

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

MARIANA NUNES DE SOUZA

**CORTE OU PASTEJO DO AZEVÉM? SEQUESTRO DE CARBONO E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM E
RESPOSTA DO MILHO PARA SILAGEM**

LAGES

2023

MARIANA NUNES DE SOUZA

**CORTE OU PASTEJO DO AZEVÉM? SEQUESTRO DE CARBONO E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM E
RESPOSTA DO MILHO PARA SILAGEM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, área de concentração em Produção Animal.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho.

LAGES

2023

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

de Souza, Mariana Nunes
CORTE OU PASTEJO DO AZEVÉM? SEQUESTRO DE
CARBONO E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO,
PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM E RESPOSTA DO MILHO
PARA SILAGEM / Mariana Nunes de Souza. -- 2023.
62 p.

Orientador: Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho
Tese (doutorado) – Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação ,
Lages, 2023.

1. Ruminantes. 2. *Lolium multiflorum*. 3. desfolha. 4. *Zea mays*.
5. densidade. I. Ribeiro Filho, Henrique Mendonça Nunes. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . III. Título.

MARIANA NUNES DE SOUZA

**CORTE OU PASTEJO DO AZEVÉM? SEQUESTRO DE CARBONO E
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM E
RESPOSTA DO MILHO PARA SILAGEM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal, área de concentração em Produção Animal.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Henrique Mendonça Nunes Ribeiro Filho
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros

Dr. Cimélio Bayer
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Dra. Marlise Nara Ciotta
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI

Documento assinado digitalmente
gov.br ALVARO LUIZ MAFRA
Data: 10/04/2023 11:03:12-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dr. Alvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Documento assinado digitalmente
gov.br ANDRE FISCHER SBRASSIA
Data: 16/04/2023 23:36:31-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Dr. André Fischer Sbrissia
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Lages, 27 de fevereiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pela saúde, força e coragem para concluir esta importante etapa de minha vida.

Aos meus pais, irmãos e avós pelo apoio, incentivo, amparo e suporte em todas as minhas decisões, e principalmente por todo amor recebido. Grata por tudo, amo vocês.

Ao meu orientador, professor Dr. Henrique M. N. Ribeiro-Filho, pela oportunidade, confiança, apoio e todas as orientações e ensinamentos que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas de pós-graduação e bolsistas do grupo de pesquisa LABRUP (Laboratório de ruminantes em pasto) pela ajuda na condução do experimento, aprendizado e boa convivência.

A todos os professores do departamento de Produção Animal por todos os ensinamentos, contribuindo para o meu aprendizado e crescimento profissional.

Aos amigos da Produção Animal, pelas conversas, momentos de descontração e amizade.

A Universidade do Estado de Santa Catarina pela oportunidade da realização do doutorado e ensino de qualidade.

A Capes pela concessão da bolsa de Doutorado.

A todos muito obrigada.

RESUMO

Estratégias de manejo podem contribuir para o sequestro de carbono (C) da atmosfera com redução do impacto ambiental dos sistemas de produção animal. Objetivou-se avaliar o efeito do acesso ou não de animais a áreas de pastagem hibernal sobre os teores de C e as propriedades físicas do solo, além da produção e qualidade da forragem e da cultura em sucessão. Foram avaliadas duas estratégias de desfolha do azevém anual (*Lolium multiflorum* Lam.): corte para a produção de forragem conservada ou pastejo. Em ambos os casos o pasto foi sucedido pela cultura do milho (*Zea mays*) para produção de silagem. Os tratamentos foram implantados em 2017, em parcelas de 150 m², num delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. A desfolha foi realizada quando o azevém atingia de 20 a 25 cm altura. Na estratégia pastejo a metade de altura pós pastejo foi 50 a 60% da altura inicial. No tratamento sem pastejo o corte foi realizado a 5 cm do solo. As propriedades físicas e os teores C no solo foram determinadas em amostras coletadas anualmente, de 2019 a 2022, em diferentes profundidades. A produtividade e a composição química do azevém foram determinadas nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021. A produtividade e a composição química da planta inteira de milho foram determinadas nas safras de 2021 e 2022. As taxas de acúmulo diário do azevém foram superiores no tratamento com presença dos animais para pastejo em comparação ao corte (médias de 30,3 e 24,6 kg MS/ha, respectivamente), enquanto sua produção média de biomassa aérea tendeu ($P<0,08$) a aumentar em aproximadamente 500 kg MS/ha por ano nas parcelas pastejadas comparadas à colheita por corte. O azevém colhido por pastejo apresentou maior teor de proteína bruta e menor teor de fibra comparado ao colhido por corte. A produtividade do milho não apresentou diferença entre os tratamentos avaliados, com média de 14.611 kg MS/ha. O teor de carbono orgânico total (COT, g/kg) tendeu ($P<0,06$) a ser superior na área pastejada comparada à área não pastejada, mas os estoques de COT no solo (Mg/ha) não diferiram entre os tratamentos nas diferentes profundidades avaliadas, com médias de 117 e 100 Mg/ha para pastejo e corte, respectivamente. A densidade do solo apresentou tendência ($P<0,07$) de aumento para o tratamento com pastejo comparado ao sem pastejo. Conclui-se que cinco anos consecutivos de pastejo na estação fria não prejudicaram as propriedades físicas do solo, a produção do pasto e da cultura de verão. Os efeitos da estratégia de desfolha sobre os estoques de carbono no solo, bem como sobre as demais características do solo e das plantas devem continuar sendo avaliados.

Palavras-chave: Ruminantes, *Lolium multiflorum*, desfolha, *Zea mays*, densidade.

ABSTRACT

Management strategies may contribute to carbon sequestration, reducing the environmental impact from livestock systems. The aim of this work was to evaluate the impact of grazing on the soil carbon content and physical properties of the soil, besides the productivity of an annual pasture (ryegrass: *Lolium multiflorum* L.) and their successive crop (corn: *Zea mays*). Two defoliation strategies of the annual pasture were evaluated: cutting for preserved forage production or grazing. In both cases the pasture was succeeded by corn (*Zea mays*) for silage production. The treatments were implemented in 2017, in plots of 150 m², in a randomized block design with four replications. Defoliation was performed when the ryegrass reached 20 to 25 cm in height. In the grazing strategy, the post-grazing target height was 50 to 60% of pre-defoliation sward height. In the treatment without grazing, the cut was performed at 5 cm from the ground. The carbon content and physical properties of the soil were determined in samples collected annually, from 2019 to 2022, at different depths. The productivity and chemical composition of ryegrass were determined throughout the years 2017, 2018, 2019 and 2021. The productivity and chemical composition of the entire corn plant were determined in the 2021 and 2022 harvests. The average daily accumulation rate of ryegrass was higher in grazed compared to non-grazed pastures (means of 30.3 and 24.6 kg DM/ha, respectively), while their average production of aerial biomass tended ($P<0.08$) to increase by approximately 500 kg DM/ha per year in grazed compared to non-grazed pastures. The ryegrass harvested by grazing had a higher crude protein content and a lower fiber content compared to that harvested by cutting. Corn productivity did not differ between treatments, averaging 14,611 kg DM/ha. The total organic carbon (TOC) content (g/kg) tended ($P<0.06$) to be higher in the grazed area compared to the non-grazed area, but TOC stocks in the soil (Mg/ha) did not differ between treatments at different depths evaluated, averaging 117 and 100 Mg/ha for grazing and cutting, respectively. Soil bulk density tended ($P<0.07$) to increase for the treatment with grazing compared to the one without grazing. In conclusion, five consecutive years of grazing did not impair the physical quality of the soil and DM production of both pasture and corn silage. The effects of defoliation strategy on soil carbon stocks, as well as on other soil and plant characteristics, should be continue evaluated.

Keywords: Ruminants, *Lolium multiflorum*, defoliation, *Zea mays*, density.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Dados de temperatura do ar e precipitação durante o período experimental (2017 a 2022).	35
Figura 2. Produção de azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nos tratamentos com e sem pastejo manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021). Médias de avaliações realizadas nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021.	38
Figura 3. Produção do milho (<i>Zea mays</i>) planta inteira colhido nas safras 2020/2021 e 2021/2022 em áreas previamente manejadas com ou sem o pastejo durante o inverno por cinco anos consecutivos (2017 a 2021).	39
Figura 4. Densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo em áreas de pasto anual de inverno (<i>Lolium multiflorum</i>) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (<i>Zea mays</i>), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022.	41
Figura 5. Teor de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (<i>Lolium multiflorum</i>) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (<i>Zea mays</i>), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022.	42
Figura 6. Carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (COAM) em áreas de pasto anual de inverno (<i>Lolium multiflorum</i>) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (<i>Zea mays</i>), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das adubações realizadas na cultura do azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) e milho (<i>Zea mays</i>) nos anos de coletas.....	28
Tabela 2. Informações descritivas do azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nos anos de coletas.	30
Tabela 3. Informações descritivas do milho (<i>Zea mays</i>) nos anos de coletas.	31
Tabela 4. Massa de forragem, taxa de acúmulo, alturas, composição morfológica e composição química do azevém (<i>Lolium multiflorum</i>) nas estações de inverno e primavera, em áreas manejadas com e sem pastejo por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), com avaliações nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021.....	36
Tabela 5. Composição química e morfológica de plantas inteiras de milho (<i>Zea mays</i>) colhido nas safras 2020/2021 e 2021/2022 em áreas previamente manejadas com ou sem pastejo durante o inverno por cinco anos consecutivos (2017 a 2021).....	39
Tabela 6. Estoque de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (<i>Lolium multiflorum</i>) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (<i>Zea mays</i>), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022.	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO GERAL	14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 PRODUÇÃO DE RUMINANTES.....	15
3.2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA	16
3.3 SEQUESTRO DE CARBONO	17
3.4 MANEJO E CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	18
3.5 BALANÇO DE GEE.....	20
3.6 PRODUÇÃO DE FORRAGEM COM E SEM PASTEJO	21
3.7 PRODUÇÃO DE MILHO EM SUCESSÃO AO AZEVÉM COM E SEM PASTEJO	22
3.8 PASTEJO E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	24
4 HIPÓTESE GERAL	26
5 MATERIAL E METODOS.....	27
5.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	27
5.2 AVALIAÇÕES SOBRE O PASTO	28
5.3 AVALIAÇÕES SOBRE A CULTURA DE VERÃO	30
5.4 AVALIAÇÕES FÍSICAS E DE CARBONO NO SOLO	31
5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
6 RESULTADOS	34
6.1 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AZEVÉM EM ÁREAS SOB PASTEJO OU COLHIDO POR CORTE	34
6.2 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO PARA SILAGEM CULTIVADO EM ÁREAS PREVIAMENTE SUBMETIDAS AO PASTEJO OU NÃO	38

6.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM AZEVÉM ANUAL SUBMETIDO OU NÃO AO PASTEJO NO INVERNO/PRIMAVERA E MILHO PARA SILAGEM NO VERÃO/OUTONO	40
7 DISCUSSÃO	44
7.1 EFEITO DO MÉTODO DE DESFOLHA SOBRE A TAXA DE ACÚMULO E A PRODUÇÃO DE FORRAGEM	44
7.2 EFEITO DO MÉTODO DE DESFOLHA E DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA FORRAGEM	44
7.3 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO CULTIVADO PARA SILAGEM EM ÁREAS PREVIAMENTE SUBMETIDAS AO PASTEJO	45
7.4 EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO.....	46
8 CONCLUSÕES.....	49
<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>50</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>58</u>

1 INTRODUÇÃO

As atividades pecuárias são responsáveis por 10-12% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2019), sendo o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) as principais fontes de emissão em sistemas de produção de ruminantes. O CH_4 é principalmente de origem entérica, e o N_2O resultado do processo de nitrificação e desnitrificação do nitrogênio (N) excretado por animais ou do adubo nitrogenado.

No entanto, através do processo de fotossíntese, os vegetais incorporam o dióxido de carbono (CO_2) atmosférico, na biomassa a partir da energia solar, água e nutrientes do solo (LOVATO *et al.*, 2004). Posteriormente, resíduos vegetais são adicionados aos solos, com transformações biológicas das substâncias orgânicas, para gerar a matéria orgânica (MO) do solo. De acordo com Silva *et al.* (2004), a maior parte da MO (52 a 58%) é composta por carbono (C). Portanto, o aumento no estoque de MO do solo é proveniente do sequestro de C atmosférico, via fotossíntese, podendo assim contribuir para mitigação das emissões de GEE nos sistemas de produção de ruminantes. Porém, vários fatores relacionados ao manejo podem influenciar a entrada de MO e sua dinâmica.

De acordo com Rumpel *et al.* (2015), o manejo de pastagens diz respeito à escolha de espécies, bem como às opções de manejo do pasto, como corte versus pastejo, severidade do pastejo e tipo de fertilização. No contexto de sistemas de produção de leite na região Sul do Brasil, é comum a produção de milho para silagem em sucessão ao azevém utilizado para o pastejo dos animais ou corte para conservação da forragem na forma de feno ou silagem pré-secada para períodos de entressafra forrageira. Porém, os sistemas de corte do pasto diferem dos sistemas de pastejo no que diz respeito ao manejo de colheita, fertilização e ciclagem de C (SENAPATI *et al.*, 2014).

Sob o pastejo, uma quantidade de C é devolvida ao solo na forma de fezes e urina. De acordo com Soussana; Tallec; Blanfort (2010), de 25% a 40% do C consumido por ruminantes é devolvido ao pasto através das excretas. Isso ocorre porque além dos resíduos vegetais, as excreções dos animais podem constituir uma importante fonte de MO em pastagens com a presença de animais. Sendo assim, ambientes pastoris podem apresentar maior potencial para sequestrar C se comparados a sistemas que utilizam o corte mecanizado da forragem (SENAPATI *et al.*, 2014). Dessa forma, sistemas de integração lavoura pecuária sob plantio direto podem otimizar as características benéficas da agricultura conservacionista, além de poder apresentar potencial para manter ou

aumentar o C orgânico no solo, contribuindo para sua capacidade produtiva e atenuando o problema da emissão de GEE.

No entanto, existe resistência de alguns agricultores à presença dos animais em áreas agrícolas devido ao pisoteio, com consequente compactação do solo e possível redução na produção da cultura sucessora. Além disso, em relação a produção da forrageira, no pastejo ocorre o pisoteio, deposição de excretas e pastejo seletivo (JING *et al.*, 2017). Porém, o retorno das fezes e urina dos ruminantes ao solo representa um fator importante no processo de ciclagem de nutrientes, tanto para pecuária como para produção de grãos (POWELL *et al.*, 1998). Dessa forma, a presença dos animais na área, quando bem manejados, pode não comprometer as propriedades físicas do solo, além dos rendimentos da forrageira e da cultura em sucessão à pastagem.

Embora alguns estudos sugiram que sistemas de pastejo podem não afetar negativamente as produções agrícolas e propriedades do solo, mais dados de pesquisa sobre diferentes tipos de solo, manejos e condições climáticas são necessários. Diante do exposto, pesquisas nesta área são essenciais para gerar conhecimentos sobre ferramentas com potencial de mitigação de GEE no sistema de produção de ruminantes em pasto, sem que as produções das culturas sejam comprometidas.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar se o acesso ou não dos animais às áreas de pastagem invernal em sistemas de produção leiteira no Sul do Brasil influenciam o estoque de C e as propriedades físicas do solo, além da produtividade e composição bromatológica da pastagem invernal de azevém e do milho silagem no verão.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar se o pastejo ou corte da forragem influenciam a produtividade e qualidade do azevém;
- Avaliar se as diferentes formas de utilização da forragem (pastejado e silagem pré-secada) influenciam a produtividade e qualidade do milho para silagem em sucessão ao azevém;
- Avaliar se os diferentes sistemas de manejo do azevém (*pastejo versus corte*) influenciam as propriedades físicas do solo;
- Avaliar se os diferentes sistemas de manejo, *pastejo versus corte* do azevém, influenciam no estoque de C no solo;
- Gerar informações visando a proposição de sistemas que contribuam para o aumento dos estoques de C no solo;
- Contribuir para a construção de um banco de dados com o objetivo de estimar o sequestro de C nos sistemas de produção leiteira do sul do Brasil.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PRODUÇÃO DE RUMINANTES

O Brasil apresenta o maior rebanho mundial de bovinos com aproximadamente 187,5 milhões de cabeças, sendo 79,76% do rebanho exclusivamente destinado a corte e 20,24% a exploração leiteira (ABIEC, 2021). Essa intensa atividade pecuária tem sido questionada devido à emissão de GEE para a atmosfera, representando entre 5,6 a 7,5 Gt CO₂ equivalente (CO₂eq)/ano (HERRERO *et al.*, 2016).

