

As perdas de nitrogênio por volatilização de amônia são maiores nas adubações realizadas no período de primavera/verão do que no outono/inverno.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de doses de dejetos líquido bovino para a fertilização de pastagem de milho e aveia preta é uma alternativa eficiente para o aumento da produção de matéria seca e melhorar a composição química bromatológica dessas forrageiras. O fertilizante orgânico pode substituir parcial ou totalmente o fertilizante mineral.

A injeção do dejetos líquido bovino é uma técnica viável para diminuir as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e aumentar a produção de matéria seca do milho e da aveia preta. Por exemplo, em dois anos de cultivo da pastagem milho, a adição injetada da dose de $100 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ de DLB aumentou 34 t ha^{-1} de matéria seca do milho.

No experimento de volatilização de amônia há uma necessidade de aprimorar a metodologia e aumentar o número de amostras no campo em posteriores estudos para se ter dados mais confiáveis.

A condução de experimento de longa duração se faz necessário para melhor conhecimento sobre a dinâmica dos teores de nutrientes no solo e nas pastagens para obter dados de maior confiabilidade para a ciência. Assim, este estudo com injeção de fertilizantes orgânicos deve ser continuado por posteriores pós-graduandos da Ciência do Solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Nitrato no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos no milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 2101 - 2111, 2008.

ANAMI, M. H. et al. Deslocamento miscível de nitrato e fosfato proveniente de águas residuária da suinocultura em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12: 75-80, 2008.

ARAÚJO, A. S. et al. Produtividade do capim-marandu e alterações químicas do solo submetido a doses de dejetos líquidos de bovinos. **Revista de Ciências Agrárias**, 54: 235–246, 2011.

ASSMANN, T. S. et al. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1515-1523, 2007.

ASSMANN, T. S. et al. Manejo e Fertilidade Do Solo De Plantas Forrageiras. Anais do VI SUL LEITE, n. October, p. 130–148, 2014.

BARCELLOS, L. A. R. Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos. 1992. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1992.

BARCELLOS, M. et al. Atributos químicos de Latossolo sob plantio direto adubado com esterco de bovinos e fertilizantes minerais. **Comunicata Scientiae**, 6: 263–273, 2015.

BARILLI, J. Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Tese - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

BARNABÉ, M. C. et al. Produção e composição químico-bromatológica da Brachiaria brizantha cv. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos. **Ciência Animal Brasileira**, 8: 435–446, 2008.

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

BASSO, C. J. et al. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, 42: 653-659, 2012.

BENITES, F. R. G. et al. A contribuição do gênero *Cynodon* para a pecuária de leite. EMBRAPA, 1: 147-166, 2016.

BERTOL, I. et al. Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 41:1-15, 2017.

BERTOL, O. J. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 781-792, 2007.

BERWANGER, A. L. et al. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32, 2525-2532, 2008.

BIERER, A. M. et al. Effects of dairy slurry injection on carbon and nitrogen cycling. **Soil Science**, 182: 181-187, 2017.

BODDEY, R. M. et al. The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. **Soil Biology and Biochemistry**, 29: 787-799, 1997.

BOITT, G. et al. Fate of phosphorus applied to soil in pig slurry under cropping in southern Brazil. **Geoderma**, 321: 164-172, 2018.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14: 91-98, 1990.

BUENO, P. R. B et al. Valor econômico para componentes do leite no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 33: 2256 - 2265, 2004.

BUNDY, L. G. et al. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. **Journal Environmental Quality**, 30: 1822-1828, 2001.

CAPOANE, V. et al. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, 45: 647-650, 2015.

CASSOL, P.C. et al. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 25, 635-644, 2001.

CASSOL, P. C. et al. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36: 1911–1923, 2012.

CASTAGNARA, D. D. et al. Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 04, p. 1637 - 1648, 2011.

CERETTA, C. A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 38: 729-735, 2003.

CERETTA, C. A. et al. Dejetos líquidos bovinos: Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, 35: 1296-1304, 2005.

CERETTA, C. A. et al. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 139: 689-699, 2010.

CHADWICK, D. et al. Manure management: implications for greenhouse gas emissions. **Animal Feed Science Technol.** 166–167: 514–531, 2011.

