

**CLEBER RECH**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO NUM NITOSSOLO  
VERMELHO MANEJADO DURANTE SEIS ANOS COM O SISTEMA DE  
INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
Coorientador: Dr. Milton da Veiga

**LAGES, SC  
2017**

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

Rech, Cleber  
ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO NUM  
NITOSOLO VERMELHO MANEJADO DURANTE SEIS ANOS COM O  
SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA / Cleber  
Rech. - Lages , 2017.  
112 p.

Orientador: Jackson Adriano Albuquerque  
Co-orientador: Milton da Veiga  
Tese (Doutorado) - Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Lages, 2017.

1. Bovinos de corte e leite. 2. Compactação do  
solo. 3. Manejo da pastagem. I. Albuquerque,  
Jackson Adriano. II. da Veiga, Milton. , .III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Ciência do Solo. IV. Título.

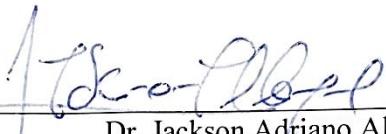
**CLEBER RECH**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E CARBONO ORGÂNICO NUM NITOSOLO VERMELHO  
MANEJADO DURANTE SEIS ANOS COM O SISTEMA DE INTEGRAÇÃO  
LAVOURA-PECUÁRIA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

**Banca examinadora:**

Orientador:



Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro interno:

  
Dra. Letícia Sequinatto

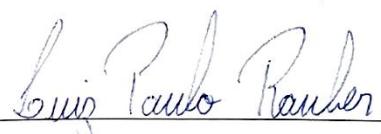
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo:

Dr. Diego Bortolini

IBGE - Agência Lages, SC

Membro externo:



Dr. Luiz Paulo Rauber

UNOESC – Campos Novos, SC

Membro externo:

  
Dr. Alvadi Balbinot Jr.

Embrapa Soja – Londrina, PR

**Lages, SC, 30 de outubro de 2017**



A minha família, em especial a meus pais  
Delvo Rech e Lourdes S. Rech, pelo amor,  
ensinamentos, compreensão e apoio

**DEDICO.**

Aos meus amigos, colegas e professores, que  
ajudaram a construir o conhecimento e a partir  
dele, este documento foi escrito

**OFEREÇO.**



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida, por me dar força para concluir mais esta etapa de minha vida.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES, FAPESC e ao CNPq, pela concessão da bolsa e financiamento dos estudos.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri – Campos Novos, SC) e equipe de funcionários pela concessão da área para a pesquisa.

Ao professor-orientador Dr. Jackson Adriano Albuquerque agradeço muito pelos ensinamentos repassados e pela orientação, apoio, amizade e confiança depositados em mim durante esses quatro anos de parceria e trabalho.

Ao comitê de orientação, Dr. Milton da Veiga e Dr. Álvaro Luiz Mafra, pelo apoio, sabedoria e amizade.

À equipe do Laboratório de Física e Manejo do Solo, fundamental para a realização dos trabalhos de campo e laboratório.

Aos colegas e amigos dos demais laboratórios.

À Carmem Thayse Freitas Alves, por dividir tantos momentos felizes e também de adversidades, pela força, amor, amizade e companheirismo ao longo de tantos anos.

Aos meus colegas da "casa azul", Daniel, Fernando, Anderson, Eduardo e Cheini pelo companheirismo, amizade e compreensão.

Ao amigo, professor, mentor, conselheiro e coorientador, Dr. Milton da Veiga pelos ensinamentos, dedicação, apoio e confiança nesses dez anos de trabalho.

E a todos que de uma forma ou outra auxiliaram a alcançar mais um objetivo.



## RESUMO

O Sistema de Integração Lavoura-Pecuária (SILP) apresenta vantagens quando comparado aos sistemas não integrados de produção, por melhorar as condições do solo, diminuir a erosão, aumentar a atividade biológica e a ciclagem de nutrientes. Além disso, apresenta vantagens econômicas, como a diversificação e aumento da renda por área cultivada. Por outro lado, o SILP pode trazer prejuízos ao solo quando conduzido de forma incorreta. Essa tendência é observada principalmente em lavouras onde se adota o SILP sem critérios técnicos para o manejo da pastagem. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de sistemas de implantação da pastagem de inverno, intensidades de pastejo e fertilização nitrogenada de cobertura nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho conduzido em sistemas de integração lavoura-pecuária. Foram implantados dois experimentos, sendo: Experimento 1: Conduzido de 2008 a 2014 em Campos Novos - SC, num Nitossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa com os tratamentos: a) Forma de implantação da pastagem (parcelas principais): a.1) Semeadura à lanço seguido de gradagem; a.2) Semeadura direta. b) Tempo de diferimento da pastagem (sub-parcelas): b.1) Sem pastejo; b.2) 28 DAD (dias antes da dessecação); b.3) 14 DAD; b.4) Sem diferimento. c) Adubação da pastagem (sub-subparcelas) com cama de aves: c.1) Sem aplicação; c.2) Com aplicação. Experimento 2: Conduzido de 2008 a 2015 na Estação Experimental da Epagri de Campos Novos - SC, num Nitossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa com os tratamentos: a) Forma de implantação da pastagem (parcelas principais): a.1) Semeadura direta; a.2) Semeadura a lanço seguida de gradagem; b) Tempo de retorno dos animais na pastagem (sub-parcelas): b.1) 28 dias; b.2) 14 dias; b.3) 7 dias; b.4) Sem pastejo; c) Fertilização nitrogenada de cobertura da pastagem (sub-sub parcelas), após a retirada dos animais a cada ciclo de pastejo de 28 dias: c.1 Com aplicação; c.2 Sem aplicação. Nos dois experimentos foram coletadas amostras com estrutura preservada com anéis volumétricos e amostras com estrutura alterada na forma de leivas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm para análises da densidade, porosidade, resistência mecânica a penetração, condutividade hidráulica saturada, densidade de partículas, granulometria e estabilidade de agregados. Também foram coletadas amostras compostas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 para análises de pH em água e carbono orgânico total e particulado. Foi medido a resistência mecânica a penetração à campo. Foi implantado no delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas com 4 repetições. Os dados foram analisados separadamente por camada e submetidos a análise da variância (teste F) e quando houve diferença significativa as médias foram comparadas pelo teste Tukey. De maneira geral foram observadas poucas diferenças entre os tratamentos. O sistema de implantação da pastagem e a fertilização nitrogenada de cobertura com ureia ou cama de aves resultaram em poucas diferenças nos atributos testado, porém, o intervalo de pastejo e o diferimento da pastagem em geral aumentaram a porosidade total, macroporos e condutividade hidráulica satura, e diminuíram os microporos e resistência a penetração nos tratamentos sem pastejo ou com menor intensidade de pastejo e/ou maior tempo de diferimento.

**Palavras-chave:** Bovinos de corte e leite. Compactação do solo. Manejo da pastagem.



## ABSTRACT

The crop-livestock integration system (SILP) presents advantages when compared to non-integrated production systems, for improving soil conditions, reducing erosion, increasing biological activity and nutrient cycling. In addition, it presents economic advantages, such as diversification and increase of income per cultivated area. On the other hand, the SILP can cause damage to the ground when driven incorrectly. This tendency is observed mainly in crops where the SILP is adopted without technical criteria for the management of the pasture. The objective of this work was to evaluate the effect of winter grazing systems, grazing intensities and nitrogen fertilization on the physical attributes of Red Nitosol, conducted in systems of crop - livestock integration. Two experiments were carried out: Experiment 1: Conducted in a farmer's property from 2008 to 2014 in Campos Novos - SC, under a clayey textured Red Nitrous Oxide with treatments: a) Method of grazing (main plots): a .1) Seeding to the haul followed by harrowing; a.2) Direct seeding. b) Pasture deferment time (subplots): b.1) No grazing; b.2) 28 DAD (days before desiccation); b.3) 14 DAD; b.4) Without deferment. c) Pasture fertilization (sub-subplots), with 8 m<sup>-3</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> bird bed: c.1) No application; c.2) With application. Experiment 2: The experiment was conducted at the Epagri Experimental Station of Campos Novos - SC, from 2008 to 2015 in a clayey textured Red Nitosol with treatments: a) Method of grazing (main plots): a1) Direct seeding; a2) Seeding to haul followed by harrowing; b) Return time of the animals in the pasture (subplots): b.1) 28 days; b.2) 14 days; b.3) 7 days; b4) No grazing. c) Nitrogen fertilization of pasture cover (sub-sub plots), with 30 kg of N ha<sup>-1</sup> after the animals were removed at each grazing cycle of 28 days: c.1 With application; c.2 No application. In the two experiments samples were collected with preserved structure with volumetric rings and samples with altered structure in the form of leivae in the layers of 0-5; 5-10; 10-15 and 15-20 cm for physical analysis of: density, porosity, mechanical penetration resistance, saturated hydraulic conductivity, particle density, grain size and aggregate stability. Composite samples were also collected at depths from 0-5; 5-10; 10-20 and 20-40 for analysis of pH in water and total and particulate organic carbon. Mechanical penetration of root penetration was also performed in the field. A randomized complete block design with sub-subdivided plots with 4 replicates was considered. The data were analyzed separately for each layer sampled and submitted to analysis of variance (F test) and when there was a significant difference the means were compared by the Tukey test. The results show few significant differences by the applied statistical test. However, the grazing interval and the pasture deferral generally promoted increase in total porosity, macropores and saturated hydraulic conductivity, as well as the increase in total porosity, while micropores and root penetration resistance were reduced in the treatments without grazing or with less grazing intensity and / or longer deferment time.