A produção animal responde por 76% das emissões totais na agropecuária, com destaque para pecuária de corte e leite, representando 62% e 8,7%, respectivamente. A diferença entre população de bovinos de corte e leite explica a distinta contribuição das emissões (SEEG, 2020). Dessa forma, a pecuária está no centro de debate, devido aos efeitos negativos sobre o meio ambiente (CARVALHO *et al.*, 2010), e se não forem realizadas ações de mitigação haverá um aumento das emissões de GEE em consequência do aumento da demanda por alimentos.

Por outro lado, as pastagens manejadas adequadamente apresentam o potencial de sequestrar C (SENAPATI *et al.*, 2014), contribuindo para mitigação das emissões de GEE nos sistemas de produção animal. De acordo com Herrero et al. (2016) a pecuária é responsável por até metade do potencial técnico de mitigação dos setores agrícola, florestal e de uso da terra, através de opções de manejo que intensificam a produção de forma sustentável, promovem o sequestro de C em solos de pastagens e reduzem as emissões de excretas.

No Brasil, os animais estão distribuídos em aproximadamente 165,2 milhões de hectares de pasto (ABIEC, 2021), sendo o principal alimento dos bovinos. Nos sistemas de produção, na região Sul, é bastante utilizado o azevém como pasto de inverno, sendo este pastejado pelos animais ou cortado para conservação da forragem, dependente do sistema de produção adotado. O sistema de corte da forragem compreende na colheita da biomassa do pasto e sua remoção da área para alimentar os animais, na forma de feno ou silagem pré secada, em épocas de escassez de alimento ou em confinamentos. O sistema de pastejo, consiste na presença dos animais no pasto, os quais colhem o alimento e depositam suas excretas no próprio local de produção.

Dessa forma, sob pastejo, uma parte dos nutrientes ingeridos são devolvidos/reciclados dentro do sistema, ao contrário do sistema de corte em que muitas vezes os nutrientes presentes nas excretas não são devolvidos. De acordo com Cavalcante; Nascimeto Jr (2001), a presença dos animais no sistema modifica os fluxos entre os compartimentos, devido ao consumo da forragem e consequente ingestão dos nutrientes, sua digestão e retorno ao sistema posteriormente. Portanto, o pastejo modifica o ciclo do C, podendo influenciar seu acúmulo no solo.

Sendo assim, embora a pecuária brasileira venha sofrendo grande pressão em relação a sua contribuição para o aquecimento global, e muitas vezes sendo divulgado de forma distorcida e tendenciosa pela mídia (BERNDT, 2010), um bom manejo do pasto pode sequestrar C em solos de pastagem, e assim atenuar os impactos ambientais negativos ocasionados pela atividade.

3.2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

No Brasil, o setor agropecuário, contribui com 28% das emissões totais em CO₂eq, sendo 61,1% representado por fermentação entérica e 32,2% por solos manejados, sendo as emissões deste último subsetor causadas principalmente por uso e deposição dos dejetos de bovinos, respondendo por 24,8% de emissão de N₂O (SEEG, 2020). Portanto, a maior fonte das emissões totais do setor pecuário, é a emissão de CH₄ através da fermentação entérica (HERRERO *et al.*, 2016).

O CH₄ apresenta potencial de aquecimento global 28 vezes maior em relação ao CO₂ (IPCC, 2014), sendo considerado o segundo gás potencial em contribuição. A emissão de CH₄ de origem entérica é o resultado de um processo natural e intrínseco dos ruminantes (MCTI, 2014). O CH₄ de origem entérica é considerado um dos produtos finais do processo de degradação ruminal dos carboidratos em ambiente anaeróbico, através da interação entre o hospedeiro (ruminante) e hospedado (bactérias, archeas, protozoários e fungos) (MURRAY *et al.*, 1976). Dessa forma, dietas e estratégias de gestão estão sendo desenvolvidos para permitir maior eficiência de produção e reduzir o impacto negativo da pecuária sobre o aquecimento global.

Em relação ao N₂O, terceiro gás com efeito estufa mais importante, apresenta potencial de aquecimento global 298 vezes maior que o do CO₂, durante um período de 100 anos de permanência na atmosfera (DIJKSTRA *et al.*, 2013). A emissão de N₂O

ocorre através dos processos de nitrificação e desnitrificação a partir de N depositado no solo (VAN GROENIGEN *et al.*, 2005). Devido à quantidade de N excretado por animais exceder o potencial imediato das plantas, este pode ser perdido através de emissões gasosas, como N₂O (SAGGAR *et al.*, 2011). Portanto, excretas depositadas no solo por ruminantes em áreas de pastagem são uma importante fonte de emissão de N₂O. No entanto, a manipulação de dietas com objetivo de reduzir a excreção nitrogenada pode ser considerada uma ferramenta para minimizar essa emissão.

Embora existam estratégias de mitigação através da redução de emissão de CH₄ e N₂O, de acordo com o IPCC (2007) a maior parte do potencial de mitigação dos GEE ocorre pelo sequestro de C no solo. Dessa forma, além de estratégias que tenham potencial de diminuir emissões de CH₄ e N₂O, devem-se priorizar por sistemas de produção que aumentem o C no solo, e assim amenize os problemas ambientais ocasionadas pela atividade.

3.3 SEQUESTRO DE CARBONO

Para que as plantas cresçam e produzam biomassa, elas precisam absorver nutrientes e água do solo. Além disso, incorporam C através do processo de fotossíntese, que posteriormente retorna ao solo na forma de resíduo vegetal (ANGHINONI *et al.*, 2011) e fezes, no caso da pecuária. Na sequência, a decomposição desses resíduos, libera nutrientes e/ou compostos orgânicos, os quais passam a compor a MO que compreende todo o C orgânico do solo. Outro fator importante que contribui para o aumento da MO no solo é o sistema radicular.

O solo é considerado o maior compartimento terrestre de C, e pode ser aumentado por meio do manejo. O carbono orgânico total (COT) é fracionado em carbono orgânico particulado (COP), que representa a fração lábil e sensível ao manejo agrícola, e em carbono orgânico associado aos minerais (COAM), formado por compostos mais recalcitrantes e com maior permanência no solo.

Uma opção que favorece a cobertura permanente e a entrada de C ao solo, podendo aumentar as reservas de MO, é o estabelecimento de pastagens (WHITMORE *et al.*, 2014). Devido ao sistema radicular abundante e agressivo das forragens, as raízes são consideradas a fonte dominante de C do solo, uma vez que parte do C da fotossíntese é alocado para abaixo do solo (SOKOL *et al.*, 2019). De acordo com Henderson *et al.*

(2015), o potencial líquido estimado de sequestro de C nos solos sob pastagens em nível mundial é de 295 Tg CO₂/ano, sendo que o manejo aprimorado pode representar 148 Tg CO₂/ano do potencial total.

Duas grandes estratégias de manejo das pastagens são o pastejo ou a colheita para produção de forragem conservada (TILHOU *et al.*, 2021). Estudos apontam o aumento do acúmulo de MO no solo com o manejo de pastejo, se comparado a colheita de feno (KONCZ *et al.*, 2017; SENAPATI *et al.*, 2014; TILHOU *et al.*, 2021).

O manejo com a presença dos ruminantes no sistema de produção modifica as taxas e os fluxos de nutrientes, agindo como catalisador dos processos sistêmicos e reciclando material orgânico, o que determina uma nova dinâmica dos nutrientes entre os compartimentos do sistema (ANGHINONI *et al.*, 2011). Conforme Oliveira et al. (2014), a contribuição para o aumento da MO ocorre devido as perdas de pastejo no manejo através das folhas e hastes quebradas, material senescente e rejeitado, resíduos pós pastejo e excretas dos animais depositadas diretamente no solo. Portanto, o manejo de pastagens sob intensidade de pastejo baixa favorece o aumento nos estoques de C e N no solo (ALVES *et al.*, 2020).

De acordo com Rumpel et al. (2015), o pastejo pode ser melhor para o acúmulo de MO do solo se comparado ao pasto roçado até uma certa densidade animal, dependente do tipo de solo e do contexto pedoclimático. Se as práticas de manejo forem adequadas, as pastagens de clima temperado apresentam potencial de sequestrar C (SENAPATI *et al.*, 2014), podendo contrabalancear parcialmente a emissão de CH₄ pelos ruminantes (LEMAIRE *et al.*, 2014).

No entanto, apesar das pastagens apresentarem potencial para mitigar parcialmente as emissões de GEE, o sequestro de C é reversível e vulnerável a diversos fatores (SOUSSANA *et al.*, 2010). Dessa forma, é necessário entender as influências dos distintos manejos adotados no ciclo do C no solo, raízes e vegetação, além das possíveis implicações para o sequestro de C em diferentes sistemas de produção submetidos a diferentes fatores como clima, tipo de solo, entre outros.

3.4 MANEJO E CICLAGEM DE NUTRIENTES

A ciclagem compreende a mobilidade dos nutrientes entre todos os compartimentos do sistema de produção agropecuária, sendo atmosfera-planta-animal e

solo (HENTZ *et al.*, 2014). Visto que plantas e solo são compartimentos interdependentes, deve-se ter equilíbrio entre o que fornecem e recebem, sendo que os nutrientes são absorvidos pelas plantas, e posteriormente são depositados no solo na forma de resíduos e então reciclados (SANTOS *et al.*, 2011). As formas de manejo do pasto podem influenciar na quantidade e qualidade dos resíduos depositados no solo, além da sua decomposição e taxas de liberação dos nutrientes (DUBEUX *et al.*, 2006).

O manejo do pasto com presença dos animais modifica todo o funcionamento do sistema, visto que altera a direção, magnitude e composição dos fluxos de nutrientes (ANGHINONI *et al.*, 2013). De acordo com Santos et al. (2011), o pastejo pode influenciar na ciclagem de nutrientes devido a diversos fatores, como remoção das raízes das forrageiras, recolocação dos nutrientes ingeridos através do pasto no manejo durante a lactação, concentração de nutrientes nas fezes e urina, alteração nas condições físicas do solo através da compactação, entre outros.

A ciclagem de nutrientes pode ser melhorada quando o pastejo é bem manejado, devido a deposição das excretas e resíduos do pasto sobre a superfície do solo (CARVALHO *et al.*, 2010; TRACY; DAVIS, 2009). De acordo com Haynes; Williams (1993), dos nutrientes ingeridos pelos ruminantes através do pasto, 60-90% são depositados ao solo, dentro do sistema, em forma de urina e fezes. Em relação ao C ingerido, em torno de 25-40% é excretado pelos animais e devolvido ao pasto (SOUSSANA *et al.*, 2010). Dessa forma, os nutrientes excretados no solo são reciclados e podem aumentar o C no solo, além da estrutura da comunidade microbiana e atividade enzimática do solo (SIMON *et al.*, 2021). Além disso, o pastejo estimula a produção de novas folhas, perfilhos, e raízes pelas plantas forrageiras proporcionando maior ciclagem de nutrientes (COSTA *et al.*, 2021).

O sistema de corte difere do sistema de pastejo devido a colheita, fertilização e ciclo do C, uma vez que no corte o C da biomassa colhida é exportado para fora do sistema (SENAPATI *et al.*, 2014). Achados de Silva et al., (2021), mostram que em determinados tratamentos e anos, o manejo de desfolha sob pastejo apresentaram maior massa de serrapilheira comparado ao manejo de feno, devido a danos foliares e maiores perdas de forragem durante o pastejo. Portanto, o pastejo pode ser uma melhor opção de manejo para melhorar a saúde do solo comparado a fenação (SIMON *et al.*, 2021).

Em estudo desenvolvido por Senapati et al. (2014), na França, os autores avaliaram um piquete que foi sujeito a roçada, para produção de feno, sem deposição de

excreta animal, e um piquete que foi submetido a pastejo por vacas leiteiras, com deposição de excretas. Os autores concluíram que um sistema de corte moderado (três cortes/ano, colhendo 453 g C/m²/ano e fertilizando 264 kg N/ha/ano) tem pequeno / nenhum potencial de sequestro de C, enquanto um sistema de manejo de pastejo moderado (1,5 cabeças/ha/ano + 118 kg N/ha/ano) tem potencial de sequestro de C em ecossistemas de pastagens semeadas de clima temperado. No trabalho realizado por Tilhou et al. (2021), os autores observaram que o pastejo aumentou as concentrações de C no solo em comparação com a colheita para feno. Simon et al. (2021) relataram, em um estudo realizado nos Estados Unidos, que o C no solo pode ser acumulado ou mantido quando culturas de cobertura são pastejadas, mas pode ser diminuído no caso de fenação em anos de produtividade baixa da cultura.

No entanto, os benefícios podem ser reduzidos à medida que se aumenta a intensificação da produção (LEMAIRE *et al.*, 2014). No sistema de pastejo, a maior intensidade e frequência de desfolha, além das pisadas dos animais diminuem a área foliar e consequentemente a captura de CO₂ atmosférico (SOUSSANA *et al.*, 2010). De acordo com Carvalho et al. (2018), a presença de animais em pastejo em sistemas de plantio direto ainda é um paradigma, podendo gerar efeitos positivos ou negativos dependendo da intensidade de pastejo. Dessa forma, o entendimento da ciclagem de nutrientes, em estudos de longo prazo e em diferentes sistemas de manejo, é importante devido a modificação da MO no solo ao longo do tempo.

3.5 BALANÇO DE GEE

Embora existam formas de mitigação através da redução da emissão de CH₄ e N₂O, o maior potencial ainda está relacionado ao sequestro de C, sendo o aspecto mais importante para mitigar emissões de GEE nos sistemas de produção animal (OLIVEIRA, 2015). De acordo com Assmann et al. (2017), o sequestro de C e aumento do C no solo contribui para a redução dos GEE, além de proporcionar melhorias nas condições do solo. Portanto, sistemas de produção que permitam manter ou até aumentar o C no solo contribuem para atenuar o incremento do CO₂ atmosférico.

O balanço de C nos sistemas de produção é necessário para avaliar a dinâmica de GEE, que é contabilizado através das entradas (acúmulo de C) e saídas (CH₄ e N₂O) em um determinado período expresso em CO₂eq. Se o resultado for positivo subentende-se

que o sistema está atuando como dreno uma vez que tem maior retenção do que emissão de GEE, e se o resultado for negativo não é desejável visto que se tem maior emissão do que retenção, tornando-se fonte de GEE (OLIVEIRA, 2015).