CHANTIGNY, M. H. et al. Ammonia Volatilization and Selected Soil Characteristics Following Application of Anaerobically Digested Pig Slurry. **Soil Science Society of America Journal**, 68: 306–312, 2004.

CHEN, Lide e colab. On-farm comparison of two dairy manure application methods in terms of ammonia and odor emissions and costs. *Applied Engineering in Agriculture*, v. 30, n. 5, p. 805–813, 2014.

CHEROBIM, V. F. et al. Tillage system and time post-liquid dairy manure: Effects on runoff, sediment and nutrients losses. **Agricultural Water Management**, 184: 96–103, 2017.

COBLENTZ, W. K. et al. Net effects of nitrogen fertilization on the nutritive value and digestibility of oat forages. **Journal of Dairy Science**, 100: 1739–1750, 2017.

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

DAMIAN, J. M. et al. Strategies for fertilization with pig and cattle slurry in wheat crop. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22: 261–266, 2018.

DELL, J. C. et al. Low-Disturbance manure incorporation effects on ammonia and nitrate loss. *Journal of Environment Quality*, 41: 928, 2012.

DELL, J. C. et al. Subsurface Application of Manures Slurries for Conservation Tillage and Pasture Soils and Their Impact on the Nitrogen Balance. **Journal of Environmental Quality**, 40: 352-361, 2011.

DORTZBACH, D. et al. Teores de cobre e zinco no solo após sucessivas aplicações de dejetos líquido e cama sobreposta de suínos. In: Reunião brasileira de manejo de manejo e conservação do solo e da água, 17. Anais.. Rio de Janeiro, SBCS, Embrapa Solos, Embrapa Agrobiologia, p. 1-4, 2008.

EEKEREN, N. V. et al. Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. **Soil Biology and Biochemistry**, 42: 1491-1504, 2010.

EKPO, U. et al. Influence of pH on hydrothermal treatment of swine manure: Impact on extraction of nitrogen and phosphorus in process water. **Bioresource Technology**, v.214, p.637-644, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Boas práticas agropecuárias aplicadas à produção de leite. 2016. Disponível em <http://www.cnpq.embrapa.br/sistemaproducao/book/export/html/31> Acesso em 25 de fevereiro de 2018.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEROLOGIA – EPAGRI - CIRAM. Monitoramento dos fenômenos climáticos e seus impactos: climatologia de chuvas. Florianópolis, 2019. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/>. Acessado em dezembro de 2019.

ERDMANN, L. F. et al. Incorporation in soil and addition of enzyme inhibitor as a way to increase the efficiency of pig slurry and mineral fertilizer, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 44: 1–13, 2020.

ERTHAL, V. J. T. et al. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14: 467- 477, 2010.

FANGUEIRO, D. et al. Band application of treated cattle slurry as an alternative to slurry injection: Implications for gaseous emissions, soil quality, and plant growth. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 211: 102–111, 2015.

FERREIRA, D. F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, 35: 1039–1042, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Dairy Production and Products – Milk Production, 2016. Disponível em: Acesso em 05 de fevereiro de 2020.

FRANÇA, A. F. S. et al. Parâmetros nutricionais do capim-tanzânia sob doses crescentes de nitrogênio em diferentes idades de corte. **Ciência Animal Brasileira**, 8: 695-703, 2007.

FREITAS, K. R. et al. Produção e composição bromatológica do capim Braquiarião (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) fertilizados com diferentes doses de dejetos líquidos de suínos. Anais: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005.

GAMBAUDO, S. et al. Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. **Ciencia del Suelo**, 32: 197–208, 2014.

GATIBONI, L. C. et al. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 1753-1761, 2008.

GATIBONI, L. C. et al. Soil phosphorus thresholds in evaluating risk of environmental transfer to surface waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 39: 1225-1234, 2015.

GEBREZGABHER, S. A. et al. Factors influencing adoption of manure separation technology in the Netherlands. **Journal of Environmental Management**, 150: 1-8, 2015.
GIACOMINI, S. J. et al. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 44: 761-768, 2009.

GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34: 955–965, 2010.

GIROTTI, E. et al. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, 40: 1948–1954, 2010.