**Index terms:** Cattle and milk. Soil compaction. Pasture management.



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Relação entre a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e precipitação pluviométrica (mm) média nos meses de pastejo (junho a outubro), nos cinco anos e quatro camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférrico. 49



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Médias dos atributos físicos em sistemas de implantação da pastagem e tempo de retirada dos animais antes da dessecação (DAD) de cinco coletas (média das avaliações de 2008 a 2014) dos efeitos simples dos tratamentos.....	46
Tabela 2 - Relação entre a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e precipitação pluviométrica (mm) média e total nos meses de pastejo (junho a outubro), nos cinco anos e quatro camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférrico.....	48
Tabela 3 - Atributos físicos e químicos do solo em função do sistema de implantação da pastagem em Nitossolo Vermelho distrófico.....	63
Tabela 4 - Efeito do diferimento da pastagem (dias antes da dessecação, DAD) em atributos físicos e químicos do Nitossolo Vermelho distrófico.....	65
Tabela 5 - Fertilização Nitrogenada com a aplicação de cama de aves em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.....	67
Tabela 6 - Tabela de interação entre sistema de implantação da pastagem e diferimento da pastagem (DAD) em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.....	69
Tabela 7 - Tabela de interação entre diferimento da pastagem e fertilização nitrogenada em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.....	70
Tabela 8 - Tabela de interação entre implantação da pastagem e fertilização nitrogenada em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.....	71
Tabela 9 - Sistema de implantação da pastagem nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.....	85
Tabela 10 - Intensidade de pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014. ....	87
Tabela 11 - Fertilização nitrogenada de cobertura nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.....	88
Tabela 12 - Sistema de implantação da pastagem nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.....	89
Tabela 13 - Intensidade de pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.....	91
Tabela 14 - Fertilização nitrogenada de cobertura nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.....	92
Tabela 15 - Medias globais dos atributos físicos do solo após a retirada dos animais da pastagem (2014) e após a colheita da cultura de verão (2015) respectivamente.....	93



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	21
2.1 SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA .....	21
2.1.1 Conceitos e importância.....	21
2.1.2 Atributos químicos e biológicos do solo.....	22
2.1.3 Atributos físicos do solo .....	25
2.1.4 Matéria orgânica.....	28
<b>3 CAPÍTULO I – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM GADO DE CORTE .....</b>	39
3.1 INTRODUÇÃO.....	40
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
3.4 CONCLUSÕES .....	51
<b>4 CAPÍTULO II – CARBONO ORGÂNICO TOTAL, PH E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS SEIS ANOS DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA .....</b>	55
4.1 INTRODUÇÃO.....	56
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
4.4 CONCLUSÕES .....	73
<b>5 CAPÍTULO III - EFEITO DE INTERVALOS ENTRE PASTEJOS DE GADO DE LEITE SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DE NITOSOLO VERMELHO.....</b>	79
5.1 INTRODUÇÃO.....	80
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	82
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	85
5.3.1 Atributos físicos do solo após a retirada dos animais da pastagem .....	85
5.3.2 Atributos físicos do solo após a colheita da cultura de verão (milho).....	88
5.3.3 Relação entre atributos físicos do solo após o pastejo e após a colheita da cultura de verão (milho). ....	92
5.4 CONCLUSÕES .....	94



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Na região sul do Brasil há quantidade expressiva de áreas ociosas (pousio) no período de outono/inverno, resultando em degradação do solo e dos recursos hídricos em áreas mantidas com solo descoberto. Uma alternativa para utilização destas áreas na entressafra é o sistema de integração lavoura-pecuária (SILP).

SILP é o sistema de manejo que alterna, na mesma área, culturas destinadas à produção de grãos, como soja, milho ou feijão, com as destinadas à produção animal (carne e/ou leite), como aveia, azevém e trigo de duplo propósito. Apresenta vantagens quando comparado aos sistemas não integrados de produção, por melhorar as condições de solo, diminuir a erosão, aumentar da atividade biológica e a ciclagem de nutrientes (POWELL & WILLIAMS, 1993). Além disso, apresenta vantagens econômicas, como a diversificação e aumento da renda por área cultivada (FONTANELI et al., 2000).

Porém, se conduzido de forma incorreta, o SILP pode causar problemas especialmente quanto à compactação do solo e, com isso, diminuir a capacidade produtiva, efeito que pode variar entre os solos de cada região. O manejo da pastagem é um dos fatores que definem se o sistema é benéfico ou danoso ao solo e ao sistema de produção.

O uso de sistemas não conservacionistas de manejo do solo, como o preparo convencional, deve ser evitado no SILP. Porém, em algumas regiões, geralmente entre os pequenos produtores, devido ao desconhecimento e/ou falta de recursos para compra de semeadoras de semeadura direta, a semeadura é realizada espalhando-se as sementes a lanço, seguido de gradagem, para a implantação da pastagem no inverno. Este sistema, aliado a alta intensidade de pastejo e solos com restrição nutricional para plantas, pode prejudicar a estrutura do solo.

Estudos foram realizados ao longo do tempo para reduzir as alterações e os impactos causados pelo manejo da pastagem sob pastejo direto. Porém, para definir a melhor forma de condução das atividades é necessário que se leve em consideração o manejo que comumente é utilizado em determinada região, além da intensidade de pastejo no que diz respeito à forma de implantação, fertilização, tipo de solo e a disponibilidade financeira dos agricultores. Nesse sentido, estudos em experimentos de longa duração são necessários para melhor investigar e elucidar os principais problemas e/ou soluções para os diferentes sistemas de manejo e região.

No presente trabalho o manejo do solo sob SILP mais utilizado na região (Campos Novos- SC) se constitui na semeadura da pastagem de inverno a lanço e incorporação das sementes através de gradagem, seguido de pastejo intensivo, geralmente sem fertilização, e na

semeadura direta das culturas de verão. Esse sistema pode resultar em erosão e compactação superficial do solo, além de diminuir o aporte de material orgânico, resultando em degradação das características físicas e químicas do solo e, consequentemente, de seu potencial produtivo. Desta forma, faz-se necessário o estudo de alternativas para semeadura e adubação da pastagem e para manejo dos animais durante o ciclo de pastejo, tanto para definir o período adequado para a retirada dos animais antes da dessecção para o plantio da cultura de verão, como o melhor intervalo entre pastejos sob pastejo rotacionado.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

#### 2.1.1 Conceitos e importância

A integração de lavouras com pastejo animal surgiu na Europa há centenas de anos, principalmente em pomares, e foi trazida ao Brasil em 1930 por imigrantes europeus. A técnica teve boa adaptação às condições edafoclimáticas, principalmente na região Sul do país. Gradativamente, a ocupação de pastagens nativas foi dando lugar para as cultivadas que, mesmo em solos ácidos e com baixa fertilidade, aumentou o rebanho nacional e a produção de leite e carne. De 1970 a 2010 a área total de pastagens teve um crescimento de 12%, ao passo que o rebanho cresceu mais de 115% (ZIMMER et al., 2011).

Atualmente são vários os sistemas de integração adotados em todo o Brasil, dependendo especialmente da exploração econômica das áreas em suas respectivas regiões. Dentre eles, vem ganhando espaço especialmente na região oeste do país nos últimos anos os sistemas agrossilvipastoris, que associam espécies arbóreas como o pinus (*Pinus elliotti*), eucalipto (*Eucalyptus*) e até frutíferas, campos de cultivo com produção de cana-de-açúcar ou grãos dos mais diversos, e animais, geralmente bovinos ou caprinos.

No sul e sudeste há predomínio do sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) com gado de corte ou leite no período invernal (entressafra) associado à produção de soja, milho, feijão e arroz irrigado no estival. Sendo uma atividade importante, há extensas áreas utilizadas para pastejo no inverno, o que se deve em parte ao crescimento espontâneo do azevém nesta estação. Além disso, o rebanho da região é numeroso, principalmente pela questão cultural, favorecido pelo clima e pela disponibilidade de alimentos. Porém, a semeadura de aveia é comum entre os agricultores e pecuaristas para o incremento da qualidade das pastagens e de resíduos vegetais ao solo. Outro ponto importante, e que eleva a quantidade dessas áreas e a utilização do (SILP), é a predominância de pequenas propriedades rurais e agricultura familiar, dessa forma o uso intenso de áreas durante o ano todo é uma das alternativas para tornar possível a sobrevivência dessas famílias na zona rural e incrementar a renda. No entanto, há necessidade de pesquisas que visem avaliar de maneira integrada os efeitos do SILP sobre os fatores que interferem no sistema de produção de agricultores familiares.

Devido à expansão deste sistema de manejo pelo país, várias foram as instituições que investiram na pesquisa voltada a compreender a melhor forma de condução do SILP para tipos de solo, clima, culturas e atividade econômica de cada região. Na região Sul pode-se destacar

trabalhos da UFRGS, UFSM, UDESC, Epagri, UPF, Embrapa, UFTP, UFPR, Iapar, entre outras, onde foram testados vários manejos distintos de pastagem e/ou pastejo, solo, fertilização e rotação de culturas, de forma que a qualificação de todos é complexa, porém não irrelevantes e, dessa forma, muitos dos resultados destes experimentos serão destacados na sequência deste trabalho.

O SILP apresenta potencial elevado de expansão na região sul do país, especialmente devido à grande quantidade de áreas que permanecem em pousio, além do alto custo de produção das culturas de inverno como trigo e cevada. Importante ressaltar também o risco de perda da produção por geadas, chuva em excesso ou doenças fúngicas, além de ser uma alternativa de recuperação de pastagens degradadas e, também, como recuperadora dos estoques de carbono das áreas agrícolas (SALTON et al., 2011). O uso de sistemas integrados tem sido justificado também como forma de diminuir a pressão por desmatamento na Amazônia, pois a pecuária teria sua produtividade aumentada se conduzida em associação com lavouras em solos mais férteis e recuperados, reduzindo a necessidade de migrar para novas áreas. O conceito de integração poderia proteger milhares de hectares de campos e matas naturais da conversão para uso agrícola.

Segundo Moraes et al. (2004), o sucesso de um sistema de integração lavoura-pecuária depende de diversos fatores que, por sua vez, são dinâmicos e interagem entre si. Alguns conceitos básicos devem ser priorizados na adoção do SILP, dentre eles o plantio direto, a rotação de cultivos, o uso de insumos e genótipos melhorados, o manejo correto das pastagens e da produção animal em pastejo, sempre preconizando a manutenção de estruturas de pasto que otimizem a colheita de forragem pelo animal e o mantenham sob lotações que não venham a comprometer o sistema (BALBINOT Jr. et al., 2009).

Em SILPs manejados adequadamente, a renda líquida obtida por área é maior do que a obtida em sistemas que não utilizam à pecuária (FONTANELI et al., 2000). Assim, a rotação lavoura-pecuária aparece como uma estratégia promissora para desenvolver sistemas de produção menos intensivos no uso de insumos e mais sustentáveis no tempo (ASSMANN et al., 2003; RAO et al., 2003).