De acordo com Eugène; Klumpp; Sauvant (2021), o balanço de GEE de ruminantes pode ser melhorado por sistemas baseados em pastagens devido a capacidade de sequestrar C no solo. No entanto, práticas adequadas de manejo precisam ser adotadas, pois o manejo utilizado pode determinar que o sistema se torne fonte ou dreno de GEE para a atmosfera (FERREIRA *et al.*, 2014). Em trabalho conduzido por Koncz et al. (2017), pastagens sob sistema de pastoreio extensivo foram um sumidouro líquido (228 ± 283 g CO₂eq./m²/ano), enquanto a pastagem cortada foi uma fonte líquida (-475 ± 144 g CO₂eq./m²/ano) de GEE em um sistema de criação de gado na Hungria. Além do regime de manejo, fatores climáticos e o tipo de solo também afetam o balanço de C.

É necessário avaliar toda a dinâmica dos GEE nos sistemas de produção pecuários para se evitar distorções relacionadas à atividade, considerando todos os compartimentos do sistema, e não somente a emissão causada (OLIVEIRA, 2015), uma vez que quando manejado de forma adequada torna-se benéfico para o ambiente, atuando como dreno de GEE, e assim proporcionando sistemas mais sustentáveis.

3.6 PRODUÇÃO DE FORRAGEM COM E SEM PASTEJO

A região Sul do Brasil apresenta em torno de 26,6 milhões de bovinos e aproximadamente 11,5 milhões de ha destinados a áreas de pastagens (ABIEC, 2022), sendo o pasto considerado a principal fonte de alimento dos rebanhos. Uma das plantas forrageiras mais utilizadas na alimentação dos bovinos no inverno é o azevém-anual.

O azevém é uma gramínea forrageira de inverno que apresenta bom potencial de produção de massa de forragem, capacidade de rebrote e qualidade nutricional elevada (PEDROSO *et al.*, 2004), com produção variando de 1,2 até 7,2 toneladas de MS/ha dependendo das condições edafoclimáticas e adubação nitrogenada (VARELLA *et al.*, 2010). O azevém pode ser utilizado para dois propósitos, como cultura de cobertura para produção de biomassa para manter plantio direto ou alimentação animal (pastejo, silagem pré secada e feno).

Segundo Senapati et al. (2014), diferentes formas de manejo das pastagens como corte (roçada) ou pastejo pelos animais acabam influenciando na assimilação de C

por vários eventos de desfolha, os quais diminuem o índice de área foliar e biomassa acima do solo. Comparando-se os sistemas de pastejo e corte para produção de alimento conservado, vale ressaltar que animais em pastejo ocasionam o pisoteio, excreção animal e pastejo seletivo, podendo afetar a produtividade da forragem (JING *et al.*, 2017). Por outro lado, a presença dos animais na área pode modificar positivamente as vias de nutrientes e agregação do solo, aumentando sua produção (CARVALHO *et al.*, 2010). De acordo com Eugène; Klumpp; Sauvant (2021), o pastejo tem efeito direto na produtividade das pastagens, na estrutura da comunidade vegetal e na ciclagem biogeoquímica.

Em estudo desenvolvido na Irlanda por Grace *et al.* (2019), os autores avaliaram o efeito do pastejo *versus* corte na produção de MS de forrageiras, e concluíram que pastos com apenas azevém perene não foram afetados pelos métodos de desfolha. Os achados de Simon *et al.* (2021) sugerem que culturas de cobertura (aveia e triticale) produzem forragem de boa qualidade para alimentação animal, sem diferenças na massa de forragem em relação ao manejo de pastejo ou feno, em 6 anos de estudo realizado nos Estados Unidos.

No entanto, efeitos distintos do pastejo e corte nas espécies, influenciam na estrutura do pasto, produtividade e persistência, ocasionando resultados contrastantes. Dessa forma, os diferentes sistemas de manejo podem exercer efeitos positivos e negativos na produção da forragem, dependendo da intensidade de produção e condições submetidas. Nesse contexto, são poucos os estudos do efeito das diferentes formas de utilização da cultura do azevém sobre a produção da forrageira, nas condições da região Sul do Brasil.

3.7 PRODUÇÃO DE MILHO EM SUCESSÃO AO AZEVÉM COM E SEM PASTEJO

O milho é a segunda maior cultura na produção agrícola no Brasil, e sua importância econômica é caracterizada pelas diversas formas de utilização, sendo a alimentação animal responsável pela maior parte do consumo deste cereal. Com objetivo de beneficiar a cultura do milho, em sistemas de plantio direto no Sul do Brasil, tem sido muito utilizado o azevém anual para cobertura do solo durante o inverno.

Segundo Jenkins *et al.* (2019), a maioria das espécies utilizadas como culturas de cobertura apresentam bom valor nutritivo, digestibilidade e produção de MS. Portanto, o

azevém também pode estar associado à produção animal com utilização da forragem no mesmo ano agrícola, e tendo uma colheita adicional na mesma área. Conforme observado em muitas propriedades de produção de leite no Sul do Brasil, que utilizam o azevém para pastejo ou corte para conservação da forragem, e posteriormente milho para produção de silagem com o objetivo de fornecer alimento volumoso em épocas de escassez de pasto. Porém, alguns produtores e técnicos ainda apresentam receio da presença dos animais em áreas agrícolas devido a compactação do solo causada pelos animais em situações de sobre pastejo, o que poderia prejudicar a produtividade da lavoura seguinte.

Por outro lado, o sistema de integração lavoura-pecuária é uma importante alternativa aos sistemas agrícolas intensivos, uma vez que a utilização do azevém para pastejo torna o sistema superior em fertilidade do solo e nutrição das plantas devido ao restabelecimento de partes aéreas e radiculares, dissolução de calcário e ciclagem e disponibilidade de nutrientes (CARVALHO *et al.*, 2010). De acordo com Carvalho et al. (2010) e Tracy; Davis (2009), a melhor estruturação do solo promovida pelo sistema radicular das pastagens e a maior ciclagem de nutrientes devido a deposição de urina e esterco dos animais e resíduos da forragem sobre o solo permitem que o pastejo realizado de forma adequada melhore o rendimento das culturas subsequentes.

Em relação ao azevém destinado à silagem, apesar de ocorrer a exportação de nutrientes pela forragem e apresentar grande risco de intensificação e exploração das reservas de nutrientes no solo (GARCÍA-PRÉCHAC *et al.*, 2004), estudo de Santos et al. (2018) demonstrou que o azevém utilizado para silagem pode sustentar a produção de MS do milho para silagem no médio prazo, uma vez que a renovação do sistema radicular devido ao corte da forragem pode favorecer a dissolução do calcário, disponibilizar nutrientes e melhorar atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

Em um estudo desenvolvido em Castro - PR, durante cinco safras, Santos et al. (2018) avaliaram diferentes usos do azevém (cobertura, pastejo e silagem) sobre o rendimento de MS do milho para silagem. Os autores concluíram que o azevém utilizado para pastejo e silagem não influenciaram o rendimento de MS do milho para silagem, porém aumentaram o teor de proteína bruta (PB). Segundo Blanco-Canqui et al. (2020), os resultados de um estudo de três anos, desenvolvido nos Estados Unidos, sob sistema de plantio direto, sugerem que o pastejo de centeio não afetou significativamente os rendimentos de silagem de milho, e pode ter pequenos ou nenhum efeito nas propriedades do solo.

Apesar de altas pressões de pastejo e taxas de lotação mais altas que a capacidade de suporte do pasto afetarem negativamente a pastagem e as lavouras na rotação (CARVALHO *et al.*, 2010), muitos estudos mostram pouco ou nenhum efeito do pastejo nas propriedades do solo, desde que manejado adequadamente, não comprometendo ou podendo até aumentar o rendimento da cultura em sucessão.

3.8 PASTEJO E PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

Um dos principais fatores que limitam o pastejo de culturas de cobertura é a preocupação com a possibilidade de compactar o solo e afetar negativamente suas propriedades físicas, como infiltração de água, macroporosidade, agregação, ciclagem de C e, consequentemente, reduzir o rendimento das culturas subsequentes (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2020). Segundo Horn; Way; Rostek (2003), a compactação é caracterizada por uma diminuição do espaço poroso do solo, com aumento na densidade e diminuição na porosidade total. As consequências da compactação do solo incluem aumentos na resistência do solo para o crescimento das raízes.

Os animais podem compactar o solo até 20 cm abaixo da superfície; no entanto, a profundidade de compactação pode ser afetada pelas condições do solo quando eles são pastoreados (DHAKAL; ERWIN; NELSON, 2022). Estudos têm demonstrado que quando são utilizadas intensidades moderadas de pastejo, esses efeitos são limitados às camadas superficiais do solo e são momentâneos, ou seja, o solo se regenera após um ciclo anual da cultura (AMBUS *et al.*, 2018), não causando danos ao seu rendimento (PETERSON *et al.*, 2020). Além disso, o retorno do esterco animal, a longo prazo, pode compensar parcialmente qualquer potencial efeito negativo do pastejo de biomassa das culturas de cobertura nas propriedades do solo (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2020). De acordo com Blanco-Canqui; Hergert; Nielsen (2015), a adição anual de esterco bovino aos campos de milho demonstrou reduzir os riscos de compactação do solo.

Os resultados de um estudo de três anos sob um sistema de plantio direto nos Estados Unidos sugerem que o pastejo de centeio como cultura de cobertura, a uma taxa de lotação de 5,9 UA/ha, pode ter pequeno ou nenhum efeito nas propriedades do solo, e que o aumento no nível de compactação ficou abaixo dos níveis limiares que podem restringir significativamente o crescimento das raízes, não apresentando efeitos negativos sobre os rendimentos de silagem de milho (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2020). Segundo

Batista et al. (2019), o processo de compactação pode ocorrer em pequenas variações do espaço poroso e pode não afetar adversamente as funções do solo, e nem sempre afetam o desenvolvimento das plantas. Simon et al. (2021) concluíram que a densidade e a porosidade do solo foram semelhantes quando as culturas de cobertura foram pastejadas como um recurso forrageiro anual em comparação a culturas não pastoreadas.

De acordo com Carvalho et al. (2018), as preocupações com os efeitos prejudiciais do pastejo sobre o funcionamento do sistema não se sustentam quando se respeitam intensidades moderadas de pastejo e práticas agrícolas de conservação. No entanto, os impactos do pisoteio animal nos processos de compactação do solo são altamente dependentes da textura do solo, teor de umidade e intensidade de pastejo (Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: Toward sustainable intensificationCARVALHO *et al.*, 2018). Dessa forma, estudos são necessários para uma avaliação rigorosa dos impactos do pastejo nas culturas de cobertura e nos serviços ecossistêmicos do solo sob uma ampla gama de tipos de solo, sistemas de cultivo, sistemas de preparo do solo, intensidades de pastejo, clima, entre outros.

4 HIPÓTESE GERAL

Em comparação a estratégia de corte, o pastejo animal em pastagens de azevém no inverno potencializa o acúmulo de C no solo, além de não apresentar efeito prejudicial nas suas propriedades físicas, e aumento na produtividade da forragem invernal e da silagem de milho no verão em sucessão.

5 MATERIAL E METODOS

5.1 ÁREA EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido no Campus de Lages da Universidade do Estado de Santa Catarina ($27^{\circ}47'S$ e $50^{\circ}18'W$, 920 m altitude). O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é mesotérmico úmido com verões amenos (Cfb), temperaturas médias anuais de $16,1^{\circ}\text{C}$ e pluviometria média de 1780 mm por ano de acordo com o Instituto Nacional de Metereologia (INMET). O solo é classificado como Cambissolo Humico Alumínico léptico derivado de siltitos e argilitos, com textura argilosa, contendo em média 443 g/kg de argila, 402 g/kg de silte e 155 g/kg de areia na camada de 0-30 cm (BERTOL, 1994).

No início do ensaio, em março de 2017, a área experimental apresentou as seguintes propriedades químicas do solo na camada 0-20 cm: $\text{pH} = 5,3$; $\text{MO} = 3,6\%$; $\text{CTC}_{\text{pH}7,0} = 17,73 \text{ cmolc/dm}^3$; $\text{P} = 4,9 \text{ mg/dm}^3$ e $\text{K} = 146 \text{ mg/dm}^3$, $\text{Al} = 0,17 \text{ cmolc/dm}^3$, $\text{H+Al} = 8,70 \text{ cmolc/dm}^3$, $\text{Ca} = 5,35 \text{ cmolc/dm}^3$, $\text{Mg} = 3,31 \text{ cmolc/dm}^3$, $\text{CTC}_{\text{efetiva}} = 9,20 \text{ cmolc/dm}^3$, saturação de bases = 50,95%, argila = 34%. A área foi corrigida e adubada em função da análise do solo e cultura a ser implantada. A cada dois anos foram realizadas coletas de solo para análise e então feito a adubação levando em consideração a cultura a ser implantada, conforme apresentado na Tabela 1. As adubações foram definidas com auxílio do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil (Manual: Comissão de química e fertilidade do solo – RS/SC, 2016). As adubações foram realizadas na semeadura e em cobertura, sendo divididas no estádio V4 e V8 para o milho, e para forragem escalonada a cada dois ou três ciclos de pastejo. Dados de temperatura do ar e precipitação durante o período experimental foram obtidos junto a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), da estação experimental de Lages-SC.

Os tratamentos experimentais consistem em pasto anual de inverno [azevém (*Lolium multiflorum*)] para a produção de pré-secado sucedido por cultura anual de verão [milho (*Zea mays*)] para a produção de silagem, denominado sem pastejo, e pasto anual de inverno sob pastejo sucedido por cultura anual de verão para a produção de silagem, denominado com pastejo. A área possui aproximadamente 0,5 ha, onde os tratamentos

foram implantados em 2017, em parcelas de 150 m² (10 × 15 m), num delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições.

Tabela 1. Descrição das adubações realizadas na cultura do azevém (*Lolium multiflorum*) e milho (*Zea mays*) nos anos de coletas, para os tratamentos com pastejo (CP) e sem pastejo (SP).

	Ano										
	2017		2018		2019		2020		2021		
	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	CP	SP	
Azevém											
Calcário (ton/ha)*					2,25	2,25	2,5	2,5	1,5	1,5	
N (kg/ha)	120	120	120	120	150	160	150	160	155	165	
P ₂ O ₅ (kg/ha)	170	170	110	110	130	110	60	60	70	80	
K ₂ O (kg/ha)	60	60	60	60	80	90	60	60	60	67,5	
Milho											
N (kg/ha)			200	200	155	165	145	155	202,5	205	
P ₂ O ₅ (kg/ha)	160	160	160	160	130	130	100	100	140	140	
K ₂ O (kg/ha)	220	220	220	220	220	220	200	200	280	280	

*Calcário PRNT 100%.

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

5.2 AVALIAÇÕES SOBRE O PASTO

As avaliações foram realizadas nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021, conforme apresentado na Tabela 2. Não ocorreram avaliações no ano de 2020 devido à ocorrência de forte infestação por plantas daninhas em toda a área.

Os pastos anuais de inverno foram cortados mecanicamente para a confecção de pré-secado ou pastejados quando atingiam entre 20 e 25 cm de altura. O corte mecânico foi realizado até uma altura de 5 cm do solo, com posterior retirada do material vegetal da área. A desfolha pelo pastejo foi realizada por vacas leiteiras tendo como meta atingir uma altura residual entre 50 e 60% da altura de entrada, com número variável de animais em cada pastejo dependendo da quantidade disponível nos momentos de coletas. Todos os procedimentos realizados com os animais foram aprovados pela Comissão de Ética no

Uso de Animais (CEUA) da Universidade do Estado de Santa Catarina (protocolo nº 7085200520).

A altura da pastagem e a biomassa aérea foram quantificadas por medidas antes e após o pastejo ou corte em cada ciclo de avaliação. A altura da gramínea foi obtida a partir de 30 medições por parcela com auxílio de uma régua graduada (“sward stick”) e a biomassa aérea foi quantificada a partir do corte da forragem em três áreas delimitadas por quadros de 0,24 m² (0,8 × 0,3 m) por parcela. Além disso, foram realizadas 100 medições da altura comprimida do pasto por parcela com uso de prato ascendente (Farmworks®, F200 model, New Zealand). Quando o pasto atingiu altura média de 20 a 25 cm, com medições utilizando uma régua graduada (“sward stick”), foram realizadas coletas para determinação da biomassa pré-desfolha.