HEINENMAMM, A. B. et al. Rendimento forrageiro e composição bromatológica de cultivares de *Panicum maximum* cultivadas sob duas doses de N e K. Anais: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTENIA, Campo Grande, p. 41, 2004.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L. Impactos ambientais da fertilização orgânica em sistemas agropecuários na região sul-brasileira. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 18: 340-352, 2014.

HOODA, P. S. et al. Manuring and fertilization effects on phosphorus accumulation in soils and potential environmental implications. **Advances in Environmental Research**, 05: 13–21, 2001.

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

Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fourth Assessment Report of the IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

JACKSON, L. L. et al. Swine manure management plans in North-Central Iowa: Nutrient loading and policy implications. **Journal of Soil and Water Conservation**, 55: 205-212, 2000.

KEENEY, D. R.; BREMNER, J. M. 1966. Determinação e análise isotópica-proporcional de diferentes formas de nitrogênio nos solos: 4. Amônio, nitrato e nitrito permutáveis por métodos de destilação direta. **Soil Science. Soc. American**, 30: 583-587, 1966.

KULESZA, S. B. et al. Effects of poultry litter injection on ammonia volatilization, nitrogen availability, and nutrient losses in runoff. **Soil Science**. 179:190–196, 2014.

KUNZ, A. et al. Advanced swine manure treatment and utilization in Brazil. **Bioresource Technology**, 100: 5485-5489, 2009.

LAVRES JR., J.; MONTEIRO, F.A. Perfilamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 32: 1068-1075, 2003.

LOURENZI, C. R. et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejetos líquido de suínos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 51: 233-242, 2016.

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

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

MAGGI, C. F. et al. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15: 170-177, 2011.

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

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

MARQUES, A. C. R. et al. Dejetos de leiteira como alternativa para a adubação do consórcio aveia preta e azevém e seus efeitos na produção e qualidade bromatológica da forragem. Introdução. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 11: 188-195, 2016.

MARQUES, A. C. R. et al. Desempenho da mistura de aveia preta e azevém em função da adubação orgânica e mineral. **Revista Ceres**, 61: 112-120, 2014.

MATTE JÚNIOR, A. A.; JUNG, C. F. Produção leiteira no Brasil e características da bovinocultura leiteira no Rio Grande do Sul. **Ágora**, 19: 34-47, 2017.

MATSUOKA, M. et al. Impacto Da Aplicação De Dejetos Líquidos De Suínos Na Qualidade De Solos Do Oeste Catarinense. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, 8: 540, 2019.

McCRACKEN, D.V. et al. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. **Soil Science Society of America Journal**, 58: 1476-1483, 1994.

MEDEIROS, L. T. et al. Valor nutricional de pastagem fertirrigada com dejetos líquidos de suínos In: reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 42, 2005.

MEDEIROS, S. R. et al. Nutrição de bovinos de corte Fundamentos e aplicações. 176 p. 2015.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 15: 1409-1416, 1984.

MELLEK, J. E. et al. Dejeito Líquido Bovino e Alterações em Atributos Físicos e Estoque de Carbono de um Latossolo sob Plantio Direto. Anais: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2009.

MELO, L. C. A. et al. Caracterização da Matriz Orgânica de Resíduos de Origens Diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 101-110, 2008.

MESQUITA, E. E.; NERES, M. A. Morfogênese e composição bromatológica de cultivares de *Panicum maximum* em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, 09: 201-209, 2008.

MIRANDA, C. R.; SANTOS, J. L. A situação dos dejetos de suínos na região da AMAUC-SC. Anais: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, p. 9, 1999.

MISSELBROOK, T. H. et al. Slurry Application Techniques to reduce Ammonia Emissions: Results of some UK Field-scale Experiments. **Biosystems Engineering**, 03: 313-321, 2002.

MISTURA, C. et al. Efeito da adubação nitrogenada e irrigação sobre a composição químico-bromatológica das lâminas foliares e da planta inteira de capim-elefante sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36: 1707 - 1714, 2007.

MONDARDO, D. et al. Produção e composição químico-bromatológica da aveia preta fertilizada com doses crescentes de dejeito líquido suíno. 1: 509–517, 2011.