### **2.1.2 Atributos químicos e biológicos do solo**

Ainda são poucos os estudos de longa duração em SILP no Brasil sobre os efeitos na fertilidade do solo (SANTOS et al., 2003). Os mesmos autores, após oito anos de rotação de culturas no verão e aveia preta submetida ao pastejo no inverno, em Latossolo Vermelho

Distroférrico no RS, verificaram aumento nos teores de carbono orgânico total (COT) de P e K na camada de 0-0,10 m, entretanto os teores de Al trocável também aumentaram e o pH diminuiu.

A diminuição do pH em SILP pode ser associada à dissolução e à nitrificação dos fertilizantes nitrogenados amoniacais ou amídicos (MAP e DAP), que podem ter contribuído para acidificação da camada superficial de solo, principalmente quando se considera longos períodos de cultivo sem aplicação de calcário ou quando elevada quantidade desses fertilizantes forem aplicadas (ERNANI et al., 2001).

Já para os teores de COT, há interferência do sistema de cultivo com maior ou menor revolvimento, além da intensidade de pastejo adotada. Avaliando os estoques de COT, Nicoloso et al. (2008) observaram que, em áreas sob pastejo bovino, as culturas de verão foram responsáveis por mais da metade do aporte de C ao solo. Observaram, ainda, que o aumento da frequência de pastejo reduziu a capacidade do sistema em reter C orgânico no solo. Por outro lado, quando se empregou monocultivo de soja no verão, houve decréscimo no estoque de COT mesmo com baixa intensidade de pastejo. Esse resultado reitera a importância da rotação de culturas no SILP, com inclusão de espécies com alta produção de fitomassa, de maneira a compensar as retiradas resultantes do pastejo animal.

A fitomassa serve de alimento para a biomassa microbiana do solo (BMS), fração viva da matéria orgânica, responsável por processos bioquímicos e biológicos no solo e sensivelmente alterada pelo manejo (BALOTA et al., 1998). A BMS é influenciada pelo clima, aeração, disponibilidade de nutrientes e carbono orgânico do solo (COS). O SILP, quando bem conduzido, aumenta a deposição de resíduos orgânicos no solo, além de introduzir gramíneas de inverno que possuem sistema radicular vigoroso, que resulta em estímulo da biomassa microbiana, acarretando seu aumento populacional e sua atividade (CATTELAN & VIDOR, 1990). Vale ressaltar que, quanto maior a quantidade de raízes, aliado ao corte da parte aérea em função do pastejo dos animais, aumenta a exsudação de compostos orgânicos (TISDALL & OADES, 1982), que possuem grande importância como agentes ligantes das partículas de solo (agregação).

Para que ocorra a formação e estabilização de agregados, os agentes ligantes são indispensáveis e, para tanto, o SILP que aporta quantidade elevada de material orgânico atua positivamente nesse aspecto. Com relação aos agentes ligantes, estes podem ser divididos em três grupos quanto a sua estabilidade no solo: transitórios, temporários e permanentes (TISDALL & OADES, 1982).

Os ligantes transitórios são constituídos por polissacarídeos, resíduos da decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais, além da exsudação radicular. Devido a sua composição, esses agentes ligantes são facilmente decomponíveis pela microbiota do solo, sendo que seu tempo de permanência pode variar de horas a poucos meses, de acordo com a recalcitrância do composto e a proteção contra a degradação, que pode ocorrer pela associação com íons metálicos ou por sorção nas superfícies dos argilominerais, fazendo com que os mesmos se tornem agentes ligantes persistentes (GOLCHIN et al., 1994).

Os ligantes temporários são constituídos por raízes e hifas de fungos. Eles persistem de meses a anos e são afetados pelo manejo do solo. Além de reorientar e unir as partículas de solo, a rizosfera é um importante sítio de produção de mucilagens, agindo como substância cimentante, estabilizadora de macroagregados. No caso das hifas de fungos, além de exercerem ação física na aproximação entre as partículas, são cobertos por polissacarídeos extracelulares e ocupam os poros formados entre os microagregados, estabilizando-os e assim formando os macroagregados (BOENI, 2007).

Os ligantes persistentes são os compostos orgânicos em elevado grau de decomposição, o material orgânico humificado, que interagem com componentes minerais através de pontes de cátions e polímeros fortemente sorvidos, os quais formam complexos organominerais e tem grande importância na formação e na estabilização dos microagregados (JASTROW, 1996).

Boeni (2007) afirma que, devido ao processo dinâmico de agregação, um contínuo suprimento de matéria orgânica particulada (MOP) ou carbono orgânico particulado (COP) é requerido para manter a estrutura do solo estável ao longo do tempo. A estabilização de macroagregados pela MOP é, no entanto, um processo transitório e a manutenção de um dado nível de agregação é dependente da contínua adição de resíduos vegetais ao solo. Quanto maior for a associação entre a MOP e os minerais do solo, maior será a estabilidade dos macroagregados, processo que será dependente do tipo de solo. Esta associação tem grande importância, pois a MOP que auxilia na formação e estabilização dos macroagregados fica protegida no seu interior, impedindo sua decomposição (SIX et al., 2000).

A BMS também é importante pela ação na porosidade do solo pelo aumento na porosidade total, associada à macroporosidade, especialmente em relação aos bioporos. De acordo com Ringrose-Voase (1991), são considerados bioporos aqueles poros oriundos da atividade biológica ou aqueles originados da flora e fauna do solo como, por exemplo, os poros tipo canais e câmaras e, desta forma, o aumento na disponibilidade de material orgânico pelo uso de sistemas de manejos conservacionistas como o plantio direto, tende a elevar a bioporosidade pela ação da meso e macrofauna do solo.

No SILP há adição de resíduos tanto vegetais como animais. Os resíduos vegetais são provenientes da cultura de interesse comercial e da pastagem, cujo maior ou menor aporte depende da intensidade de pastejo adotada. Em menores intensidades de pastejo ocorre também adição significativa de resíduos pela parte aérea das plantas; já na maior intensidade há maior adição de resíduos provenientes dos dejetos animais, alterando, dessa forma, negativamente a labilidade da MO (SOUZA et al., 2006). Com diferentes labilidades da matéria orgânica, a BMS deve se comportar de maneira distinta entre as intensidades de pastejo, pois ela utiliza principalmente essa fração como fonte de C e de energia para sua manutenção, alterando tanto os teores de nutrientes em suas células como sua atividade (SOUZA et al., 2006). Em SILP, Acosta-Martínez et al. (2010) verificaram aumento de aproximadamente 100% da BMS em relação ao monocultivo de algodão.

Importante ressaltar, também, que devido ao sistema radicular da pastagem ser vigoroso, tem capacidade de trazer nutrientes das camadas inferiores para a planta, sendo complementado pela elevação da ciclagem dos nutrientes pelo sistema digestivo dos animais (BALBINOT et al., 2009), e os teores de P e K podem aumentar nas camadas superficiais da mesma forma que os teores de COT em áreas com plantio direto (PD).

### **2.1.3 Atributos físicos do solo**

Os atributos físicos do solo são influenciados por vários fatores, que são interdependentes e complexos. Em SILP, de forma genérica, poderá haver alterações na estrutura do solo (porosidade e agregação) pela ação do pisoteio animal ou pela variação na adição de resíduos e consequente alterações na MO do solo além do crescimento e morte de raízes. Segundo Santos & Camargo (1999), a principal característica física do solo influenciada pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação, indiretamente são influenciados os demais atributos físicos do solo, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e de infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo.

Troleis et al. (2017), testaram a aplicação de doses crescentes de camada de aves em um Latossolo Vermelho de textura média, cultivado com pastagem de *Urochloa brizantha*, em Minas Gerais e não observaram alterações na agregação do solo e quantidade de carbono orgânico total.

A possibilidade de haver compactação superficial do solo devido ao pisoteio de animais no SILP é a principal preocupação dos agricultores que usam esse sistema. Este receio tem fundamentação, visto que alguns estudos relataram que há degradação dos atributos físicos do

solo em propriedades agrícolas, como observado no trabalho de Collares et al. (2011). Os autores avaliaram as condições físicas do solo em diversas propriedades agrícolas da região noroeste do Rio Grande do Sul e constataram degradação dos atributos físicos dos solos sob SILP, que geram prejuízos ao desenvolvimento das plantas em período de deficiência hídrica. Da mesma forma, outros autores verificaram alterações nas propriedades físicas do solo, principalmente quanto ao aumento da densidade do solo e redução da porosidade total.

Trein et al. (1991) observaram que após aplicação de elevada taxa de lotação animal em curto período de tempo, a resistência do solo aumentou e a macroporosidade e a infiltração de água no solo diminuiu na camada de 0-0,075 m de um Argissolo Vermelho cultivado com pastagens de inverno.

Albuquerque et al. (2001) avaliando sistema de cultivo convencional e semeadura direta submetidos a SILP e comparando-os com mata nativa em Nitossolo Vermelho, observaram que em ambos os sistemas de manejo do solo os atributos físicos foram degradados em relação à mata, mas o sistema semeadura direta compactou mais o solo que o preparo convencional. Observaram, também, que em semeadura direta a maior compactação foi observada na superfície e no preparo convencional, na camada de 0,10-0,20 m, ocasionando redução de macroporos e da condutividade hidráulica saturada e aumento na resistência à penetração.

O aumento densidade pode resultar em elevação da agregação do solo, porém esse processo não significa necessariamente melhoria na qualidade física do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990). Outros fatores como o aumento nos teores de nitrogênio e matéria orgânica e formação de sistema radicular vigoroso e profundo, proporcionados pelo SILP, pode aumentar a estabilidade de agregados e, com isso, diminuir a erosão hídrica e aumentar a condutividade hidráulica do solo (BETTERIDGE et al., 1999).