Posteriormente ao pastejo ou corte foi realizada a coleta de amostras pós-desfolha, quando também foram coletadas amostras em três pontos representativos de cada parcela utilizando os mesmos quadros para medida da biomassa pré-desfolha. Antes da coleta pós-desfolha, para cada ponto de amostragem, foram escolhidos dois quadros com aproximadamente a mesma quantidade de forragem. Num quadro foi realizado o corte ao nível do solo e o outro ficou marcado com estacas para se realizar a coleta pré-desfolha no ciclo subsequente. Amostras pré e pós-desfolha foram pesadas, e então retirado uma subamostra para determinação do teor de MS e da composição morfológica (porcentagens de folha, colmo e material morto). As subamostras foram secas a 60°C até atingir massa constante, e então pesadas. Através da massa das amostras coletadas dentro dos quadros de área conhecida, foi possível estimar a produção de forragem por ha em cada ciclo de pastejo ou corte. A taxa de acúmulo dos pastos foi quantificada pela biomassa acumulada entre dois ciclos de pastejo ou corte (biomassa pré-desfolha - biomassa pós-defolha do ciclo anterior número de dias entre ciclos). A produção total de MS de pasto foi calculada como a soma da produção de pasto por parcela durante o período de cultivo.

A composição química da forragem foi determinada em amostras obtidas, em cada ciclo, por simulação de pastejo ou da forragem cortada, dependendo do tratamento experimental. As amostras foram secas em estufa com ventilação forçada a 60 °C até atingir massa constante, moídas em peneiras de 1 mm, e posteriormente determinados os teores MS, matéria orgânica (MO) e PB (AOAC, 2000), além dos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) (VAN SOEST et al., 1991).

Tabela 2. Informações descritivas do azevém (*Lolium multiflorum*) nos anos de coletas.

	Ano			
	2017	2018	2019	2021
Semeadura	25/04/2017	14/05/2018	21/05/2019	20/04/2021
Cultivar	Maximus	Maximus	Winter Star 3	Potro
Primeiro corte	13/07/2017	15/08/2018	23/08/2019	07/07/2021
Último corte	20/10/2017	31/10/2018	18/11/2019	25/10/2021
Número de dias	178	170	181	188
Número de cortes	5	5	5	5

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

5.3 AVALIAÇÕES SOBRE A CULTURA DE VERÃO

As avaliações sobre a cultura do milho foram realizadas na safra 2020/21 e 2021/22, conforme apresentado na Tabela 3.

A coleta de amostras para determinação da produtividade visando a produção de biomassa para silagem, composição morfológica e química da planta inteira do milho foi realizada próximo ao dia da colheita, quando as plantas possuíam em média 35% de MS. Para isso, foram coletadas plantas inteiras, cortadas a 20 cm de altura do solo, de duas linhas de dez metros lineares por parcela. A massa verde total das amostras de cada linha foi quantificada. Seis plantas por linha foram subamostradas para separação morfológica (folha, colmo e sabugo + bráctea + grão). Posteriormente, as amostras de cada linha por parcela passaram por uma ensiladora (Nogueira, FTN 1000, Brasil) e o material picado foi homogeneizado e retirado uma subamostra para secagem em estufa a 60 °C até atingir massa constante. A partir do comprimento, massa do material verde das plantas inteiras em dez metros lineares e do teor de MS foi possível se determinar a produtividade expressa em kg MS/ha do milho para silagem. O material picado e seco foi moído em peneira de 1 mm para determinações dos teores de MS, MO e PB (AOAC, 2000), além dos teores de FDN e FDA (VAN SOEST et al., 1991).

Os dados de altura, massa de forragem, taxa de acúmulo de MS, composição química e composição morfológica do azevém foram divididos em estações de inverno e primavera através de média ponderada.

Tabela 3. Informações descritivas do milho (*Zea mays*) nos anos de coletas.

	Safra	
	2020/20	2021/22
Semeadura	18/11/2020	26/11/2021
Cultivar	AS 1555 PRO3-AGROESTE	NIDERA NS80 VIP3
Número de plantas/ha	80000	80000
Colheita	15/03/2021	09/04/2022

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

5.4 AVALIAÇÕES FÍSICAS E DE CARBONO NO SOLO

Coletas de amostras de solo para determinações das propriedades físicas e de C foram realizadas em intervalos de um ano, de 2019 a 2022. A amostragem de solo foi feita em dois pontos de coleta por parcela, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. As camadas de solo foram amostradas através da abertura de uma trincheira e com utilização de um anel de aço de bordas cortantes e volume interno conhecido. Após a realização das coletas, as amostras foram saturadas em água, pesadas e posteriormente colocadas em mesa de areia com nível de água a 60 cm e novamente pesadas. Na sequência, as amostras foram colocadas em estufa a 105°C até atingirem massa constante e pesadas novamente. Como o volume e a massa de solo de cada camada amostrada são conhecidos, foi possível calcular a densidade do solo pela metodologia do anel volumétrico (EMBRAPA, 2011). Tomando-se em conta o volume do solo e massa do solo saturado em água a 60 cm de sucção e seco foi possível determinar a porosidade total, a microporosidade e a macroporosidade do solo.

A determinação do COT foi realizada em amostras de solo coletadas nas mesmas profundidades mencionadas acima com auxílio de trado holandês. As amostras foram secas em estufa a 60° e maceradas. Com as mesmas amostras de solo, coletadas no ano de 2022, foi feito o fracionamento granulométrico da MO do solo que consiste na separação de duas frações orgânicas, o COP e o COAM, realizado segundo (CAMPARDELLA; ELLIOTT, 1992). O COP foi determinado a partir da mistura de 20 g de solo e 60 mL de hexametafosfato de sódio (5g/L), com agitação horizontal por 16 horas. Posteriormente a solução foi peneirada em malha de 53µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no COP associado a fração areia, foi seco em estufa a 60°, quantificado em relação a sua massa, moído e analisado em relação ao

teor de CO nesta fração. As análises de COT e COP foram realizadas em analisador elementar TOC/TN Analytik Jena Multi N/C 2100. O material que passou pela peneira consiste no COAM das frações silte e argila, e foi calculado por diferença entre COT e COP.

Para o cálculo do estoque de C foi utilizado o método descrito por Sisti et al. (2004). Esse procedimento se baseia na massa equivalente do solo, corrigindo o efeito diferenciado que os sistemas de manejo podem ter sobre a densidade do solo em cada camada amostrada. O sistema sem pastejo foi considerado o tratamento referência. Foi seguido a seguinte fórmula de cálculo:

$$C = \sum_{i=1}^{n-1} C_1 + \left[M_n - \left(\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n M_{Ri} \right) \right] \cdot \left[\frac{C_n}{M_n} \right]$$

Onde todas as variáveis são expressas em Mg/ha,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_1$ é a soma do estoque de C da primeira até a penúltima camada;

M_n é a massa de solo na camada mais profunda;

$\sum_{i=1}^n M_i$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda;

$\sum_{i=1}^n M_{Ri}$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda, no tratamento referência;

C_n é o estoque de C na camada mais profunda.

5.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento PROC MIXED do *Software SAS® University Edition* (SAS® UNIVERSITY EDITION, 2017).

As variáveis relacionadas ao milho e produção total de MS do azevém foram analisadas através do modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + T_j + B_k + \epsilon_{ijk},$$

onde: μ representa a média geral de todos os tratamentos, A_i efeito aleatório de ano, T_j o efeito fixo do tratamento e B_k o efeito aleatório do bloco.

Os dados de propriedades físicas, estoque e teores de carbono orgânico do solo foram analisados pelo modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_j + B_k + P_l + T_j P_l + \varepsilon_{ijkl},$$

onde: μ representa a média geral de todos os tratamentos, T_j o efeito fixo do tratamento, B_k o efeito aleatório do bloco experimental, P_l efeito fixo de profundidade, $T_j P_l$ efeito da interação tratamento \times profundidade e ε_{ijkl} o erro experimental.

Para os dados de altura, massa de forragem, taxa de acúmulo de MS, composição química e composição morfológica do azevém o modelo utilizado foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + T_j + B_k + E_{l(j)} + T_j E_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Onde: μ representam a média geral de todos os tratamentos, A_i efeito aleatório de ano, T_j o efeito fixo do tratamento, B_k o efeito aleatório do bloco experimental, E_l efeito fixo de estação do ano, $T_j E_l$ efeito da interação tratamento \times estação do ano e ε_{ijkl} o erro experimental.

A escolha da melhor matriz de covariância foi realizada com base no critério de informação de Akaike (AKAIKE, 1974). Valores de $P < 0,05$ foram considerados diferentes significativamente e valores de P entre 0,05 e 0,10 foram considerados tendência.

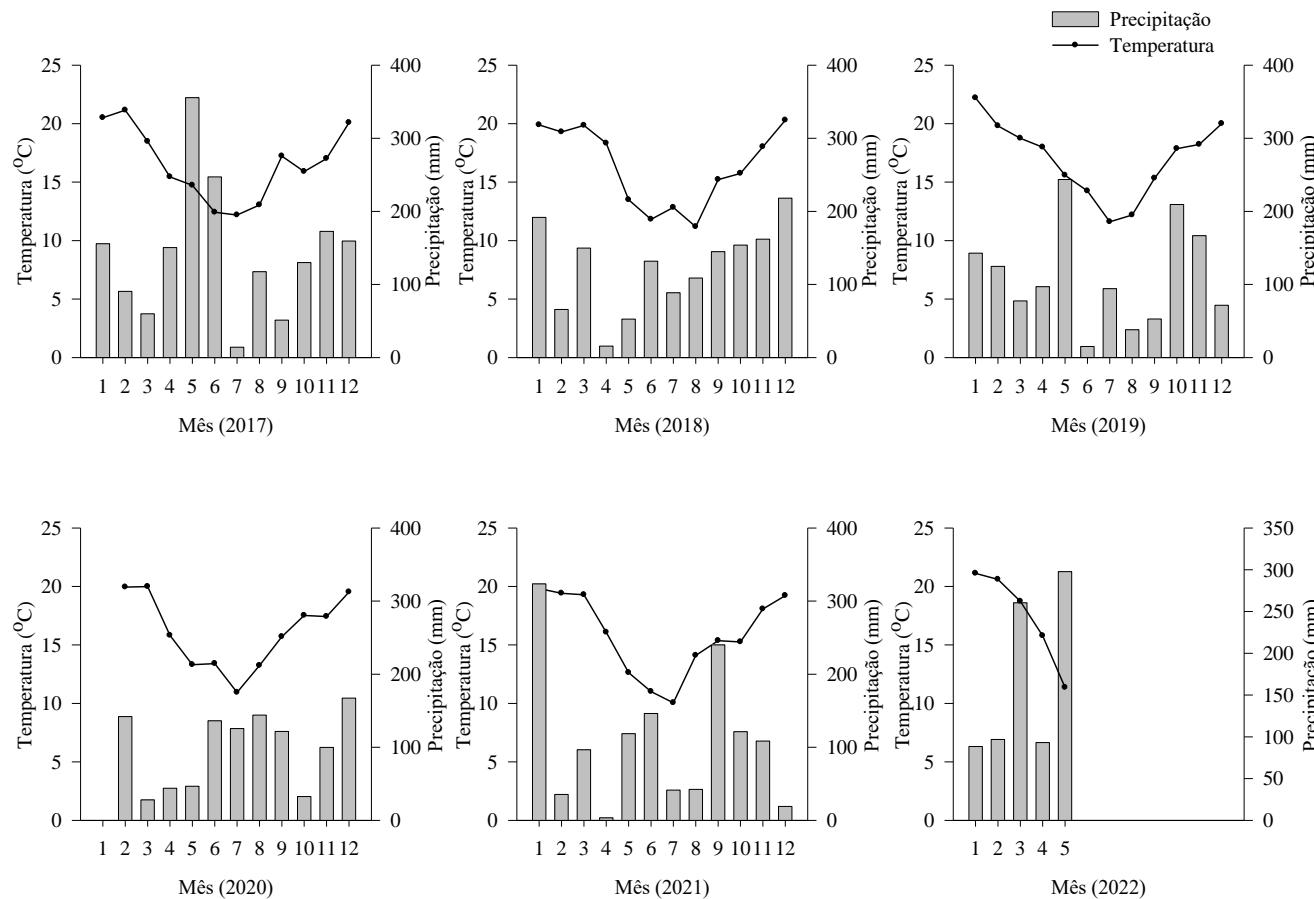
6 RESULTADOS

De acordo com os dados obtidos da Epagri, a temperatura média anual durante o período experimental (janeiro/2017 a maio/2022) variou de 15,9 a 17°C, com média de 16,4°C (Figura 1). As médias de precipitação anual dos anos de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 foram de 1704, 1483, 1334, 1088 e 1296 mm, respectivamente.

6.1 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AZEVÉM EM ÁREAS SOB PASTEJO OU COLHIDO POR CORTE

A massa de forragem pré desfolha foi maior ($P<0,01$) para o tratamento com pastejo em relação ao sem pastejo, com médias de 2068 kg MS/ha e 1816 kg MS/ha, respectivamente (Tabela 4). A massa pré desfolha também diferiu para estação, sendo superior ($P<0,001$) no inverno se comparado à primavera. A massa pós desfolha foi inferior nas parcelas sem pastejo na primavera em comparação aos demais tratamentos, os quais não apresentaram diferença significativa entre si (interação tratamento × estação do ano: $P<0,001$). As taxas de acúmulo foram superiores ($P<0,01$) no tratamento com presença dos animais para pastejo em comparação ao corte, com médias de 30,3 kg MS/ha/dia e 24,6 kg MS/ha/dia, respectivamente. A produção média de MS tendeu ($P<0,08$) a aumentar em aproximadamente 500 kg/ha (4496 vs. 4010 kg/ha) por ano nas parcelas submetidas ao pastejo comparadas a colheita por corte (Figura 2).

Figura 1. Dados de temperatura do ar e precipitação durante o período experimental (2017 a 2022).



Fonte: elaborada pela autora, 2022

Tabela 4. Médias da massa de forragem, taxa de acúmulo, alturas, composição morfológica e composição química do azevém (*Lolium multiflorum*) nas estações de inverno e primavera, em áreas manejadas com e sem pastejo por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), com avaliações nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021.