MORI, H. F. et al. Perdas, água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos de bovinos em Latossolo sob plantio direto e com chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33: 189-198, 2009.

MORVAN, T. et al. Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticales en automne par marquage isotopique ^{15}N . **Agronomie**, 16: 541-552, 1996.

MURPHY, J. RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, 27: 31-36, 1962.

NDEGWA, P. M. et al. A review of ammonia emissions mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. **Biosystems Engineering**, 100: 453-469, 2008.

NICOLAISEN, J. E. et al. Crop residue effects on runoff nutrient concentrations following manure application. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 50: 939-944, 2007.

NICOLOSO, R.S., et al. Acúmulo de nitrogênio e produtividade do milho adubado com dejetos líquidos de suíno aplicados em superfície ou injetado no solo com ou sem inibidor de nitrificação. In III Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais, 3: São Pedro, SP, 2013. Anais: Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. 24p.

OLIVEIRA, J. G. R. et al. Perda de Solo e Água e Riscos Ambientais da Concentração de Nutrientes no Escoamento Superficial em Solo Cultivado no Sistema de Plantio Direto e Submetido a Adubações Orgânicas e Mineral. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 08: 93-112, 2015.

PAYET, N. et al. Modelling the fate of nitrogen following pig slurry application on a tropical cropped acid soil on the Island of Réunion (France). **Agricultural Ecosystems Environmental**, 134: 218-233, 2009.

PEDREIRA, B. C. et al. Eficiência produtiva e econômica na utilização de pastagens adubadas. Anais: II SIMBOV – II Simpósio Matogrossense de Bovinocultura de Corte, 35 p., 2017.

PELES, D. Perdas de solo, água e nutrientes sob aplicação de gesso e dejetos líquidos de suínos. Tese - Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2007.

PEREIRA, L. E. T. et al. Sward structure of marandu palisadegrass subjected to continuous stocking and nitrogen-induced rhythms of growth. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 67: 531 - 539, 2010.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, 28:655-661,2004.

QUADROS, F.L.F.; BANDINELLI, D.G. Efeitos da adubação nitrogenada e de sistemas de manejo sobre a morfogênese de *Lolium multiflorum* Lam, e *Paspalum urvillei* Steud, em ambiente de várzea. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 34: 44 - 53, 2005.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 343 p., 1991.

RAUBER, L. P. et al. Ammonia volatilization with swine slurry injection and use of nitrification inhibitor. **Revista Ceres**, 64: 307–314, 2017.

RAUBER, L. P et al. Soil mineral nitrogen in soil under injection and surface. **Brazilian Journal of Agriculture**, 93: 313–323, 2018.

REIS, R. A.; RODRIGUES, L. R. A. Valor nutritivo de plantas forrageiras. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 26 p., 1993.

RIBEIRO, A. C. et al. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa, 359 p., 1999.

ROSA, B. et al. Utilização dos dejetos líquidos de suínos como fonte de NPK para o capim Braquiara (Brachiaria brizantha cv. Marandu). Anais: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39. 2002.

ROSADO, T. L. et al. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim-mombaça. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, 38: 840–849, 2014.

SACOMORI, W. et al. Concentração de nutrientes na solução do subsolo de lavoura fertilizada com dejetos líquidos de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, 15: 245 - 258, 2016.

SADEGHPOUR, A. et al. Nitrous Oxide Emissions from Surface versus Injected Manure in Perennial Hay Crops. *Soil Science Society of America Journal*, 82: 156–166, 2018.

SALAZAR-SOSA, E. et al. De maíz forrajero y propiedades del suelo Residual Effect of Cow Manure on Silage Corn Yield and Soil Properties. *Terra Latinoamericana*, 28: 381–390, 2010.

SANTI, A. et al. Adubação nitrogenada na aveia preta. I- Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 1075-1083, 2003.

SANTOS, Humberto Gonçalves e colab. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa ed. Brasília, DF: [s.n.], 2013.

SBCS - NRS. Manual de adubação e de calagem para os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2004.

SBCS - NRS. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. sem local: [s.n.], 2016.

SCHERER, E. E. et al. Atributos químicos do solo influenciados por aplicações sucessivas aplicações de suínos em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense. *Revista Bras Ci Solo*, 34: 1375-83, 2010.