O principal atributo afetado pelo pisoteio animal é a densidade, decorrente da compactação que diminui a porosidade total e a macroporosidade do solo. A compactação altera a estrutura do solo, aumenta a resistência mecânica ao crescimento de raízes e reduz a porosidade total, macroporosidade, disponibilidade de água e nutrientes, difusão de gases (TAYLOR e BRAR, 1991; MATERECHERA et al., 1992) e a infiltração de água e aumenta a resistência do solo (LANZANOVA et al., 2007), o que prejudica o crescimento radicular das plantas (KAISER et al., 2009).

Spera et al. (2009), após dez anos do estabelecimento de sistemas de produção com a integração de culturas produtoras de grãos, pastagens de inverno e forrageiras perenes, observaram que a compactação resultante do pisoteio animal interferiu nos atributos físicos do solo ao elevar a densidade e a microporosidade do solo e diminuir a macroporosidade e a

porosidade total, resultando em camada compactada na fase pastagem, porém, sem causar a degradação do solo.

A possibilidade de o solo sofrer compactação é mais pronunciada quando utilizado o revolvimento do solo, pela destruição da sua estrutura natural, além da degradação do COT. Em sistemas conservacionistas de manejo, com fertilização adequada, a possibilidade da degradação do solo deve ser menor. Testando esta hipótese, Santos et al. (2003) verificaram que a presença de bovinos não interferiu nos atributos físicos do solo, comparativamente às áreas que não apresentaram pisoteio sob pastejo rotativo em plantio direto. Também verificaram que a presença de bovinos no inverno não interferiu nos atributos físicos do solo e na produtividade de culturas de verão. Da mesma forma, Mapfumo et al. (1999) e Veiga et al. (2012) verificaram, em solos argilosos, que o pisoteio não alterou os atributos físicos.

Por outro lado, García-Préchac et al. (2004) verificaram, em SILP sob semeadura direta, melhorias nas condições químicas e físicas do solo com o decorrer do tempo. Ainda, segundo os autores, sistemas conservacionistas como o plantio direto ou pastagens perenes, especialmente quando bem manejadas, têm a capacidade de manter ou até mesmo aumentar o teor de MOS (VOLPE et al., 2008) e a qualidade física do solo (CONTE et al., 2011). Estes autores verificaram que, independentemente da intensidade de pastejo, a agregação e a estabilidade dos agregados é maior nas áreas sob pastejo em Latossolo Vermelho Distroférrico no RS. Barbosa et al. (2015), avaliando a agregação de um Latossolo Vermelho com aplicação de esterco de suínos e cama de aves, observaram aumento nos agregados menores que 0,250 mm entre 30 e 60 dias após a adubação, na camada de 0-10 cm.

A melhoria de alguns atributos físicos do solo, como a estabilidade de agregados, ocasionada pelo SILP pode aumentar a taxa de infiltração de água em relação a solos cultivados sem a presença de animais.

De forma geral, as alterações nos atributos físicos do solo resultantes do pisoteio animal em poucos casos se refletiram negativamente no desempenho produtivo das culturas (ALBUQUERQUE et al., 2001; FLORES et al., 2007; LOPES et al., 2009; VEIGA et al., 2012). Isso pode ser atribuído, principalmente, à pequena magnitude dos impactos sobre a estrutura física do solo, que podem ser revertidos por processos naturais que ocorrem no solo, como a alternância de ciclos de umedecimento e de secagem, o que está relacionado à resiliência do solo. Outro fator que favorece a recomposição de eventuais impactos negativos do pisoteio animal é o fato de esse processo ocorrer na superfície do solo, geralmente na camada de 0-0,10 m (SPERA et al., 2009). Como apontado por Rech (2013), o sistema disco de corte e haste sulcadora das semeadoras de semeadura direta alcançam aproximadamente 0,12 m, portanto,

essa camada compactada é rompida pelas semeadoras de semeadura direta, dispensando o uso de preparo do solo para sua remoção.

A ação de bovinos sobre os atributos físicos do solo depende de uma série de fatores, tais como lotação animal, sistema de pastejo, atributos do solo e condições climáticas, os quais devem ser avaliados.

#### **2.1.4 Matéria orgânica**

Um dos atributos com maior relevância, juntamente com a densidade do solo e a agregação, é a matéria orgânica do solo (MOS), que influencia todos os atributos do solo e se constitui em componente fundamental da sua capacidade produtiva (BAYER & MIELNICZUK, 1997). Segundo Andrade (2013), em solos altamente intemperizados a MOS, juntamente com as argilas e óxidos, melhora a agregação e a estrutura do solo. A adoção do plantio direto melhora tanto quantitativa quanto qualitativamente a MOS.

A MOS é particularmente importante em solos sujeitos à degradação pelo preparo do solo, bem como, para diminuir os efeitos do aumento da resistência mecânica em áreas manejadas sob semeadura direta (MOSADDEGHI et al., 2009)

A MOS é bastante complexa e influenciada pelo manejo do solo, sendo composta basicamente por materiais de origem animal e vegetal em estágios de decomposição variáveis, além de compostos exsudados pelo sistema radicular das plantas e produtos do metabolismo microbiano. Devido a sua complexidade, a matéria orgânica do solo tem sido objeto de muitos estudos para melhor entender seu comportamento em função dos sistemas de manejo adotados.

A MOS está relacionada tanto a física, como a biologia e a química do solo, sendo a principal responsável pela CTC de solos tropicais e subtropicais, além de possuir importância nos solos de clima temperado (TESTA, 1989; BURLE et al., 1997), podendo atuar na diminuição da toxidez de elementos às plantas, dentre eles algumas formas de alumínio solúvel presente nos solos (VANCE et al., 1995), além de ser fonte de energia e nutrientes para a biota (BMS) do solo. O aumento desta BMS favorece o surgimento e ampliação das propriedades emergentes existentes, tais como a agregação, aeração, densidade, infiltração e retenção de água no solo (HAYNES & WILLIAMS, 1999; SILVA & MIELNICZUK, 1997). Assim, o acúmulo de MOS melhora a qualidade do solo (VEZZANI, 2001).

O principal constituinte da MOS é o carbono orgânico (CO) e seu estoque varia em função da sua taxa de perda, principalmente por erosão e oxidação pela BMS, e em função da

sua taxa de adição por resíduos vegetais e/ou animais. Em solos sem ação antrópica, o teor e o estoque de carbono no solo serão afetados pela temperatura, umidade e tipo de solo, pois esses fatores influenciam as taxas de adição e de perda desse componente (BAYER & MIELNICZUK, 1997).

Em sistemas agrícolas, os estoques de carbono orgânico no solo são também influenciados pelo manejo adotado. Em SILP sob plantio direto, ocorre aporte diferenciado de resíduos vegetais em relação aos sistemas de cultivos não integrados de produção de grãos, tanto na superfície quanto em profundidade (SALTON et al., 2002; LOSS et al., 2012). O sistema radicular das gramíneas tem capacidade de extrair nutrientes das camadas mais profundas, onde adiciona matéria orgânica e aumenta a atividade biológica do solo, com benefícios físicos na estrutura dos agregados e na descompactação. Segundo Vilela et al. (2001), o método mais prático de manipular a estrutura do solo é a inclusão de espécies forrageiras no sistema, além de oferecer os benefícios inerentes a rotação de culturas.

Por outro lado, com a utilização do pregar convencional (PC), com revolvimento do solo e eliminação ou incorporação da cobertura da superfície, ocorre o aumento da temperatura e aeração, fatores que resultam em maior atividade biológica e, consequentemente, maior taxa de decomposição de materiais orgânicos. O revolvimento do solo também atua no rompimento de agregados do solo, efeito intensificado quando utilizada a gradagem. A destruição dos agregados expõe a MOS que até então estava sob proteção física, o que estimula a atividade dos microrganismos. Bayer et al. (2000) verificaram que as taxas de decomposição da MOS no pregar convencional em Podzólico Vermelho-Escuro foi quase o dobro da observada no plantio direto.

A estabilização da MOS é definida pela sua constituição química, grau de interação e inacessibilidade conferida pela matriz mineral do solo, cuja quantificação individualizada é muito difícil por ocorrerem de forma simultânea. Jastrow & Miller (1997) apresentam, de forma simplificada, os mecanismos de estabilização da MOS, classificando-os como: a) recalcitrância bioquímica, que depende do próprio composto orgânico, sua composição elementar, grupos funcionais e conformações moleculares, que influenciam sua degradação por microrganismos e enzimas; b) estabilização química, decorrente da associação entre substâncias orgânicas e inorgânicas, havendo relativa proteção quanto à decomposição microbiana pela adsorção de MO à superfície de minerais. É, portanto, função do tipo de solo, mineralogia, área superficial dos minerais (reações de superfície), carga da superfície (teor de óxidos de Fe e Al) e dos minerais de carga permanente, oriundas de substituições isomórficas. Dos diferentes “pools” de MOS, o que contém a MOS associada aos minerais é considerado o mais estável.

Geralmente, a maior parte do C do solo está nestes complexos organominerais, os quais são pouco influenciados pelos sistemas de manejo do solo; c) proteção física, promovida pela oclusão de material orgânico no interior de agregados do solo, dificultando a acessibilidade de microrganismos e enzimas a estes sítios, sendo função do tipo de solo e do manejo adotado. Sistemas agrícolas que favoreçam a formação de agregados pela presença de raízes, resíduos e maior atividade biológica no solo terão maiores quantidades de MOS protegida fisicamente (SALTON, 2005).