Item	Sem pastejo		Com pastejo		EPM ¹	Valor de P		
	Inverno	Primavera	Inverno	Primavera		Pastejo	Estação	Past × Est
Massa pré (kg MS/ha)	2047	1585	2220	1916	79,7	0,003	<0,001	0,324
Massa pós (kg MS/ha)	1378 ^a	1105 ^b	1428 ^a	1850 ^a	81,9	<0,001	0,371	<0,001
Taxa de acúmulo (kg MS/ha/dia)	24,7	24,5	27,1	33,5	1,74	0,006	0,148	0,108
Altura sward stick pré (cm)	23,1 ^b	24,4 ^a	24,2 ^a	24,4 ^a	0,28	0,011	0,015	0,042
Altura sward stick pós (cm)	8,53	8,56	11,7	12,1	0,230	<0,001	0,455	0,152
Altura disco pré (cm)	10,3 ^b	12,1 ^a	11,1 ^a	11,5 ^a	0,31	0,694	0,014	0,019
Altura disco pós (cm)	6,00	8,43	6,35	8,10	0,25	0,980	<0,001	0,174
Desfolha ² (%)	60,1 ^a	62,5 ^a	51,8 ^b	41,5 ^b	1,60	<0,001	0,017	<0,001
Composição morfológica (% MS)								
Folha pré (%)	64,3	37,2	60,8	33,6	1,59	0,027	<0,001	0,953
Colmo pré (%)	26,2	39,1	28,4	40,6	1,57	0,232	<0,001	0,811
Folha/colmo pré	2,80	0,859	2,21	0,694	0,155	0,017	<0,001	0,171
Morto pré (%)	9,49	23,7	10,7	25,8	1,52	0,260	<0,001	0,757
Folha pós (%)	48,0	12,7	49,6	21,3	2,49	0,040	<0,001	0,152
Colmo pós (%)	26,9	31,1	34,0	37,5	1,55	<0,001	0,022	0,814
Folha/colmo pós	1,96	0,356	1,48	0,497	0,166	0,301	<0,001	0,061
Morto pós (%)	25,1	56,2	16,4	41,2	2,62	<0,001	<0,001	0,222
Composição química (g/kg MS)								
Matéria orgânica	895	892	904	902	2,48	<0,001	0,341	0,823
Proteína bruta	194	199	237	260	5,58	<0,001	0,019	0,126
FDN	436 ^a	516 ^a	441 ^a	494 ^b	4,17	0,053	<0,001	0,003
FDA	221 ^a	266 ^a	209 ^b	233 ^b	3,53	<0,001	<0,001	0,005

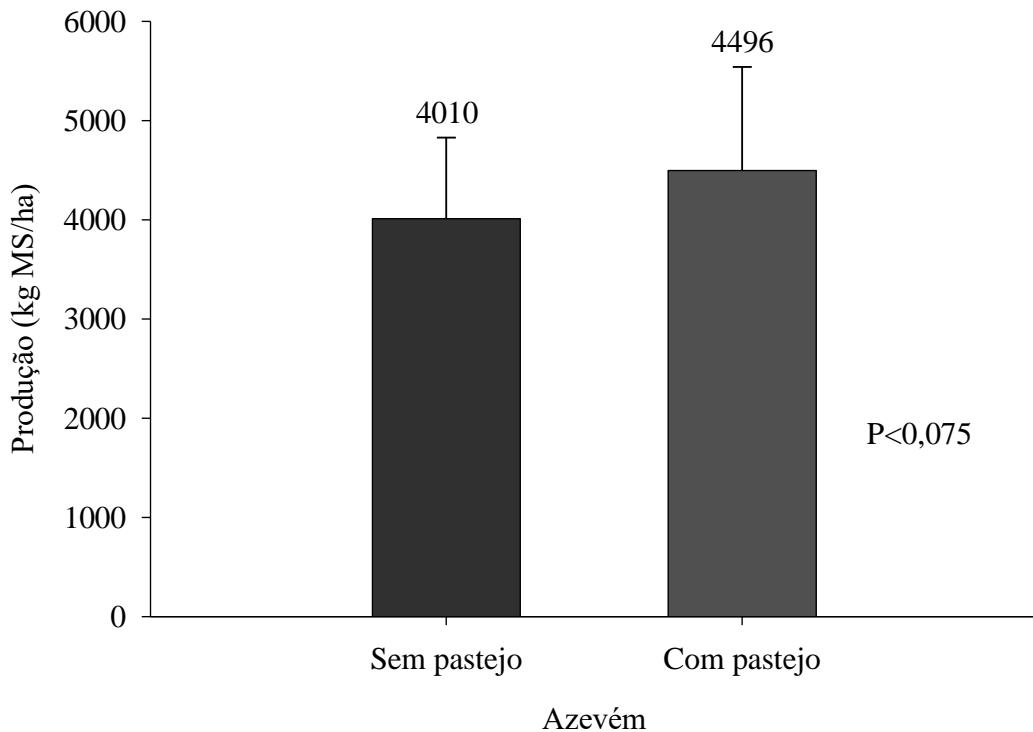
¹Erro padrão médio. ²Desfolha = (altura pré “sward stick” – altura pós “sward stick”) /altura pré “sward stick”.

Médias seguidas de sobreescrito com letras iguais não diferem significativamente pelo teste Tukey ($P > 0,05$). Fonte: elaborada pela autora, 2022.

As alturas pré desfolha medidas tanto com o “sward stick” como com o prato ascendente foram menores ($P<0,05$) no tratamento sem pastejo durante o inverno quando comparado aos demais tratamentos (interação tratamento × estação do ano: $P<0,05$) (Tabela 4). A altura pós desfolha medida com o sward stick foi inferior ($P<0,001$) no tratamento onde foi realizada a roçada em comparação ao pastejo, enquanto a altura pós desfolha medida com o prato ascendente foi menor ($P<0,001$) no inverno em comparação à primavera. A severidade de desfolha foi superior ($P<0,05$) no corte em comparação ao pastejo.

A maior porcentagem de folhas e maior relação folha/colmo foram observadas nos pastos submetidos à roçada em comparação ao pastejo, e no inverno quando comparado à primavera. No mesmo sentido, as maiores porcentagens de colmo e material morto ($P<0,001$) foram observadas na primavera em comparação ao inverno. Para o morfológico pós desfolha, quantidade de folha e colmo foram maiores ($P<0,05$) para o tratamento com pastejo comparado ao corte, porém para estação foram superiores ($P<0,05$) no inverno para folha e na primavera para colmo. A maior ($P<0,001$) relação folha/colmo foi observada no inverno. Em relação ao material vegetal morto foi encontrado maior ($P<0,001$) quantidade no tratamento sem pastejo e na estação da primavera comparado ao inverno. Os teores de PB foram superiores e os teores de FDN tenderam a ser inferiores na forragem pastejada comparada à forragem cortada, com maiores teores de PB e FDN na primavera comparado ao inverno.

Figura 2. Produção de azevém (*Lolium multiflorum*) nos tratamentos com e sem pastejo manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021). Médias de avaliações realizadas nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2021.

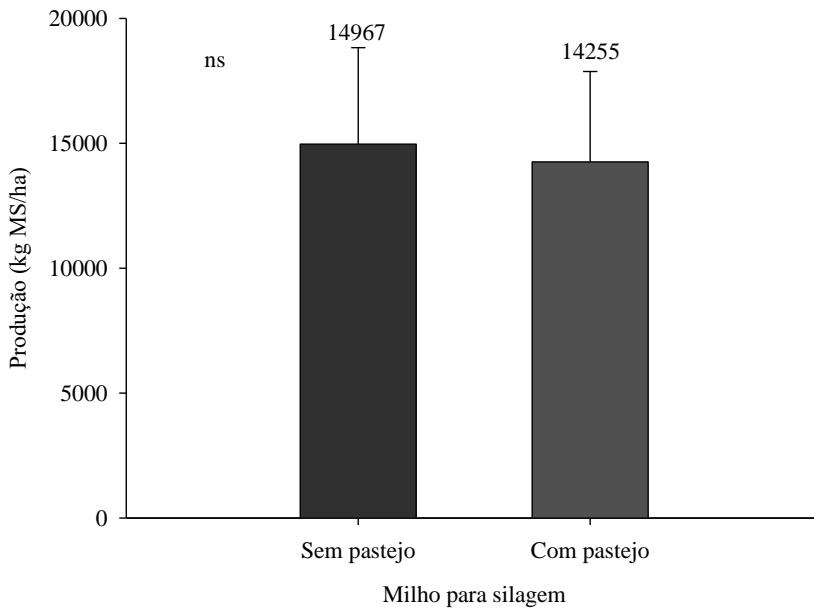


Fonte: elaborada pela autora, 2022.

6.2 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO PARA SILAGEM CULTIVADO EM ÁREAS PREVIAMENTE SUBMETIDAS AO PASTEJO OU NÃO

A produtividade de MS das plantas inteiras de milho foi semelhante quando cultivada em áreas previamente pastejadas comparado a áreas não pastejadas, com média de 14.611 kg/ha (Figura 3). Os teores de MO foram levemente inferiores ($P < 0,05$) e os teores de PB levemente superiores ($P < 0,01$) no milho cultivado em áreas previamente submetidas ao pastejo comparado ao milho cultivado em áreas não pastejadas (Tabela 5). Os teores de FDN e FDA não diferiram entre os tratamentos. Da mesma forma, os componentes morfológicos da planta inteira de milho não apresentaram diferenças entre os tratamentos, com médias de 15,5% de folha, 26,3% de colmo e 58,0% de sabugo + brácteas + grãos.

Figura 3. Produção do milho (*Zea mays*) planta inteira colhido nas safras 2020/2021 e 2021/2022 em áreas previamente manejadas com ou sem o pastejo durante o inverno por cinco anos consecutivos (2017 a 2021).



Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Tabela 5. Composição química e morfológica de plantas inteiras de milho (*Zea mays*) colhido nas safras 2020/2021 e 2021/2022 em áreas previamente manejadas com ou sem pastejo durante o inverno por cinco anos consecutivos (2017 a 2021).

Item	Tratamentos		EPM	Valor de P
	Sem pastejo	Com pastejo		
Composição química (g/kg MS)				
MO	967 ^a	963 ^b	0,83	0,010
FDN	614	599	11,4	0,369
FDA	293	288	6,52	0,597
PB	77,9 ^b	84,5 ^a	1,28	0,004
Composição morfológica (% MS)				
Folha	14,9	16,2	0,56	0,149
Colmo	25,5	27,1	0,99	0,279
Sabugo + brácteas + grãos	59,4	56,7	1,15	0,131

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

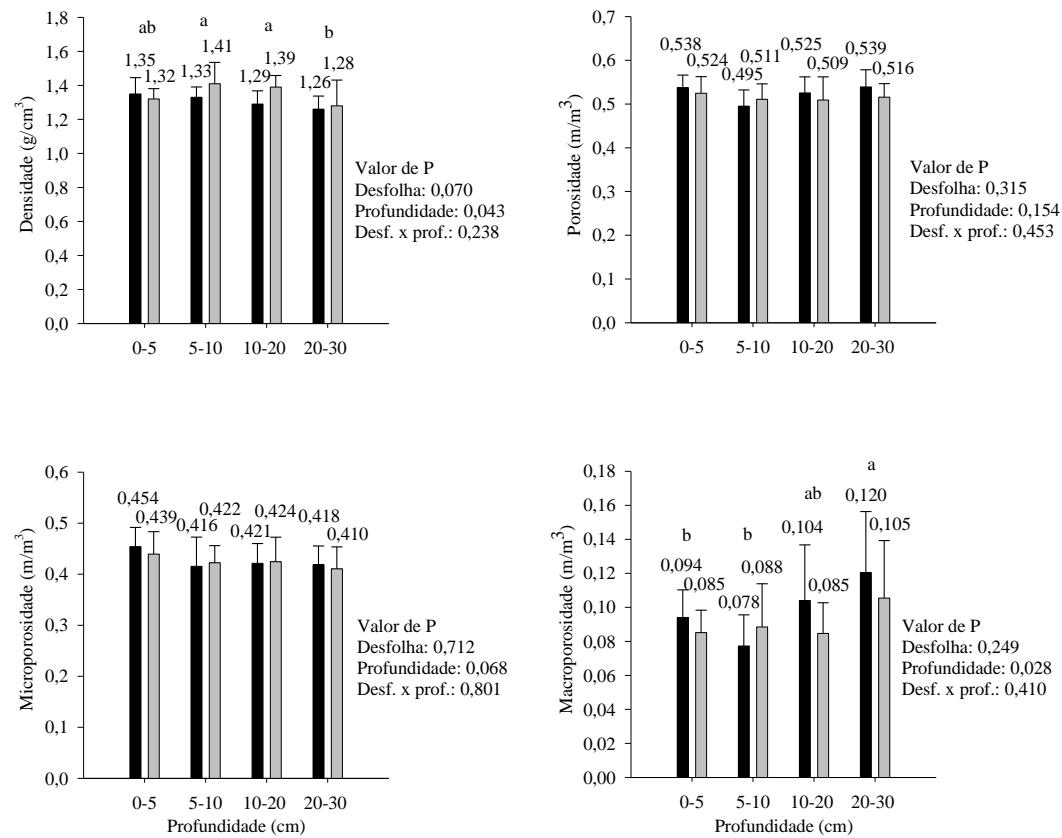
6.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM AZEVEM ANUAL SUBMETIDO OU NÃO AO PASTEJO NO INVERNO/PRIMAVERA E MILHO PARA SILAGEM NO VERÃO/OUTONO

A densidade do solo, apresentou uma tendência de ser superior nas áreas submetidas ao pastejo comparadas às áreas não pastejadas, com médias de 1,35 e 1,30 g/cm³, respectivamente (Figura 4). Porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo não diferiram entre os tratamentos. A densidade do solo foi menor ($P<0,05$) na profundidade de 20-30 cm, enquanto a macroporosidade foi superior ($P<0,05$) nessa camada.

O teor de COT tendeu a ser superior ($P=0,058$) na área pastejada comparada a área não pastejada, e diminuiu ($P<0,001$) com o aumento da profundidade nas camadas amostradas (Figura 5). No entanto, o estoque de COT no solo não diferiu ($P>0,05$) entre os tratamentos nas diferentes profundidades avaliadas, com médias de 117 e 100 Mg/ha (0-30cm) para pastejo e corte, respectivamente (Tabela 6).

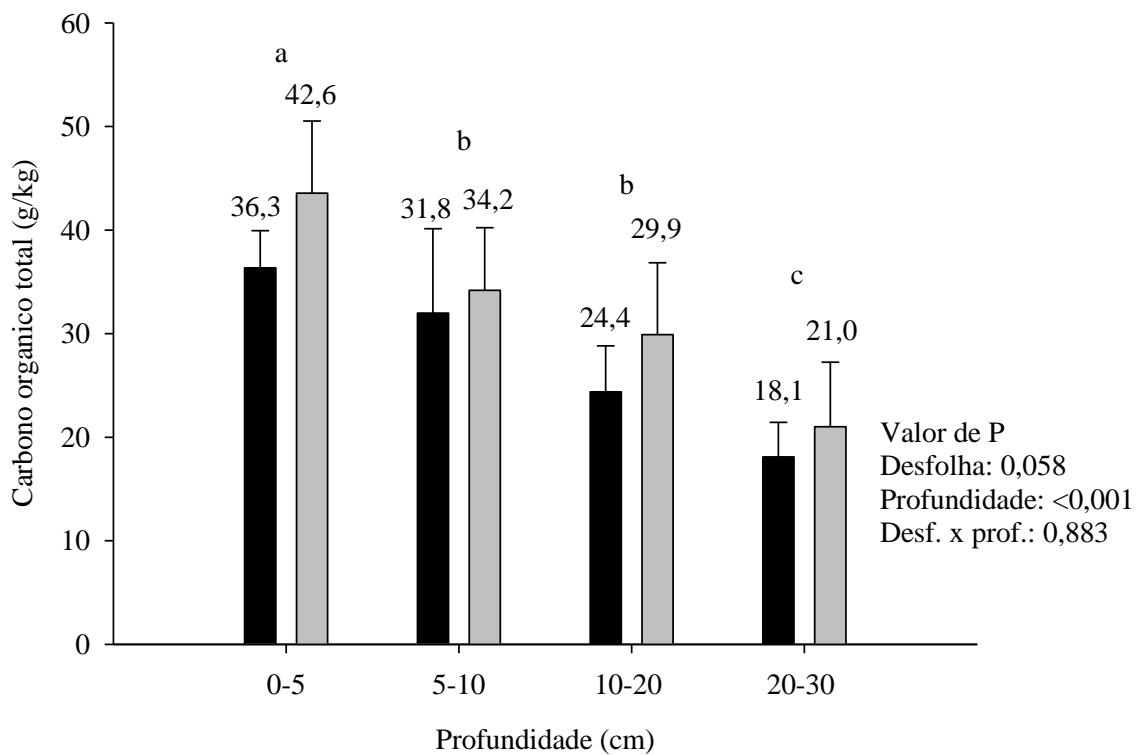
As frações COP e COAM não diferiram entre tratamentos (Figura 6), com menores valores de COP ($P<0,001$) à medida que aumentou a profundidade. O COAM tendeu a diminuir à medida que aumentou a profundidade.