SCHERER, E. E. et al. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 31: 123–131, 2007.

SCHERER, E. E.; NESI, C. N. Características químicas de um Latossolo sob diferentes sistemas de preparo e adubação orgânica. p. 715–721, 2009.

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

SILVA, A. A. et al. Fertilização com dejetos suínos: Influência nas características bromatológicas da brachiaria decumbens e alterações no solo. *Engenharia Agrícola*, 35: 254–265, 2015.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.

SILVA, D. M. et al. Indicadores microbiológicos de solo em Pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 1585-1594, 2015.

SILVA, José Carlos Peixoto Modesto Da e colab. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32: 2563–2572, 2009.

SILVA, S. C. et al. Pastagens: conceitos básicos, produção e manejo. 1. ed. Viçosa: Suprema, 2008. 115 p.

SILVA, V. B. et al. Taxa de liberação de N, P e K de esterco bovino, cama de frango e esterco misto em solos da zona abacaxicultora paraibana . **R. Bras. Ci. Solo**, 38: 1–4, 2011.

SILVANO, C. Atributos biológicos em solos sob plantio direto com aplicação de dejetos líquido bovino. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 65 p., 2011.

SILVEIRA, F. M. et al. Dejetos líquido bovino em plantio direto: Perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 1759–1767, 2011.

SILVEIRA, F. M. Perda de solo, água e nutrientes com aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo franco argilo arenoso sob plantio direto e chuva natural. Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 92p., 2009.

SKONIESKI, F. R. et al. Composição botânica e estrutural e valor nutricional de pastagens de azevém consorciadas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 03, p. 550 - 556, 2011.

SMITH, E. et al. Management strategies to simultaneously reduce ammonia, nitrous oxide and odour emissions from surface-applied swine manure. *Can. J. Soil Sci.*, 88:571– 584, 2008.

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

SOMMER, S. G. et al. Infiltration of slurry and ammonia volatilization. **Biosystems Engineering**, 88: 359-367, 2004.

SORENSEN, P. et al. Dietary effects on the composition and plant utilization of nitrogen in dairy cattle manure. **Jornal of Agricultural Science**, 141: 79-91, 2003.

SORIA, L. G. Produtividade do capim Tanzânia-1 (*Panicum maximum*) Jacq. em função da lâmina de irrigação e da adubação nitrogenada. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo. 170 p., 2002.

SOUTO, P. C et al. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29: 125 - 130, 2005.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25: 395-401, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGE, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.

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

TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: [s.n.], 1995.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual De Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2017.

THOMPSON, R. B.; MEISINGER, J. J. Management Factors Affecting Ammonia Volatilization from Land-Applied Cattle Slurry in the Mid-Atlantic USA. **Journal Environmental Quality**, 31: 1329-1338, 2002.

TITTONELL, P. et al. Carbon and nutrient losses during manure storage under traditional and improved practices in smallholder crop-livestock systems- evidence from kenya. **Plant Soil**, 328: 256-269, 2010.

TOKARNIA, C. H. et al. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, 20: 127-138, 2000.

TRIVELIN, P. C. O.; MANZONI, C. S. **Determinação de N-amônia volatilizado do solo pelo método de difusão**. Piracicaba, 11 p., 2002.

VALLEJO, A. et al. Comparison of N losses (NO₃⁻, N₂O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. *Plant Soil, Switzerland*, 272: 313-325, 2005.

VANDERZAAG, A. C. et al. Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from land applied manure. *Animal Feed Science and Technology*, 166– 167: 464-479, 2011.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. New York: Cornell University Press, 476 p. 1994.

VENDRAMINI, J. M. B. et al. Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 36: 139–149, 2007.

WEBB, J. et al. Emission factors for ammonia and nitrous oxide emissions following immediate manure incorporation on two contrasting soil types. **Atmospheric Environment**, 82: 280-287, 2014.

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

WITHERS, P. J. A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, 8: 1–13, 2018.

YOLCU, H. et al. The effects of solid, liquid and combined cattle manure applications on the yield, quality and mineral contents of common vetch and barley intercropping mixture. **Ekoloji**, 19: 71-78, 2010.

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

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