A determinação da MOS total em algumas situações pode não ser eficiente na discriminação das alterações de curto prazo, como as do SILP. Neste caso o C na fração particulada, por ser a fração mais sensível às alterações no solo, será o primeiro a indicar as alterações no solo (CONCEIÇÃO et al., 2005, LOSS et al., 2012), sendo mais pronunciadas nas áreas com maiores intensidades de pastejo. A fração lável, denominada carbono orgânico particulado (COP), normalmente tem maior influência sobre a agregação do solo, por se tratar de fontes mais assimiláveis de carbono e de nitrogênio pelos organismos heterotróficos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Segundo Skjemstad et al. (2001), o carbono da fração lável contém elevadas concentrações de carboidratos em sua constituição que, após a biossíntese microbiana, terão os compostos desse metabolismo atuando na estabilização de macroagregados do solo. Baseado nisso, tem-se desenvolvido métodos que sejam capazes de discriminar melhor os compartimentos da MOS visando o entendimento de sua dinâmica no solo. Foram desenvolvidos métodos de análise de MO com base em análises químicas e/ou físicas, sendo atualmente o fracionamento físico o mais indicado para estudos relacionados ao manejo do solo, além de ser mais simples e barato (CHRISTENSEN 1996, 2000)

Partindo dessa premissa, existem dois grupos de métodos de fracionamento físico: a) Método densimétrico, que se baseia na diferença de densidade entre a fração orgânica e a mineral, pois a densidade dos minerais do solo geralmente excede  $2 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto a de compostos orgânicos é inferior a  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$  (GREGORICH & ELLERT, 1993). Durante a humificação, parte da MOS se associa fortemente às partículas minerais do solo, acumulando-se em frações de maior densidade (BARRIOS et al., 1996). A flotação em líquidos com alta gravidade específica permite, portanto, a separação da MOS em frações com densidades menores e maiores que a da solução utilizada. Tais frações são denominadas, respectivamente, leve e pesada (GREGORICH & ELLERT, 1993). b) Método granulométrico, empregado para separação de complexos organominerais (COM) secundários (agregados de diferentes classes de tamanho), por peneiramento seco ou úmido, ou para a separação de COM primários,

definidos em função das classes texturais areia, silte e argila (CHRISTENSEN, 1996, 2000). A separação de COM secundário é classicamente utilizada em estudos de manejo do solo (YODER, 1936; KEMPER, 1965), mas atualmente vem sendo empregada em estudos de dinâmica e composição de diferentes reservatórios da MOS (CMBARDELLA & ELLIOTT, 1992, 1993, 1994; CHRISTENSEN, 1996, 2000; SIX et al., 2000; BAYER et al., 2004; CONCEIÇÃO et al., 2005). A separação em COM-primário, por sua vez, é mais difundida em estudos de MOS, sendo um assunto mais debatido na literatura (CHRISTENSEN, 1992; FELLER & BEARE, 1997).

Franzluebbers & Stuedemann (2002), avaliaram a distribuição da MOS nas frações particulada e não particulada em perfis do solo nos EUA, sendo a particulada maior sob pastagens que sob lavouras em preparo conservacionista, além de maior na área sob pastejo que na área para fenação, demonstrando a importância da pastagem e da presença do animal em aumentar os teores de C no material particulado, especialmente na camada superficial. A fração leve ou particulada da MOS é a mais sensível às práticas de manejo do solo, alterando-se conforme ocorram variações no aporte de material vegetal ao solo e variações nas taxas de decomposição promovidas por práticas de preparo do solo (BAYER et al., 2004).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V. et al. Long-term soil microbial community and enzyme activity responses to an integrated cropping-livestock system in a semi-arid region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.12, p. 231-240, 2010.

ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p. 717-723, 2001.

ANDRADE, A.P. Estoque e frações de carbono e atributos físicos em Nitossolo Vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013. p.89. (Tese Doutorado)

ASSMANN, A.L. et al. Produção de gado de corte e acúmulo de matéria seca em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo branco e nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, p.37-44, 2003.

BALBINOT JR. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v. 39, p.1925-1933, 2009.

BALOTA, E.L. et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 641-649, 1998.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 677-683, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Vícose, v. 21, p. 105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de Implantação e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, p. 599-607, 2000.

BARRIOS, E.; BURESH, R. J.; SPRENT, J. I. Organic matter in soil particle size and de ity fractions from maize and legume cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 28, p. 185-193, 1996.

BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, p.743-760, 1999.

BOENI, M. Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. p. 136. (Tese de Doutorado)

BURLE, M. L.; MIELNICZUK, J.; FOCCHI, S. Effect of cropping systems on soil chemical characteristics, with emphasis on soil acidification. *Plant and Soil*, v.190, p.309-316, 1997.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 58, p. 123-130, 1994.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. *Geoderma*, v. 56, p. 449-457, 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, p. 777-783, 1992.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p. 99-105, 1990.

CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.14, p. 133-142, 1990.

CHRISTENSEN, B. T. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: revision of model structure. In: POWLSON, D. S.; SMITH, P.; SMITH, J. V. (Ed.). *Evaluation of soil organic matter models*. Berlin: Springer-Verlag, (NATO ASI Series, v. I, 38). 1996. p. 143-159.

CHRISTENSEN, B. T. Organic matter in soil: structure, function and turnover. Tjele: DIAS., (DIAS Report. Plant Production, 30). 2000. p.95.

CHRISTENSEN, B. T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Advances in Soil Science*, v. 20, 1992. p. 1-90.

CONCEIÇÃO, P.C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.777-788, 2005.

COLLARES, G. L. et al. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v. 41, p. 246-250, 2011.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1301-1309, 2011.

ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 939-946, 2001.

FELLER, C.; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, v. 79, p. 69-116, 1997.

FLORES, J.P.C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.771-780, 2007.

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p. 2129-2137, 2000.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUDEMANN, J. A.; Particulate and nonparticulate fractions of soil organic carbon under pastures in the Southern Piedmont USA, *Environmental Pollution*, Essex, v. 116, p. 53-62, 2002.

GARCÍA-PRÉCHAC, F. et al. Integrating no-till in to crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research*, v. 77, p.1-13, 2004.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. *Australian Journal of Soil Research*, Collingwood, v. 32, p. 1043-1068, 1994.

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: CARTER, M. R. (Ed.). Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton: Lewis, 1993. p. 397-407.

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

JASTROW, J. D.; BOUTTON, T. W.; MILLER, R. M. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Science Society of America Journal*, v. 60, p. 801-807, 1996.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R. et al. (Eds.) *Soil Processes and the Carbon Cycle*. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 207-223.

KAISER, D. R. et al. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um Latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.845-855, 2009.

KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C. A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling*. American Society of Agronomy, v. 1, 1965. p. 511-519.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1131- 1140, 2007.

LOPES, M.L.T. et al. Sistema de integração lavoura-pecuária: efeito do manejo da altura em pastagem de aveia preta e azevém anual sobre o rendimento da cultura da soja. *Ciência Rural*, v.39, p.1499-1506, 2009.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p. 1269-1276, 2012.

MAPFUMO, E. et al. Soil compaction under grazing of annual and perennial forages. *Canadian Journal of Soil Science*. v.79, p.191-199, 1999.

MATERECHERA, S.A. et al. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. *Plant and Soil*, Dordrecht, v.144, p.297-303, 1992.

MORAES, A. de. et al. Integração agropecuária em sistema de plantio direto. Integração laboura-pecuária no Sul do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NA PALHA, 9., 2004, Chapecó. Resumos. Ponta Grossa: Kugler, 2004. p.19-22.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: UFLA, 2006. 727 p.

MOSADDEGHI, M. R. et al. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. *Soil & Tillage Research*, v.104, p.173-179, 2009.

NICOLOSO, R. da S. et al. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração laboura-pecuária no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 2425-2433, 2008.

POWELL, J.M.; WILLIAMS, T.O. Livestock, nutrient cycling and sustainable agriculture in the West African Sahel. London: International Institute for Environment and Development, p.7, 1993.

RAO, S.C. et al. Potential grain and forage production of early maturing pigeon pea in the Southern Great Plains. *Crop Science*, v.43, p.2212-2217, 2003.

RECH, C. Injeção de dejeto líquido de suínos e atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina. 2013, p. 112. (Dissertação de Mestrado)

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. *Australian Journal of Soil Research*. v.29, 1991. p.777-813.

SALTON, J.C. et al. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *Revista Plantio Direto*, v. 69 p. 32-34, 2002.

SALTON, J.C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração laboura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, p.1349-1356, 2011.

SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação laboura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. (Tese de doutorado)

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.491.

SANTOS, H.P. et al. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.545-552, 2003.

SKJEMSTAD, J. O. et al. Changes in chemical nature of soil organic carbon in Vertisols under wheat in southeastern Queensland. Australian Journal of Soil Research, v. 39, p. 343-359, 2001.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de planta na formação e estabilização de agregados do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p. 113-117, 1997.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. Soil Science Society of America Journal, v. 64, p. 681-689, 2000.

SOUZA, E.D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. Acta Scientiarum Agronomy, v. 28, p. 323-329, 2006.

SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.129-136, 2009.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. Soil & Tillage Research, v.19, p.111-119, 1991.

TESTA, W. M. Características químicas de um Podzólico Vermelho-escuro, nutrição e rendimento de milho afetados por sistemas de culturas. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. (Dissertação Mestrado)

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. Journal of Soil Science, v.33 p.141-163, 1982.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de Implantação do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15 p.105-111, 1991.

TROLEIS, M. J. B. et al. Estabilidade de agregados e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho sob *Urochloa brizantha* após a aplicação de cama de perú. *Revista de Agricultura Neotropical*, v. 4, p.83-87, 2017.

VANCE, G. F.; STEVE ON, F. J.; SIKORA, F. J. Environment chemistry of aluminum-organic complexes. In: SPOSITO, G. (ed.) *The environment chemistry of aluminum*. Boca Raton: Lewis, 1995. p.169-220

VEIGA, M. et al. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 42, p. 444-450, 2012.

VEZZANI, F. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. p.184. (Tese de Doutorado)

VILELA, L., BARCELLOS, A. O., SOUZA, D. M. G. Benefícios da integração entre lavoura e pecuária. Planaltina, DF. Documentos 42. Embrapa Cerrados, 2001. p.21.

VOLPE, E. et al. Renovação de pastagem degradada com calagem, adubação e leguminosa consorciada em Neossolo Quatzarênico. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, p. 131-138, 2008.

YODER, R. E. A direct method of soil aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of American Society of Agriculture*, v. 28, p. 337-351, 1936.

ZIMMER, A. H. et al. Uso da ILP como estratégia na melhoria da produção animal. In: Simpapasto – Simpósio De Produção Animal A Pasto, 2011, Maringá. Anais... Maringá: UEM/Stampa, 2011. p. 39-79.