Figura 4. Densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022. ■ Sem pastejo ■ Com pastejo.



Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Figura 5. Teor de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022. ■ Sem pastejo ■ Com pastejo.



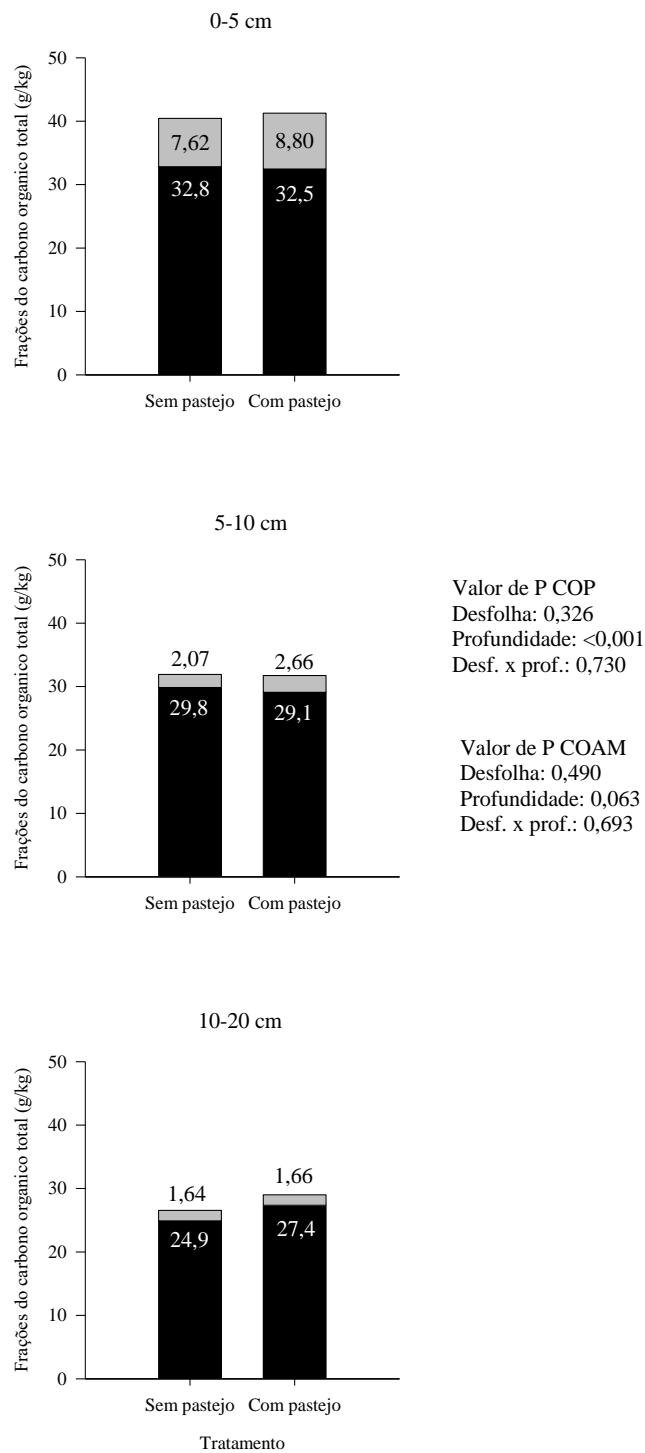
Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Tabela 6. Estoque de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022.

Profundidade (cm)	Tratamentos		EPM	Valor de P
	Sem pastejo	Com pastejo		
Estoque de C (Mg/ha)				
0-5		24,3	29,0	3,08
5-10		21,7	23,1	3,19
10-20		31,4	38,4	2,86
20-30		23,0	26,4	3,94
0-10	46,0	52,1	7,08	0,522
0-20	77,4	90,5	10,9	0,434
0-30	100	117	16,6	0,466

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Figura 6. Carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (COAM) em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), média do ano de 2022. ■ COP ■ COAM.



Fonte: elaborada pela autora, 2022.

7 DISCUSSÃO

7.1 EFEITO DO MÉTODO DE DESFOLHA SOBRE A TAXA DE ACÚMULO E A PRODUÇÃO DE FORRAGEM

O aumento de 23,2% na taxa de acúmulo e tendência de maior produção do azevém (+500 kg/ha) para o tratamento com pastejo comparado ao corte mecânico podem ser atribuídos a maior massa pós desfolha no primeiro tratamento. A massa de forragem está relacionada ao índice de área foliar, que determina a interceptação luminosa e as taxas de acúmulo de biomassa (Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: Toward sustainable intensification CARVALHO *et al.*, 2018). Além disso, a estrutura do dossel também influencia a produção de biomassa da pastagem. Dessa forma, sugere-se que a maior massa de forragem e maior proporção de folhas pós desfolha para o tratamento com pastejo apresentou maior índice de área foliar, o que resultaria em maior interceptação de luz e produção de fotoassimilados.

Esses resultados são contrastantes com o estudo desenvolvido na Irlanda por (GRACE *et al.*, 2019), onde foi avaliado o efeito do pastejo *versus* corte na produção de MS de pastagens multiespecíficas e azevém perene. Os autores concluíram que os pastos apenas com azevém perene não foram afetados pelo método de desfolha. No entanto, foi utilizado a mesma altura residual entre os tratamentos, diferenciando do manejo deste estudo, e consequentemente nos resultados encontrados. Portanto, entende-se que a maior massa residual e maior quantidade de folhas pós desfolha para o tratamento com pastejo neste experimento foram os principais responsáveis pela maior taxa de acúmulo e tendência de maior produção do azevém anual sob pastejo em comparação ao corte.

7.2 EFEITO DO MÉTODO DE DESFOLHA E DA ESTAÇÃO DO ANO SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MORFOLÓGICA DA FORRAGEM

A melhor qualidade nutricional da forragem utilizada para pastejo pode ser explicada pelo fato de os animais colherem uma fração mais rica em folhas e com menor proporção de colmos se comparado ao pasto cortado. Estes resultados vão ao encontro do relatado por Simon et al. (2021), os quais avaliaram o valor nutritivo de culturas de cobertura. Os autores observaram maior teor de PB e menores teores de FDN e FDA na forragem pastejada em comparação à forragem cortada, e observaram melhor valor

nutritivo da forragem pastejada em comparação ao feno na maior parte do estudo ao longo de seis anos. Portanto, o pastejo permite que o animal colha seu alimento, selecionando partes mais nutritivas da planta.

A maior porcentagem de folhas e menor porcentagem de colmo e material vegetal morto na estação do inverno eram relativamente esperadas, pois são consequência do estágio vegetativo da planta de azevém anual. Em estudo desenvolvido por Holohan et al. (2022), os autores avaliaram a morfologia do dossel de um pasto de azevém e a inclusão de trevo vermelho sob um protocolo de corte. Os autores observaram maior porcentagem de folhas em todos os tratamentos experimentais nas estações iniciais e tardias do que na meia estação, e atribuíram a redução na quantidade de folhas e aumento de caule ao estágio reprodutivo da planta, que em nosso estudo ocorreu na estação da primavera. O mesmo vale para o material vegetal morto, o qual aumentou na primavera devido a maior maturidade da planta.

Os menores teores de FDN e FDA da forragem na primavera também podem ser explicados pela maturidade da planta. Estes resultados corroboram os encontrados por Li et al. (2022) em que a qualidade da forragem diminuiu gradativamente com a maturidade da planta devido ao aumento da serrapilheira e da relação caule/folha. No entanto, para PB o resultado foi contrastante, com maior teor na primavera. Acredita-se que isso pode ser explicado pelo escalonamento da aplicação nitrogenada, a qual foi concluída na primavera, resultando em maior teor de PB na biomassa aérea.

7.3 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MILHO CULTIVADO PARA SILAGEM EM ÁREAS PREVIAMENTE SUBMETIDAS AO PASTEJO

A inexistência de efeito do pastejo do azevém durante a estação fria sobre a produtividade de MS do milho em sucessão pode ser atribuída, ao menos parcialmente, aos pequenos efeitos do pastejo sobre as propriedades físicas do solo, o que será discutido posteriormente. Este resultado corrobora com o observado em outros estudos onde áreas previamente pastejadas não afetaram significativamente o rendimento do milho para silagem (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2018; VIZIOLI *et al.*, 2018). De acordo com Carvalho et al. (2018a), vários trabalhos indicam que o ‘dilema’ do pastejo prejudicar o rendimento da cultura em sucessão não faz sentido, desde que o pasto seja manejado adequadamente. Em um estudo também desenvolvido no Sul do Brasil, Santos et al. (2018) avaliaram o uso do azevém para silagem e para pastejo (taxa de

lotação média de 2,7 UA/ha) no sistema de integração lavoura pecuária. Os autores concluíram que o rendimento de MS da silagem de milho não teve diferença significativa entre os tratamentos. O mesmo resultado foi encontrado no trabalho de Vizioli; Cavalieri-Polizeli; Barth (2018), sem diferença significativa na produção de MS do milho entre os manejos de corte, pastejo e cobertura do azevém em nove anos de manejo. Portanto, nosso resultado sugere que o pastejo leniente da forragem no inverno não afeta significativamente o desempenho do milho para silagem na safra seguinte, no médio prazo. O menor rendimento de silagem de milho, comparado a outros estudos, está relacionado ao ataque da cigarrinha do milho (*Dalbulus maidis*) a qual transmite patógenos que causam enfezamentos, e consequentemente redução na produtividade. O menor rendimento foi na safra 2020/21 quando houve alta incidência da praga em SC, ocasionando queda na produção de milho no estado (EPAGRI, 2021).

O pastejo do azevém permitiu maior teor de PB na silagem de milho em sucessão. Este resultado é similar a alguns dos anos avaliados no trabalho de (SANTOS *et al.*, 2018), que observaram aumento no teor de PB da silagem de milho quando o azevém foi usado num sistema de integração lavoura-pecuária comparado ao azevém empregado como cultura de cobertura e silagem. Janssen (2009), também encontrou maiores teores de PB na planta de milho com utilização do azevém para pastejo em experimento conduzido no Paraná, onde se avaliou o milho para silagem em sucessão ao azévem pastejado, para confecção de pré-secado ou para cobertura do solo. De acordo com Santos et al. (2018), o aumento no teor de PB em sistemas de integração lavoura pecuária no médio prazo pode ser atribuído ao pastejo dos animais, que atuam como agente catalisador e favorecem a renovação da parte área e raiz, deposição de excretas no solo e ciclagem de nutrientes, principalmente do nitrogênio. Portanto, o pastejo com severidade moderada pode ter permitido uma maior quantidade de nitrogênio residual no solo para absorção e acúmulo pelas plantas, resultando em maior teor de PB na silagem de milho.

7.4 EFEITO DO PASTEJO SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

O pastejo em áreas de azevém durante o inverno apresentou apenas tendência de aumento na densidade do solo, o que teria ocorrido devido ao pisoteio dos animais. De acordo com Moreira et al. (2014), a pressão aplicada pelos cascos dos animais durante o pastejo pode causar aumento da densidade do solo. No entanto, os animais em pastejo

podem ter efeitos diretos devido ao pisoteio, que impõe alta pressão distribuída até uma profundidade de 15 cm, e efeitos indiretos que resultam na intensificação do crescimento radicular e da atividade biológica causada pelo pastejo (RAUBER *et al.*, 2021). Os resultados de um estudo desenvolvido por três anos sob um sistema de plantio direto nos Estados Unidos sugerem que o pastejo de gado (5,9 UA/ha) em cultura de cobertura pode ter pequenos efeitos nas propriedades do solo, mas o aumento no nível de compactação ficou abaixo dos níveis limiares que podem restringir significativamente o crescimento das raízes (BLANCO-CANQUI *et al.*, 2020).

Segundo Peterson; Deiss; Gaudin (2020), o processo de compactação pode ocorrer em pequena escala, não atingindo as condições físicas que limitam as funções do solo e que podem afetar o desenvolvimento das plantas. Além disso, os efeitos causados pelo pisoteio nas propriedades físicas do solo são efêmeros ou momentâneos quando utilizadas intensidades moderadas de pastejo (AMBUS *et al.*, 2018). Apesar da preocupação de muitos produtores, estudos concluem que o pastejo moderado apresenta pouco ou nenhum efeito nas propriedades físicas do solo, dependendo do tipo de solo que responde de forma diferente ao processo de compactação. Portanto, pode-se afirmar que o pequeno aumento de 3,25% na densidade do solo para o tratamento de pastejo comparado ao corte não foi suficiente para comprometer a produção da cultura em sucessão no médio prazo.

A inexistência de efeito do manejo de desfolha do azevém sobre a porosidade, macroporosidade e microporosidade do solo corrobora os resultados encontrados por Vizioli; Cacalieri-Polizeli; Barth (2018). Os autores avaliaram a influência de manejos do azevém (cobertura, silagem e pastejo) sobre as propriedades físicas de um Latossolo Bruno e concluíram que o manejo do azevém sob plantio direto, em sucessão ao milho, não comprometeu as propriedades físicas do solo estudado. No presente estudo, a diferença para macroporosidade nas diferentes profundidades correlacionou-se negativamente com a densidade do solo, o que está de acordo com resultados observados por outros autores (BONETTI *et al.*, 2017).

A tendência de maior teor de COT para o tratamento com pastejo pode ser atribuída à deposição de excretas no solo e maior ciclagem de nutrientes para este método de desfolha. De acordo com Blanco-Canqui; Hergert; Nielsen (2015), a adição de excretas por animais pode aumentar a atividade biológica do solo, o teor de C do solo e a ciclagem de nutrientes. Ao contrário do corte para conservação da forragem , o pastejo permite a reciclagem de nutrientes das fezes e da deposição de urina que podem aumentar o COT do solo (SIMON *et al.*, 2021). Além disso, a biomassa residual acima do solo para pastejo

é maior do que aquela que sobra após a desfolha mecânica devido a maior altura pós-desfolha e maiores quantidades de danos às plantas associados ao pisoteio (SILVA *et al.*, 2022). Tilhou *et al.* (2021), também encontraram maiores concentrações de COT no solo (0-5cm) em piquetes pastejados em relação a colheita por feno, em estudo realizado nos Estados Unidos. Portanto, o pastejo quando bem manejado pode apresentar potencial para aumentar o teor de COT.

No entanto, o estoque de C e frações do COP e COAM não apresentaram diferenças entre os métodos de desfolha avaliados neste estudo. Nossos resultados corroboram com vários outros estudos que também não encontraram aumento no estoque de C no solo em sistemas de pastejo a curto e médio prazo (FRANZLUEBBERS; STUDEMANN, 2015; RAMALHO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2022). Em um estudo desenvolvido no Sul do Brasil (RAMALHO *et al.*, 2020), os autores concluíram que o pastejo sob plantio direto por nove anos não afetou os estoques de C do solo, nem a razão de estratificação e labilidade da MO. Com o mesmo tempo de experimento do estudo anterior, Assmann *et al.* (2014) também não encontraram efeitos do pastejo no estoque e nas frações de C no solo na camada de 0-40 cm sob os níveis de pastejo moderado ou leve (20 a 40 cm de altura do pasto) de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) mais azevém seguida de soja no verão. Comparando-se os métodos de desfolha (pastejo *versus* corte) durante o período de seis anos, Silva *et al.* (2022) não encontraram mudança no estoque de C no solo para a profundidade de 0-40 cm.