### 3 CAPÍTULO I – ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA COM GADO DE CORTE

#### RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da forma de implantação e manejo da pastagem em sistema de integração lavoura-pecuária com gado de corte nos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho ao longo de 6 anos. O experimento foi conduzido de 2008 a 2014 em Campos Novos - SC, em Nitossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, cultivado no sistema de semeadura direta para produção de grãos no verão e pastagem com gado de corte no inverno. O experimento foi no modelo bifatorial com delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados no período invernal foram: a) forma de implantação da pastagem (parcela principal) - LG - Semeadura à lanço + gradagem, e SD - Semeadura direta; b) tempo de deferimento da pastagem (sub-parcelas) - SP - sem pastejo, 28DAD – deferido 28 dias antes da dessecação, 14DAD – deferido 14 dias antes da dessecação, e ND - sem deferimento. As coletas foram realizadas nas camadas de 0-5; 5-10; 10-15 e 15-20 cm após a retirada dos animais da pastagem de inverno nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011, e em abril de 2014 após a colheita da cultura de verão. Foi determinado a densidade, porosidade total, macroporos e microporos. Os dados foram submetidos à análise da variância e, quando verificados efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). Na média dos anos não houve diferença significativa para os atributos testados. A resiliência do Nitossolo Vermelho manteve os atributos físicos do solo ao longo do tempo. A pluviosidade média nos meses de pastejo influenciou a transferência de cargas e aumentou a densidade do solo na camada de 0-5 cm no ano de 2010, ano com menor pluviosidade que os demais. Nas outras camadas a redução da pluviosidade diminui a densidade do solo.

**Palavras chave:** Manejo da pastagem. Densidade do solo. Umidade do solo.

### 3.1 INTRODUÇÃO

O sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) pode aumentar a lucratividade da propriedade (FONTANELI et al., 2000; FONTANELI et al., 2006) e tem potencial para favorecer pequenos agricultores rurais pela utilização das áreas de lavoura durante o ano todo. Também tem potencial para gerar emprego e renda e, assim, melhorar as condições sociais do meio rural. Pode, também, recuperar áreas degradadas, conservar recursos hídricos e edáficos, elevar a fixação de carbono e a ciclagem de nutrientes e reduzir a emissão gases de efeito estufa (BALBINO et al., 2011).

Porém, para que o SILP apresente resultados adequados há necessidade de manejo correto dos animais, da pastagem e do solo. Quando está sendo utilizado gado de corte, os animais devem ser retirados com antecedência da pastagem antes da dessecação para a implantação da cultura de verão, para permitir o desenvolvimento da pastagem e aumento da massa seca remanescente, que servirá como cobertura e proteção do solo para a cultura de verão, além de amortizar a pressão exercida pelo rodado dos equipamentos agrícolas (CASSOL, 2003). Collares et al. (2011) avaliaram atributos de um Latossolo Vermelho em diferentes tempos de deferimento e observaram que as glebas que haviam sido pastejadas a menos de 10 dias após a retirada dos animais apresentaram maior densidade em relação às áreas deferidas a mais tempo, 28 e 30 dias respectivamente.

O pastejo rotacionado e a fertilização suplementar também tem papel importante para a manutenção da qualidade da pastagem (BALBINOT Jr. et al., 2009). O solo deve ser mantido em sistema conservacionista, com mínimo revolvimento e aplicações de fertilizante nitrogenado em cobertura para a manutenção da qualidade produtiva nas gramíneas em quantidade e qualidade (CONTE et al., 2008). Entretanto, principalmente para pequenos produtores rurais, essas práticas podem ser de difícil execução, tanto pelos custos como pela baixa praticidade nas operações, o que pode ser agravado pela falta de informação. Muitos agricultores não dispõem de semeadoras de semeadura direta para a implantação da pastagem, fazendo uso da distribuição das sementes a lanço, seguido de revolvimento do solo através de gradagem para cobertura dos grãos. Outro agravante é a escassez de aérea, que força a manutenção do gado na pastagem até o momento da implantação da cultura de verão.

A associação entre semeadura com gradagem, aliado as altas intensidades de pastejo e ausência de deferimento da pastagem podem degradar a estrutura do solo. Uma das principais causas da degradação em áreas pastejadas é a compactação do solo causada pelo pisoteio animal (VEIGA et al., 2012). A compactação do solo aumenta a densidade, reduz a porosidade total e

o volume de macroporos, que são responsáveis pela aeração e infiltração de água, além de aumentar a resistência do solo à penetração das raízes (TREIN et al., 1991; BOENI et al., 2007).

Este trabalho teve com hipóteses: I - Ao longo do tempo, devido a resiliência do Nitossolo Vermelho, ciclos de umedecimento e secagem, ação do sistema radicular das culturas, o SILP mantém os atributos físicos do solo pouco alterados; II – Isoladamente, cada ciclo de pastejo estudado poderá apresentar resultados significativamente diferentes devido, principalmente, a ação do clima sobre os atributos do solo, pois, os tratamentos aplicados foram sempre idênticos.

Com a finalidade de definir o manejo adequado do sistema de integração lavoura-pecuária, este trabalho objetivou avaliar os efeitos da forma de implantação e manejo da pastagem em sistema de integração lavoura-pecuária com gado de corte nos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho de seis anos.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na propriedade de um agricultor, na Linha Guarani em Campos Novos, SC, de março de 2008 a março de 2014. A área com 170 m de comprimento por 50 m de largura situa-se a 987 m de altitude, 27° 27'S de latitude e 51°24'W de longitude e apresenta relevo suave ondulado a ondulado, com declividade média aproximada de 12%.

O solo, desenvolvido a partir de basalto, rocha ígnea extrusiva da Formação Serra Geral, é um Nitossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, com 588 g kg<sup>-1</sup> de argila, 338 g kg<sup>-1</sup> de silte e 74 g kg<sup>-1</sup> de areia, com densidade do solo máxima de 1,37 Mg m<sup>-3</sup> e umidade ótima de compactação de 0,30 g g<sup>-1</sup>. A área do experimento apresentava, por ocasião da implantação dos tratamentos (2008), pH em água de 6,1, 24 mg dm<sup>-3</sup> de P extraível, 223 mg dm<sup>-3</sup> de K trocável, 8,9 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca trocável, 3,3 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg trocável e 38 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (VEIGA et al., 2012).

O clima regional é mesotérmico úmido com verão ameno, do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen (PANDOLFO et al., 2002). Segundo dados da estação meteorológica da Epagri/Ciram – Campos Novos, SC, teve precipitação pluvial média anual (2008 a 2015) de 2.280 mm e a temperatura média anual de 16,7°C (Apêndice M).

O experimento foi instalado em lavoura manejada no sistema de integração lavoura-pecuária por mais de dez anos, sob sistema plantio direto. Nesse período foi utilizado um sistema de rotação de culturas com aveia preta no inverno, sob pastejo extensivo, e soja ou milho no verão para produção de grãos.

Os tratamentos foram aplicados em março de 2008 no modelo bifatorial e delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições e consistiram em: a) forma de implantação da pastagem (parcela principal) - LG - Semeadura à lanço + gradagem, e SD - Semeadura direta; b) tempo de diferimento da pastagem (sub-parcelas) - SP - sem pastejo, 28DAD – diferido 28 dias antes da dessecação, 14DAD – diferido 14 dias antes da dessecação e ND - sem diferimento. A forma de implantação da pastagem foi aplicada em faixas de 10x20 m, transversais ao declive e o tempo de diferimento nas sub-parcelas, no sentido do declive (5x10 m).

As práticas culturais foram efetuadas nas mesmas épocas e com os mesmos equipamentos, produtos e doses utilizados na lavoura pelo agricultor, o qual é orientado pelos agentes de assistência técnica de uma cooperativa da região. O manejo dos animais segue os critérios utilizados pelo agricultor, pastejo extensivo, com entrada dos animais quando a pastagem atinge altura de aproximadamente 20 cm (40-50 dias após semeadura da pastagem),

e permanência dos animais na área durante todo o período até a aplicação dos tratamentos de tempo de dferimento. Permaneceram na área durante o pastejo em média 1,5 animais por hectare. O sistema adotado representa aquele que é utilizado pela maioria dos produtores rurais da região. Os animais tiveram livre acesso aos piquetes durante o período de pastejo, os quais fizeram parte da área total da pastagem até a data de dferimento, quando então foram cercados com cerca eletrificada. Os piquetes sem pastejo foram cercados após a semeadura da pastagem, com cerca fixa.

As análises foram realizadas em amostras coletadas com estrutura preservada e alterada, sendo que as coletas foram realizadas logo após a retirada dos animais da pastagem de 2008 a 2011 e, ao final do experimento, em março de 2014, após a colheita da cultura de verão (soja). Foram abertas trincheiras de 30 x 50 cm e coletadas amostras nas camadas 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro ( $142,4\text{ cm}^3$ ), para determinar: porosidade total, macroporos, microporos e densidade do solo.

A porosidade foi determinada em mesa de areia, utilizando-se a metodologia descrita em Gubiani et al. (2009). As amostras foram inicialmente saturadas por capilaridade, colocadas na mesa de areia na tensão de 6 kPa e posteriormente em estufa a 105 °C até massa constante. Após foi calculada a porosidade total (PT) pela diferença de massa entre o solo saturado e o solo seco em estufa, a macroporosidade (MACRO) pela diferença entre a massa do solo saturado e submetido à tensão de 6 kPa, e a microporosidade (MICRO) pela diferença entre a PT e a MACRO. A densidade do solo foi determinada pela relação entre a massa e o volume de solo (BLAKE & HARTGE, 1986).

Os dados foram submetidos ao teste da normalidade Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variância e, quando necessário, foram transformados para atender a normalidade. Após foi realizada a análise da variância (ANOVA), a 5% de probabilidade, separadamente para cada camada avaliada. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porosidade total (PT) e macroporos (MACRO) não diferiram nas camadas avaliadas. Esses resultados corroboram os relatados por Conte et al. (2011), que avaliaram diferentes intensidade de pastejo por sete anos em Latossolo Vermelho e não observaram alterações nestes atributos.

O sistema de implantação da pastagem por LG aumentou o volume de microporos (MICRO) na camada de 0-5 cm, embora a diferença para o SD fosse de apenas  $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . A gradagem rompe algumas unidades estruturais e, com isso, os agregados são quebrados em unidades menores deixando a matéria orgânica (MO) exposta à ação de microrganismos que promovem sua mineralização. Esses efeitos, seguidos pelo pisoteio que ocorre durante o pastejo bovino, compacta o solo, resultando em aumento no volume de MICRO no tratamento com o uso da gradagem em relação ao SD. Veiga et al. (2012), no mesmo experimento com apenas dois anos de condução, não observaram diferenças significativas para formas de implantação da pastagem, porém verificaram interação entre o fator ano e o diferimento da pastagem.

Vale ressaltar que, independente do manejo da pastagem adotado, o volume de MACRO é superior ao limite definido na literatura como adequado para a funcionalidade do solo. Levando-se em consideração a camada 0-20 cm, que em teoria representaria a mais impactada pelo pastejo, os resultados indicaram  $0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de PT,  $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  macroporos e  $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  de microporos, valores muito próximos aos considerados como “ideais” por Kiehl (1979) para o bom desenvolvimento da maioria das culturas anuais, devendo possuir 50% do seu volume total ocupado por poros.

A densidade do solo (DS) é um dos atributos mais influenciados pelo tipo de manejo adotado, porém não foram observadas diferenças entre as médias nos seis anos de experimento (Tabela 1). Conte et al. (2011) não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos após seis anos de experimento com ILP para a DS, porém verificou que, na camada superficial (0-2,5 cm), a DS do solo foi menor em relação as camadas de 2,5-10 cm. Vale ressaltar que a DS estava menor que a densidade máxima do solo determinada pelo Ensaio de Proctor para este solo, que foi de  $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ , o que comprova a resistência do Nitossolo à compactação. De acordo com Archer & Smith (1972), o limite máximo tolerado da densidade dos solos argilosos é de  $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ , sendo que solos com densidade acima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$  apresentam limitações quanto à permeabilidade e aeração e, consequentemente, confere restrições ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Entretanto, Reinert & Reichert (2001) citam que, para culturas comerciais, o limite está próximo de  $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos argilosos, portanto superior ao

citado por Archer & Smith (1972) e ao determinado no teste de Proctor para este estudo. A densidade máxima determinada pelo Ensaio de Proctor é uma referência mais adequada para o Nitossolo avaliado do que as estimativas sugeridas por Archer e Smith (1972) e Reinert e Reichert (2001).

Tabela 1- Médias dos atributos físicos em sistemas de implantação da pastagem e tempo de retirada dos animais antes da dessecação (DAD) de cinco coletas (média das avaliações de 2008 a 2014) dos efeitos simples dos tratamentos.

	Tratamentos	PT	Atributos		
			MACRO $m^3 m^{-3}$	MICRO	DS $Mg m^{-3}$
0 - 5 cm					
Implantação	SD	0,59	0,12	0,47 b	1,15
	LG	0,60	0,12	0,48 a	1,17
	CV%	1	6	1	2
Diferimento	14	0,60	0,12	0,48	1,16
	28	0,58	0,11	0,47	1,18
	ND	0,59	0,12	0,47	1,16
	SP	0,60	0,12	0,47	1,13
	CV%	2	3	2	2
5 - 10 cm					
Implantação	SD	0,59	0,11	0,48	1,22
	LG	0,59	0,12	0,47	1,21
	CV%	2	2	2	2
Diferimento	14	0,59	0,11	0,48	1,23
	28	0,58	0,12	0,47	1,22
	ND	0,59	0,11	0,47	1,22
	SP	0,59	0,12	0,48	1,20
	CV%	1	6	1	2
10 - 15 cm					
Implantação	SD	0,59	0,12	0,47	1,19
	LG	0,59	0,12	0,47	1,20
	CV%	1	3	2	3
Diferimento	14	0,58	0,12	0,47	1,20
	28	0,59	0,12	0,47	1,20
	ND	0,59	0,12	0,47	1,20
	SP	0,59	0,12	0,47	1,19
	CV%	1	3	1	2
15 - 20 cm					
Implantação	SD	0,59	0,11	0,48	1,17
	LG	0,59	0,12	0,48	1,17
	CV%	1	2	1	2
Diferimento	14	0,59	0,12	0,47	1,17
	28	0,59	0,11	0,48	1,17
	ND	0,59	0,11	0,48	1,17
	SP	0,59	0,11	0,48	1,16
	CV%	1	3	2	1

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). SP: sem pastejo (testemunha); 28 e 14: tempo de retirada dos animais antes da dessecação da pastagem; ND: pastejo contínuo. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta.; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo.

Uma análise complementar foi realizada para comparar as médias de DS entre os anos do experimento (Tabela 2 e Figura 2). Houve diferença significativa da DS ao longo dos anos, para as quatro camadas avaliadas. Observou-se que a umidade do solo, decorrente dos índices pluviométricos no experimento, interfere na transferência de cargas entre as camadas do solo. O ano de 2010 teve menor média de precipitação nos meses de pastejo, comparado com os demais anos. Esta diferença pode concentrar as cargas aplicadas pelo pisoteio animal na camada superficial (0-5 cm) aumentando a densidade. Por outro lado, nos anos de maior precipitação (2009 e 2011) a DS foi menor nessa mesma camada, não diferindo dos anos de 2008 e 2014 que tiveram médias intermediária de chuva. Na camada de 5-10 cm o ano de 2010 apresentou a menor DS, o que se deve à concentração da carga na primeira camada, não transferindo para as camadas subsequentes.

A compactação do solo em profundidade é determinada pela área superficial na qual a pressão é aplicada, sua intensidade e número de vezes que as cargas superficiais são aplicadas. Também é influenciada pela resistência do solo e pela existência de fatores adicionais que, ou afetam as cargas aplicadas ou a resistência do solo (NOVAK et al., 1992). Porém, para que ocorra a compactação do solo há necessidade de água recobrindo a superfície das partículas e atuando com um lubrificante, deixando a consistência do solo na faixa de plasticidade.

No sul do Brasil, as áreas com SILP recebem o pastejo animal geralmente no período de inverno, que coincide com a época do ano em que o solo permanece com maior umidade devido à baixa evapotranspiração e chuvas constantes, o que pode favorecer o processo de compactação (BASSANI, 1996; MELLO, 2002; LIMA et al., 2004), prejudicando o crescimento radicular e a produtividade das plantas.

O aumento da DS pela compactação pode apresentar efeitos benéficos ou adversos. Os efeitos benéficos são atribuídos à melhoria do contato solo-semente e ao aumento da disponibilidade de água em anos secos. Entretanto, a compactação excessiva pode limitar a absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, trocas gasosas e desenvolvimento do sistema radicular, resultando em decréscimo da produção, aumento da erosão e da potência necessária para o preparo do solo (MEDEIROS et al., 2005).

O solo na presença de água se comporta como um líquido, quando perde parte de sua água, torna-se plástico e, quando seco, torna-se quebradiço. Esses fatos são constatados pela prática de preparo do solo, quando se classifica o solo como fácil de trabalhar, quando úmido, e duro e impraticável para as operações mecanizadas, quando seco. Segundo Caputo (1996), o comportamento plástico dos materiais fundamenta-se nas características tensão-deformação.

Na prática, os materiais apresentam uma fase elástica até uma pressão limitante e outra fase plástica a partir desse limite. Assim, um solo seco ou muito úmido terá comportamento elástico, recuperando a sua forma original quando cessa o esforço de compressão, enquanto que um solo úmido terá comportamento plástico deformando-se dependendo da tensão aplicada (BAVER et al., 1972).

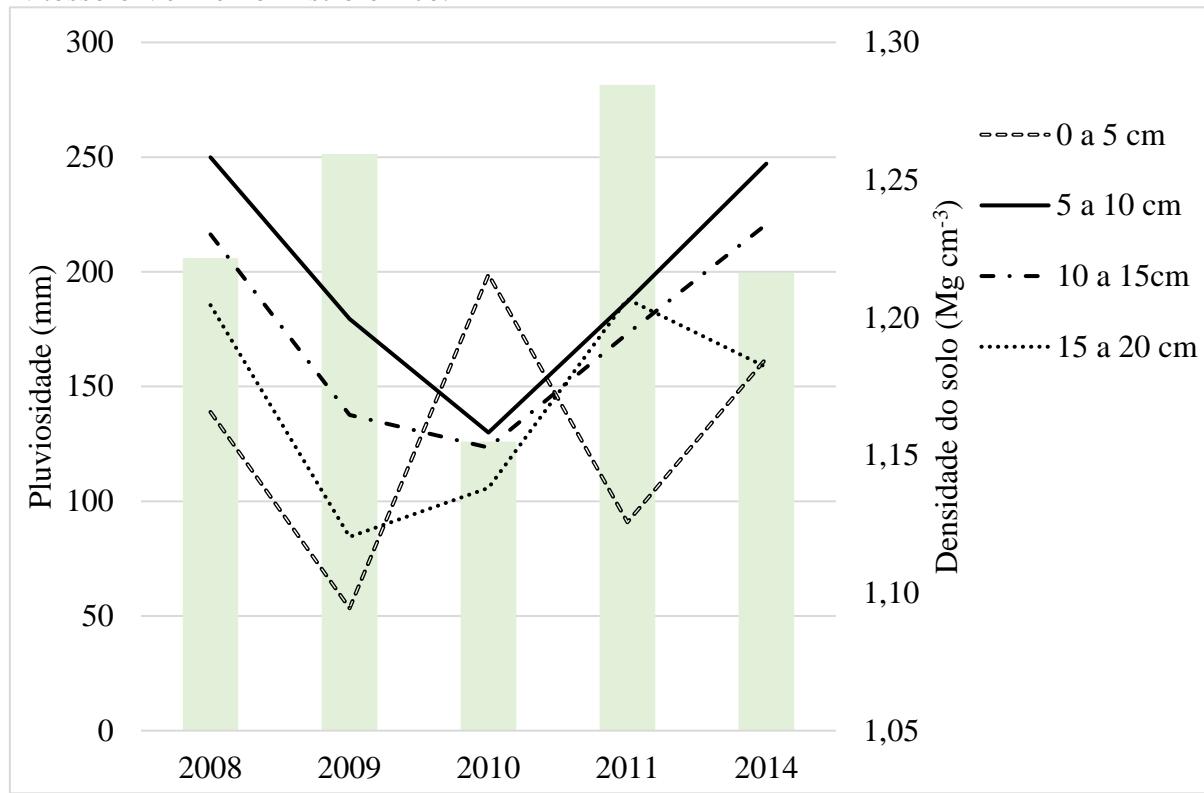
Esses efeitos refletem a importância da retirada dos animais da pastagem quando o solo está úmido com o objetivo de evitar a compactação do solo. Assim, neste experimento o efeito do clima pode ser mais influente na DS que os tratamentos aplicados. Vale ressaltar que, em geral, os elementos sulcadores das semeadoras de semeadura direta conseguem romper camadas compactadas até aproximadamente 10 cm de profundidade. Assim, apesar do aumento na densidade do solo na camada 0-5 cm no ano de 2010, este não deve interferir na penetração das raízes das culturas subsequentes. Outro fator relevante é que, para cada semeadura da cultura da soja (largura de revolvimento por linha de 8 cm e espaçamento de 50 cm), 16% da área total é mobilizada. Em aproximadamente seis cultivos de soja toda a área pode ser revolvida na hipótese de que a cada safra a semeadura ocorra em linhas diferentes do solo. Além disso, a semeadura das culturas de inverno também mobiliza o solo na camada superficial.