Apesar da fração do COP geralmente responder precocemente aos efeitos das mudanças nas práticas de manejo do solo, neste trabalho não foi alterado pelo manejo de pastejo conforme observado em outros estudos. Vale ressaltar que alguns trabalhos a longo prazo, após doze anos de manejo, mostraram maior acúmulo de C no solo para pastejo do que em áreas cortadas para conservação de forragem (FRANZLUEBBERS; STUDEMANN, 2009). No presente trabalho, com cinco anos de manejo dos diferentes métodos de desfolha, o pastejo permitiu aumento, de aproximadamente 1,8 Mg C/ha/ano na profundidade de 0-20 cm do solo comparado ao corte. Portanto, nas condições estudadas não se descarta a possibilidade de aumento no estoque de C no solo a longo prazo o que deve ser confirmado com a continuidade do experimento por no mínimo mais cinco anos.

8 CONCLUSÕES

Através dos dados coletados até o momento, não se tem evidências significativas de que as propriedades físicas e o estoque de C do solo sejam alterados pela presença dos animais para pastejo em áreas de azevém nos primeiros cinco anos de manejo. Além disso, foi possível observar que o pastejo em forrageiras de inverno não reduz a produção do pasto e da cultura sucessora quando comparado ao corte. Os maiores teores de PB e menores teores de FDN e FDA no azevém sob pastejo se justificam pelo fato de os animais colherem uma fração mais rica em folhas e com menor proporção de colmos se comparado ao pasto cortado. Apesar do pastejo não alterar o estoque de C no solo a médio prazo, conclui-se que, a presença dos animais para pastejo nas forrageiras de inverno é uma alternativa a ser adotada em sistemas integrados de produção, sem comprometer a produção do pasto e da cultura sucessora. O experimento será conduzido por mais alguns anos com avaliação dos resultados sobre os métodos de desfolha a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Brazilian beef cuts book. **Beef REPORT - Perfil da Pecuária no Brasil 2020**, [s. l.], p. 60, 2021. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>.
- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Brazilian beef cuts book. **Beef REPORT - Perfil da Pecuária no Brasil 2020**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 107–15, 2022.
- AKAIKE, H. A New Look at the Statistical Model Identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, [s. l.], v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- ALVES, L. A.; DENARDIN, L. G. de O.; MARTINS, A. P.; BAYER, C.; VELOSO, M. G.; BREMM, C.; CARVALHO, P. C. de F.; MACHADO, D. R.; TIECHER, T. The effect of crop rotation and sheep grazing management on plant production and soil C and N stocks in a long-term integrated crop-livestock system in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 203, n. March, p. 104678, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104678>.
- AMBUS, J. V.; REICHERT, J. M.; GUBIANI, P. I.; DE FACCIO CARVALHO, P. C. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. **Geoderma**, [s. l.], v. 330, n. December 2017, p. 232–243, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.06.005>.
- ANGHINONI, I.; ASSMANN, J. M.; MARTINS, A. P.; COLSTA, S. E.; CARVALHO, P. C. F. Ciclagem De Nutrientes Em Integração Lavoura-Pecuária. **Synergismus scientifica UTFPR**, [s. l.], v. 6, n. 2, 2011.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. D. F.; VALADÃO, S. E.; COSTA, G. de A. Abordagem sistêmica do solo em Sistemas Integrados de Produção Agrícola e Pecuária no subtrópico brasileiro. **Tópicos em Ciência do Solo**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 325–380, 2013.
- ASSMANN, T. S.; ANDRÉ BRUGNARA, SOARES; ALCEU LUIZ, A.; FLÁVIA LEVINSKI, H.; ROSANGELA CORRÊA DE, L. Adubação de Sistemas em Integração Lavoura-Pecuária. In: 1 CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 4 ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUARIA NO SUL DO BRASIL. [S. l.: s. n.], 2017. p. 67–84.
- ASSMANN, J. M.; ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; COSTA, S. E. V. G. de A.; CECAGNO, D.; CARLOS, F. S.; CARVALHO, P. C. de F. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop-livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 190, p. 52–59, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.003>.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 17. ed. Gaithersburg: [s. n.], 2000. 2000.

BATISTA, P. H. D.; DE ALMEIDA, G. L. P.; DE LIMA, R. P.; PANDORFI, H.; DA SILVA, M. V.; ROLIM, M. M. Impact of short-term grazing on physical properties of Planosols in Northeastern Brazil. **Geoderma Regional**, [s. l.], v. 19, 2019.

BERNDT, A. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. **VII Simpósio de Produção de Gado de Corte e III Simpósio Internacional de Produção de Gado de Corte**, [s. l.], n. March, p. 121–148, 2010. Disponível em: http://www.simcorte.com/index/Palestras/7_simcorte/simcorte8.PDF.

BERTOL, I. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico distrófico sob diferentes preparamos de solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 8, p. 267–271, 1994.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. . Bulk density. In: METHODS OF SOIL ANALYSIS. 2. ed. Madison: SSSA, 1986. p. 363–382.

BLANCO-CANQUI, H.; DREWNOSKI, M. E.; MACDONALD, J. C.; REDFEARN, D. D.; PARSONS, J.; LESOING, G. W.; WILLIAMS, T. Does cover crop grazing damage soils and reduce crop yields?. **Agrosystems, Geosciences and Environment**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 1–11, 2020.

BLANCO-CANQUI, H.; HERGERT, G. W.; NIELSEN, R. A. Cattle Manure Application Reduces Soil Compactibility and Increases Water Retention after 71 Years. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 79, n. 1, p. 212–223, 2015.

BONETTI, de A.; ANGHINONI, J.; DE MORAES, I.; TUZZIN, M. F.; JESSE, R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 174, n. June, p. 104–112, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Science Society of America Journal**, [s. l.], v. 56, n. 3, p. 777–783, 1992.

CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; DE MORAES, A.; DE SOUZA, E. D.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; TERRA LOPES, M. L.; DA SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; DE LIMA WESP, C.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 88, n. 2, p. 259–273, 2010.

CARVALHO, P. C. de F.; BARRO, R. S.; NETO, A. B.; NUNES, P. A. de A.; DE MORAES, A.; ANGHINONI, I.; BREDEMEIER, C.; BAYER, C.; MARTINS, A. P.; KUNRATH, T. R.; DOS SANTOS, D. T.; CARMONA, F. de C.; BARROS, T.; FILHO, W. de S.; DE ALMEIDA, G. M.; MARTINS CAETANO, L. A.; CECAGNO, D.; ARNUTI, F.; DENARDIN, L. G. de O.; BONETTI, J. de A.; DE TONI, C. A. G.; BORIN, J. B. M. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 47, 2018.

CARVALHO, P. C. de F.; PETERSON, C. A.; NUNES, P. A. de A.; MARTINS, A. P.; FILHO, W. de S.; BERTOLAZI, V. T.; KUNRATH, T. R.; DE MORAES, A.; ANGHINONI, I. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: Toward sustainable intensification. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 96, n. 8, p. 3513–3525, 2018.

CAVALCANTE, M.; NASCIMENTO JR, D. Reciclagem de excreções animais na pastagem. **Russell The Journal Of The Bertrand Russell Archives**, [s. l.], 2001. Disponível em:
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Reciclagem+de+excreções+animais+na+pastagem#1>.

COSTA, N. R.; CRUSCIOL, C. A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CASTILHOS, A. M.; SOUZA, D. M.; BOSSOLANI, J. W.; ANDREOTTI, M.; MEIRELLES, P. R. L.; MORETTI, L. G.; MARIANO, E. Recovery of ¹⁵N fertilizer in intercropped maize, grass and legume and residual effect in black oat under tropical conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 310, n. 3780, 2021.

DHAKAL, D.; ERWIN, Z. L.; NELSON, K. A. Grazing cover crops in a no-till corn and soybean rotation. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 114, n. 2, p. 1255–1268, 2022.

DIJKSTRA, J.; OENEMA, O.; VAN GROENIGEN, J. W.; SPEK, J. W.; VAN VUUREN, A. M.; BANNINK, A. Diet effects on urine composition of cattle and N₂O emissions. **Animal**, [s. l.], v. 7, p. 292–302, 2013.

DUBEUX, J. C. B.; SOLLENBERGER, L. E.; INTERRANTE, S. M.; VENDRAMINI, J. M. B.; STEWART, R. L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, [s. l.], v. 46, n. 3, p. 1305–1310, 2006.

EPAGRI. Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina. **Florianópolis:Epagri**, [s. l.], p. 20, 2020.

EPAGRI. Epagri acompanha o impacto regionalizado da cigarrinha-do-milho em SC. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em:
<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/02/11/epagri-divulga-o-impacto-regionalizado-da-cigarrinha-do-milho-em-sc/>. .>

EUGÈNE, M.; KLUMPP, K.; SAUVANT, D. Methane mitigating options with forages fed to ruminants. **Grass and Forage Science**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 196–204, 2021.

FERREIRA, A. C. C.; LEITE, L. F. C.; DE ARAÚJO, A. S. F.; EISENHAUER, N. Land-Use Type Effects on Soil Organic Carbon and Microbial Properties in a Semi-arid Region of Northeast Brazil. **Land Degradation and Development**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 171–178, 2014.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A. Does grazing of cover crops impact biologically active soil carbon and nitrogen fractions under inversion or no tillage management?. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s. l.], v. 70, n. 6, p. 365–373, 2015.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUDEMANN, J. A. Soil-profile organic carbon and total nitrogen during 12 years of pasture management in the Southern Piedmont USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 129, n. 1–3, p. 28–36, 2009.

GARCÍA-PRÉCHAC, F.; ERNST, O.; SIRI-PRIETO, G.; TERRA, J. A. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 77, n. 1, p. 1–13, 2004.

GRACE, C.; BOLAND, T. M.; SHERIDAN, H.; BRENNAN, E.; FRITCH, R.; LYNCH, M. B. The effect of grazing versus cutting on dry matter production of multispecies and perennial ryegrass-only swards. **Grass and Forage Science**, [s. l.], v. 74, n. 3, p. 437–449, 2019.

HAYNES, R. J.; WILLIAMS, P. H. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. **Advances in Agronomy**, [s. l.], v. 49, p. 119–199, 1993.

HENDERSON, B. B.; GERBER, P. J.; HILINSKI, T. E.; FALCUCCI, A.; OJIMA, D. S.; SALVATORE, M.; CONANT, R. T. Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 207, p. 91–100, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.029>.

HENTZ, P.; CARVALHO, N. L.; LUZ, L. V.; BARCELLOS, A. L. Ciclagem De Nitrogênio Em Sistemas De Integração Lavoura-Pecuária. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 663–676, 2014.

HERRERO, M.; HENDERSON, B.; HAVLÍK, P.; THORNTON, P. K.; CONANT, R. T.; SMITH, P.; WIRSENIUS, S.; HRISTOV, A. N.; GERBER, P.; GILL, M.; BUTTERBACH-BAHL, K.; VALIN, H.; GARNETT, T.; STEHFEST, E. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 6, n. 5, p. 452–461, 2016.

HOLOHAN, C.; GRACE, C.; BOCK, M.; LYNCH, M. B. An assessment of herbage mass, ryegrass cultivar and red clover inclusion on sward productivity, quality and morphology under a cutting protocol. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 160, n. 1–2, p. 55–65, 2022.

HORN, R.; WAY, T.; ROSTEK, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 73, n. 1–2, p. 101–106, 2003.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL - Normais Climatológicas (1991/2020). [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 9 nov. 2022.

IPCC. **Climate change 2007: the scientific basis**. Cambridge: [s. n.], 2007. 2007.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report; Chapter Observed Changes and their Causes**. [S. l.: s. n.], 2014. 2014.

IPCC. Climate Change and Land. Chapter 5: Food Security. In: [S. l.: s. n.], 2019.

JANSSEN, H. P. Adubação nitrogenada para o rendimento de milho para silagem em suessão ao azevém pastejado, pré-secado e cobertura em sistemas integrados de produção. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná**, [s. l.], 2009.

JENKINS, K. H.; CREECH, C. F.; HERGERT, G. W.; BERGER, A. L. Forage yield and nutritive quality of summer-planted annual forages in semi-arid regions after irrigated wheat or in a dryland cropping rotation. **Applied Animal Science**, [s. l.], v. 35, n. 4, p. 371–378, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15232/aas.2018-01828>.

JING, J.; SØEGAARD, K.; CONG, W. F.; ERIKSEN, J. Species diversity effects on productivity, persistence and quality of multispecies swards in a four-year experiment. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2017.

KONCZ, P.; PINTÉR, K.; BALOGH, J.; PAPP, M.; HIDY, D.; CSINTALAN, Z.; MOLNÁR, E.; SZANISZLÓ, A.; KAMPFL, G.; HORVÁTH, L.; NAGY, Z. Extensive grazing in contrast to mowing is climate-friendly based on the farm-scale greenhouse gas balance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 240, p. 121–134, 2017.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; CARVALHO, P. C. de F.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 190, p. 4–8, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>.

LI, T.; PENG, L.; WANG, H.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; CHENG, Y.; HOU, F. Multi-Cutting Improves Forage Yield and Nutritional Value and Maintains the Soil Nutrient Balance in a Rainfed Agroecosystem. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 13, n. March, 2022.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], n. 1, p. 175–187, 2004.

MCTI. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa - 2a edição. **MCTI. Brasilia 2014**, [s. l.], 2014.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; JUNIOR, E. B.; PETEAN, L. P.; ALVES, S. J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia em atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico, após sete anos sob integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, [s. l.], v. 38, p. 1315–1326, 2014.

MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. **British Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 36, n. 01, p. 1, 1976.

OLIVEIRA, P. P. A. Gases de efeito estufa em sistemas de produção animal brasileiros e a importância do balanço de carbono para a preservação ambiental. **Revista**

Brasileira de Geografia Física, [s. l.], v. 08, p. 623–634, 2015.

OLIVEIRA, P. P. A.; BERNARDI, A. C. C.; ALVES, T. C.; PEDROSO, A. de F. Evolução na recomendação de fertilização de solos sob pastagens: eficiência e sustentabilidade na produção pecuária. In: VALADARES FILHO, S. DEC, O ENCONTRO DO BOI VERDE-AMARELO. [S. l.: s. n.], 2014.

PEDROSO, C. E. D. S.; DE MEDEIROS, R. B.; DA SILVA, M. A.; DA JORNADA, J. B. J.; DE SAIBRO, J. C.; TEIXEIRA, J. R. F. Produção de ovinos em gestação e lactação sob pastejo em diferentes estádios fenológicos de azevém anual. **Revista Brasileira de Zootecnia**, [s. l.], v. 33, p. 1345–1350, 2004.

PETERSON, C. A.; DEISS, L.; GAUDIN, A. C. M. Commercial integrated crop-livestock systems achieve comparable crop yields to specialized production systems: A meta-analysis. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 15, n. 5, p. 1–25, 2020.

POWELL, J. M.; IKPE, F. N.; SOMDA, Z. C.; FERNÁNDEZ-RIVERA, S. Urine effects on soil chemical properties and the impact of urine and dung on pearl millet yield. **Experimental Agriculture**, [s. l.], v. 34, n. 3, p. 259–276, 1998.

RAMALHO, B.; DIECKOW, J.; BARTH, G.; SIMON, P. L.; MANGRICH, A. S.; BREVILIERI, R. C. No-tillage and ryegrass grazing effects on stocks, stratification and lability of carbon and nitrogen in a subtropical Umbric Ferralsol. **European Journal of Soil Science**, [s. l.], v. 71, n. 6, p. 1106–1119, 2020.

RAUBER, L. R.; SEQUINATTO, L.; KAISER, D. R.; BERTOL, I.; BALDISSERA, T. C.; GARAGORRY, F. C.; SBRASSIA, A. F.; PEREIRA, G. E.; PINTO, C. E. Soil physical properties in a natural highland grassland in southern Brazil subjected to a range of grazing heights. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 319, n. November 2020, 2021.

RUMPEL, C.; CRÈME, A.; NGO, P. T.; VELÁSQUEZ, G.; MORA, M. L.; CHABBI, A. The impact of grassland management on biogeochemical cycles involving carbon, nitrogen and phosphorusR. [s. l.], v. 15, n. 2, p. 353–371, 2015.

SAGGAR, S.; LUO, J.; KIM, D.-G.; JHA, N. Intensification in Pastoral Farming: Impacts on Soil Attributes and Gaseous Emissions. [s. l.], p. 207–236, 2011.

SANTOS, J. A. dos; DA FONSECA, A. F.; BARTH, G.; ZARDO FILHO, R. Silage maize quality in different uses of Italian ryegrass and soil management methods after liming. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 64, n. 2, p. 173–184, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1338832>.

SANTOS, N. L.; SILVA, V. C. e; MARTINS, P. E. S.; ALARI, F. de O.; GALZERANO, L.; MICELI, N. G. As interações entre solo, planta e animal no ecossistema pastoril. **Ciência Animal**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 65–76, 2011.

SAS® UNIVERSITY EDITION. Statistical Analyses System. SAS/University Edition, SAS Institute Inc, 2017. [S. l.]: SAS Institute Inc, 2017.

SEEG. Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas De Clima Do Brasil 1970-2019. 8. ed. [S. l.: s. n.] 2020.v. 3. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7%0A><http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.04.020%0A><http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/325723%0A><http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.001%0A><https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific>

SENAPATI, N.; CHABBI, A.; GASTAL, F.; SMITH, P.; MASCHER, N.; LOUBET, B.; CELLIER, P.; NAISSE, C. Net carbon storage measured in a mowed and grazed temperate sown grassland shows potential for carbon sequestration under grazed system Net carbon storage measured in a mowed and grazed temperate sown grassland shows potential for carbon sequestration und. **Carbon Management**, [s. l.], n. December, p. 131–144, 2014.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O. & CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER; E.J. (org.). **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p. 73–99.

SILVA, L. S. da; SOLLENBERGER, L. E.; KIMBERLY MULLENIX, M.; KOHMANN, M. M.; DUBEUX, J. C. B.; SILVEIRA, M. L. Soil carbon and nitrogen stocks in nitrogen-fertilized grass and legume-grass forage systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, [s. l.], v. 122, n. 1, p. 105–117, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10188-9>.

SIMON, L. M.; OBOUR, A. K.; HOLMAN, J. D.; JOHNSON, S. K.; ROOZEBOOM, K. L. Forage productivity and soil properties in dual-purpose cover crop systems. **Agronomy Journal**, [s. l.], v. 113, n. 6, p. 5569–5583, 2021.

SISTI, C. P. J.; HENRIQUE, P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. [s. l.], v. 76, p. 39–58, 2004.

SOEST, P. J. V. A. N.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. **Journal of Dairy Science**, [s. l.], v. 74, n. 10, p. 3583–3597, 1991. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).

SOKOL, N. W.; SANDERMAN, J.; BRADFORD, M. A. Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 12–24, 2019.

SOUSSANA, J. F.; TALLEC, T.; BLANFORT, V. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. **Animal**, [s. l.], p. 334–350, 2010.

TILHOU, N. W.; NAVÉ, R. L. G.; JAGADAMMA, S.; EASH, N.; MULLINIKS, J. T. Forage species and summer management impacts on soil carbon and nitrogen in winter stockpiled grazing systems. **Agrosystems, Geosciences and Environment**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 1–12, 2021.

TRACY, B. F.; DAVIS, A. S. Weed biomass and species composition as affected by an integrated crop-livestock system. **Crop Science**, [s. l.], v. 49, n. 4, p. 1523–1530, 2009.

VAN GROENIGEN, J. W.; KUIKMAN, P. J.; DE GROOT, W. J. M.; VELTHOF, G. L. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 37, n. 3, p. 463–473, 2005.

VARELLA, A. C.; CARASSAI, I. J.; BALDISSERA, T. C.; NABINGER, C.; LUSTOSA, S. B. C.; MORAES, A. Annual ryegrass dry matter yield and nitrogen responses to fertiliser N applications in southern Brazil. **Agronomy New Zealand**, [s. l.], v. 40, n. June 2017, p. 33–42, 2010.

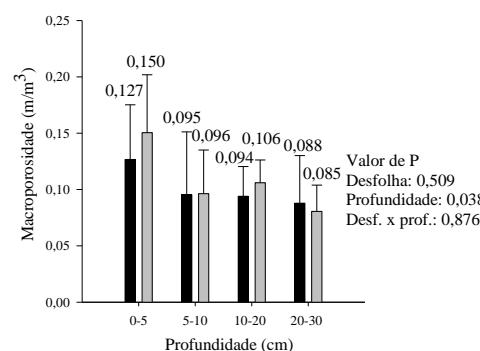
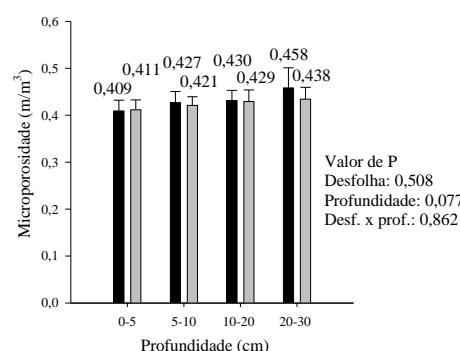
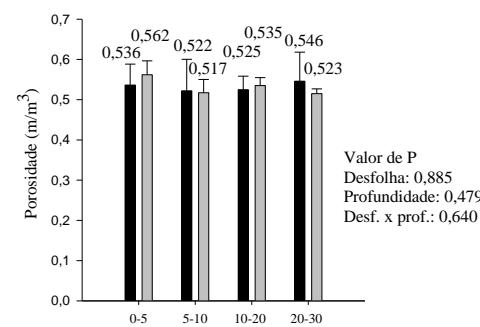
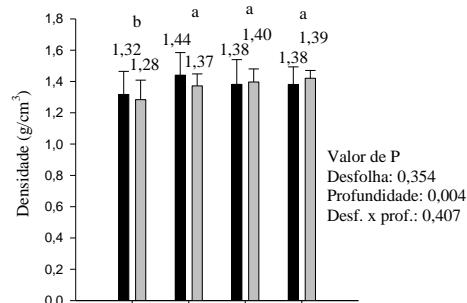
VIZIOLI, B.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V.; BARTH, G. Influência de manejos de azevém sobre as propriedades físicas de um Latossolo Bruno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s. l.], v. 53, n. 8, p. 952–960, 2018.

WHITMORE, A. P.; KIRK, G. J. ; RAWLINS, B. . Technologies for increasing carbon storage in soil to mitigate climate change. **Soil Use and Management**, [s. l.], p. 1–10, 2014.

ANEXOS

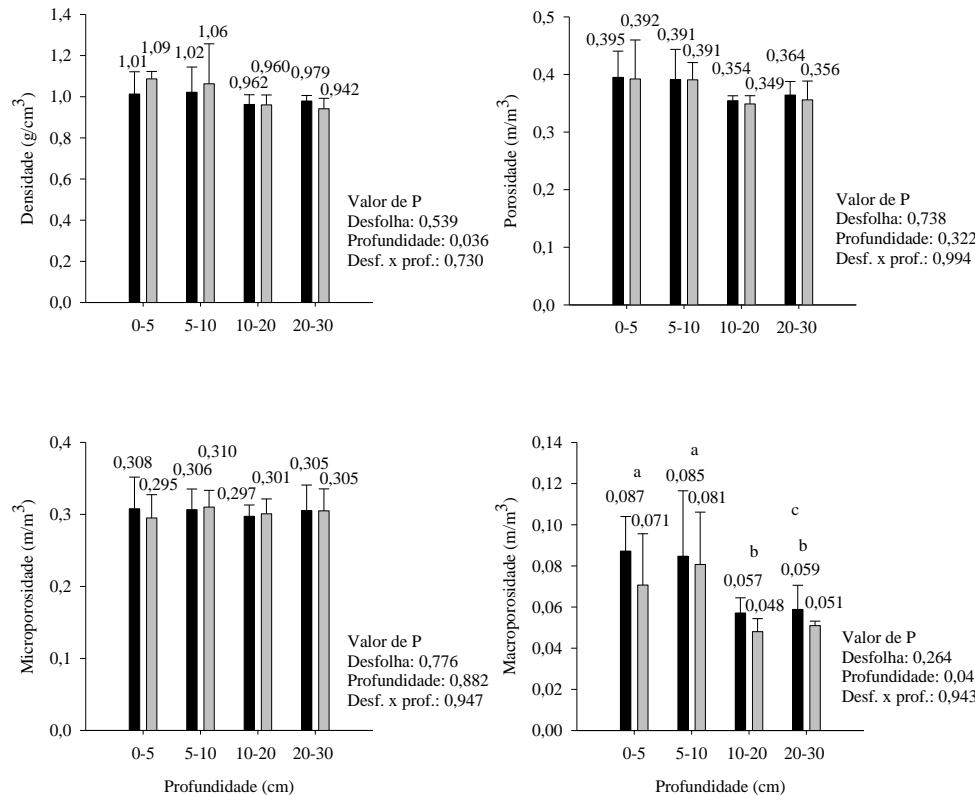
Anexo I. Densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos, (médias do ano de 2021).

■ Sem pastejo ■ Com pastejo.



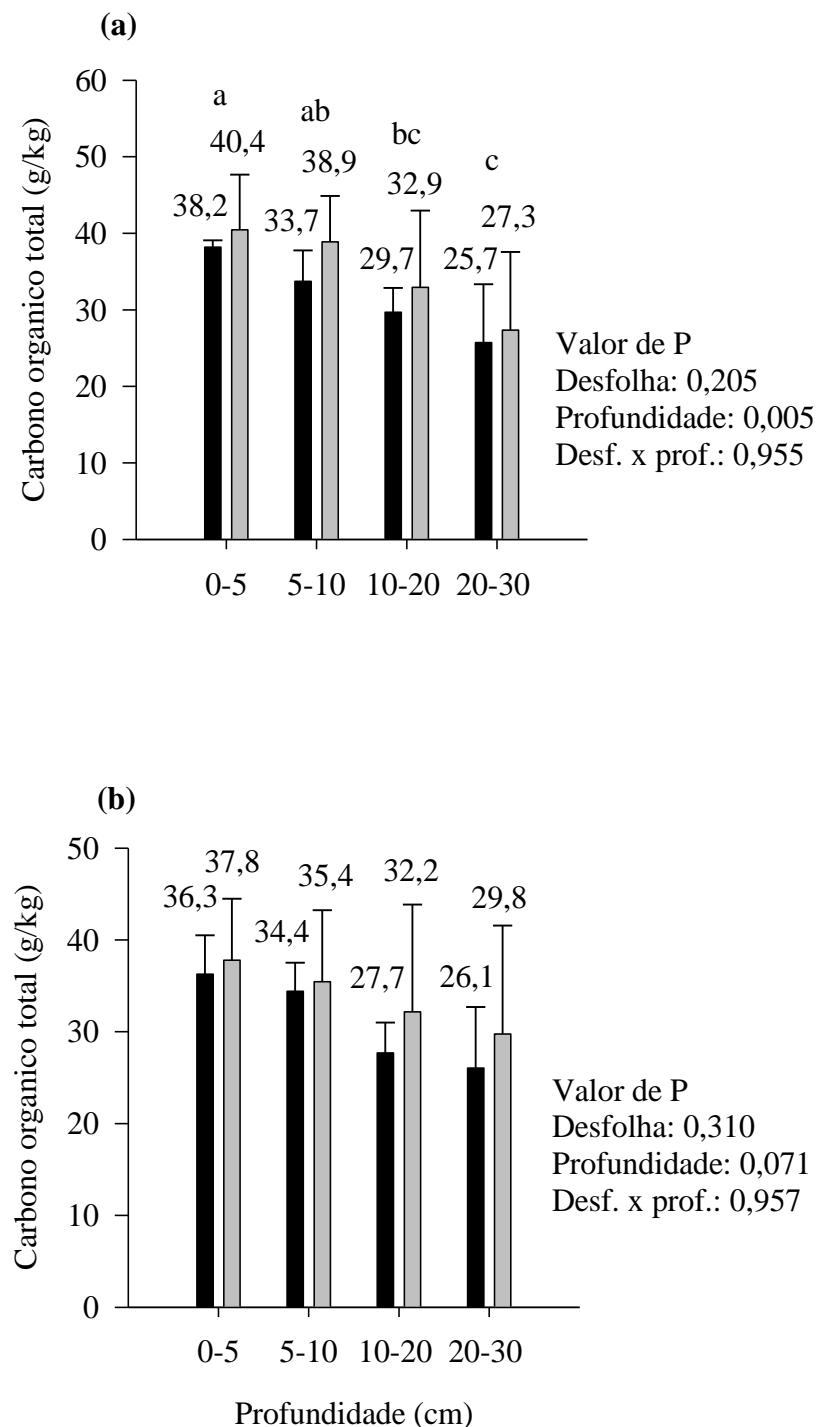
Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Anexo II. Densidade, porosidade, microporosidade e macroporosidade do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos, (médias do ano de 2019). ■ Sem pastejo
■ Com pastejo.



Fonte: elaborado pela autora, 2022.

Anexo III. Teor de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), (a) ano de 2019, (b) ano de 2021. ■ Sem pastejo □ Com pastejo.



Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Anexo IV. Estoque de carbono orgânico total do solo em áreas de pasto anual de inverno (*Lolium multiflorum*) submetidas a pastejo ou corte e sucedidas por cultura de verão (*Zea mays*), manejadas por cinco anos consecutivos (2017 a 2021), médias dos anos de 2019 e 2021.

Profundidade (cm)	Tratamentos		EPM	Valor de P
	Sem pastejo	Com pastejo		
2019				
0-5	19,5	20,1	1,03	0,553
5-10	16,2	18,5	1,62	0,395
10-20	30,6	31,5	5,49	0,923
0-10	35,3	38,7	2,71	0,445
0-20	66,2	70,7	9,25	0,764
2021				
0-5	22,5	23,4	2,02	0,773
5-10	24,4	25,1	1,72	0,781
10-20	37,3	42,9	6,61	0,592
0-10	46,9	48,8	3,71	0,744
0-20	84,2	91,4	10,3	0,659

Fonte: elaborada pela autora, 2022.

Anexo V. Média das propriedades químicas do solo (0-20 cm) dos diferentes tratamentos, com e sem pastejo, nos anos de 2019 e 2021.

	Tratamentos			
	Sem pastejo		Com pastejo	
	Ano 2019	Ano 2021	Ano 2019	Ano 2021
pH	5,65	5,52	5,32	5,38
MO ¹ (%)	2,12	1,78	2,65	2,02
Al (cmolc/dm ³)	0,520	0,283	1,15	0,800
H+Al (cmolc/dm ³)	6,48	6,00	10,1	9,95
Ca (cmolc/dm ³)	5,08	3,31	4,42	2,72
Mg (cmolc/dm ³)	3,32	3,62	2,58	2,47
V ² (%)	59	56	45	38
Argila (%)	40	35	41	38
CTC _{pH7,0} ³ (cmolc/dm ₃)	15,1	13,2	17,4	15,5
P (mg/dm ₃)	13,1	20,0	7,25	16,5
K (mg/dm ₃)	98	118	101	138

¹MO: Matéria Orgânica. ²V: Saturação por bases. ³CTC_{pH7,0}: Capacidade de Troca de Cátons a pH 7,0.

Fonte: elaborada pela autora, 2022.