Tabela 2 - Relação entre a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e precipitação pluviométrica (mm) média e total nos meses de pastejo (junho a outubro), nos cinco anos e quatro camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférrico.

Camada*	Ano				
	2008	2009	2010	2011	2014
	Densidade do Solo				
0-5 cm	1,17 ab	1,09 c	1,22 a	1,13 bc	1,19 ab
5-10 cm	1,26 a	1,20 bc	1,16 c	1,21 b	1,26 a
10-15 cm	1,23 a	1,16 b	1,15 b	1,19 ab	1,23 a
15-20 cm	1,20 a	1,12c	1,14 bc	1,20 a	1,18ab
Pluviosidade (media)	206	251	126	282	200
Pluviosidade (soma)	1030	1257	630	1408	998

\* Letras minúsculas comparam anos.

Figura 1 - Relação entre a densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ ) e precipitação pluviométrica (mm) média nos meses de pastejo (junho a outubro), nos cinco anos e quatro camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférreico.



Para melhor elucidar os efeitos dos tratamentos sobre os atributos do solo testados, foram avaliadas as interações entre as formas de implantação da pastagem e o tempo de retirada dos animais para cada ano e camada separadamente (Apêndice A, Apêndice B e Apêndice C). Essa análise de dados não apresentou interações significativas para os tratamentos testados e os resultados mostram efeitos pouco claros nos atributos, os quais podem ter a influência da variabilidade espacial do solo.

No ano de 2009 houve redução no volume de macroporos no tratamento sem diferimento da pastagem (ND) em relação a tratamento sem pastejo (SP) na camada 0-5 cm. Na mesma camada os microporos tiveram o comportamento inverso. Resultados semelhantes foram encontrado por Spera et al. (2009) após dez anos com SILP em pastagem de forrageiras perenes no inverno. Os autores observaram que a compactação resultante do pisoteio animal interferiu nos atributos físicos do solo ao elevar a MICRO e diminuir a MACRO na pastagem, porém sem atingir níveis capazes de causar a degradação do solo.

Para o ano de 2011 a implantação da pastagem com gradagem elevou a DS na camada de 5-10 cm e o ND aumentou a DS em relação ao SP e a 28 DAD. Resultados divergentes foram

encontrados por Carrasai et al. (2012), os quais não relataram efeito prejudicial do pisoteio de ovinos durante o ciclo de pastejo de azevém e sobre a DS em um Argissolo.

Dessa forma, o sistema de implantação da pastagem pouco modificou os atributos físicos avaliados, tendo apresentado apenas aumento na DS no ano de 2011 para o sistema LG. Vale destacar que o ano 2011 foi o que apresentou maior índice pluviométrico nos meses de pastejo de todo o período avaliado. Para todos os demais anos (2008, 2009, 2010 e 2014), apesar da expectativa, os tratamentos não alteraram os atributos testados.

O tempo de diferimento da pastagem reduziu a DS na camada 15-20 cm no tratamento SP quando comparado com tratamentos pastejados nos anos de 2011 e 2009. Esses resultados divergem dos encontrados por Lanzanova et al. (2007), que observaram aumento da DS na camada de 0-5 cm nos tratamentos pastejados em ralação ao tratamento sem pastejo em um Argissolo Amarelo. Os mesmos autores verificaram que a intensificação do pastejo na área reduziu a MACRO na camada superficial do solo, efeito semelhante ao observado no presente estudo para o ano de 2009, onde o SP apresentou  $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e ND apresentou  $0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para MACRO.

O coeficiente de variação observado na maioria das análises é baixo e, portanto, pequenas diferenças entre as médias apresentam diferenças estatísticas.

### 3.4 CONCLUSÕES

O Nitossolo Vermelho apresenta grande capacidade de suportar o pisoteio animal e as cargas das máquinas agrícolas, o que indica alta resiliência e, assim, mantém em níveis adequados os atributos físicos do solo.

O clima pode ter influenciado os atributos físicos testados, principalmente pela relação da precipitação com a umidade do solo, alterando a densidade do solo pelas modificações na transferência das cargas exercidas ao longo das camadas em que 2010, ano com menor pluviosidade nos meses de pastejo, a maior densidade ocorreu na camada de 0-5 cm.

Em geral, nas áreas sem diferimento a densidade é maior quando comparada a áreas não pastejadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHER, J.R.; SMITH P.D. The relation between bulk density available water capacity, and air capacity of soils. *Journal of Soil Science*, v.23, p.475-480, 1972.

BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). Brasília: Embrapa, 2011. p. 130.

BALBINOT JR., A.A. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural*, v. 39, p.1925-1933, 2009.

BARBOSA, G. M. D.C. et al. Aggregation and clay dispersion of an oxisol treated with swine and poultry manures. *Soil and Tillage Research*, v.146, p. 279-285, 2015.

BAVER, L. D., GARDNER, W. H., GARDNER, W. R. *Soil physics*. 4 ed. New York: Wiley. 1972.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). *Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BOENI, M. Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. p.136. (Tese de Doutorado)

BASSANI, H. J. Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1996. p. 90. (Dissertação de Mestrado)

CAPUTO, H. P. *Mecânica dos Solos e suas aplicações. Fundamentos*. 6 ed. v. 1, Rio de Janeiro, LCT, 1996. p. 234.

CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. p. 157. (Tese de Doutorado)

CARASSAI, I. J. et al. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. *Pesquisa agropecuária brasileira*. p. 1284-1290, 2012.

COLLARES, G. L. et al. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v. 41, p. 246-250, 2011.

CONTE, O. et al. Resistência mecânica do solo e força de tração em hastes sulcadoras de semeadoras-adubadoras em sistema de integração lavoura-pecuária. Engenharia Agrícola, v.28, p.730-739, 2008.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 10, p.1301-1309, 2011.

EMBRAPA SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. p.306.

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, p. 2129-2137, 2000.

FONTANELI, R.S. et al. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos com pastagens, sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.36, p.51-57, 2006.

GUBIANI, P. I. et al. Tensão e extração de água em mesa de tensão e coluna de areia, em dois solos com elevada densidade. Ciência Rural, v. 39, p. 2335-2338, 2009.

KIEHL, E. J. Manual de Edafologia: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. p. 262.

LANZANOVA, M. E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1131- 1140, 2007.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. Revista Brasileira de Ciência do solo, v.28, p. 945-951, 2004.

NOVAK, L.R. et al. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, em dois níveis de umidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, p.1587-1595, 1992.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Efeitos da compactação do solo e do manejo da água sobre os componentes de produção e a produtividade de grãos de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 29, p. 960-967, 2005.

MELLO, A. N. Degradação física dos solos sob integração agricultura-pecuária. In: *ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO AGRICULTURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL*, 1, 2002, Pato Branco. Anais... Pato Branco - PR: CEFET: PR, 2002. p. 43-60.

PANDOLFO, C. et al. Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2001. p.114-131.

SPERA, S.T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.129-136, 2009.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de Implantação do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p. 105-111, 1991.

VEIGA, M. et al. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo da pastagem anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, v. 42, p. 444-450, 2012.

## 4 CAPÍTULO II – CARBONO ORGÂNICO TOTAL, PH E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO APÓS SEIS ANOS DE SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA

### RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar os impactos de sistemas de manejo da pastagem em sistemas de integração lavoura-pecuária com gado de corte nos atributos físicos e químicos de um Nitossolo Vermelho após seis anos de sua utilização. O experimento foi conduzido de 2008 a 2014 em Campos Novos - SC, em Nitossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, cultivado no sistema de semeadura direta para produção de grãos no verão e pastagem com gado de corte no inverno. O experimento foi implantado no modelo trifatorial em delineamento blocos ao acaso com parcelas sub subdivididas e quatro repetições. Os tratamentos aplicados no período invernal foram: a) formas de implantação da pastagem, nas parcelas principais (semeadura à lanço + gradagem e semeadura direta); b) tempo de diferimento da pastagem, nas sub-parcelas (sem pastejo e com retirada dos animais aos 28 e 14 dias antes da dessecção e sem diferimento; e c) adubação da pastagem, nas sub-subparcelas (sem e com aplicação de 8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de cama de aviário). Em abril de 2014, após a colheita da cultura de verão, foram coletadas amostras nas camadas de 0–5, 5–10, 10–15 e 15–20 cm para determinar a densidade, resistência a penetração, condutividade hidráulica saturada, estabilidade de agregados, pH em água e carbono orgânico. Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p<0,05$ ). Foi observado o efeito do tempo de diferimento da pastagem e aplicação de cama de aves, principalmente na camada de 0–5 cm. Ocorreu aumento na densidade do solo no tratamento sem diferimento. A aplicação de cama de aves aumentou o pH do solo e diminuição da densidade do solo na camada 0-5 cm. A resiliência do Nitossolo Vermelho manteve em níveis adequados os atributos físicos do solo.

**Palavras chave:** Manejo da pastagem. Cama de aves. Gado de corte.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

O sistema de integração lavoura pecuária (SILP) é muito utilizado, principalmente na região sul do Brasil, e é crescente o interesse de pesquisadores nos últimos anos por proporcionarem maior estabilidade e sustentabilidade à produção agropecuária em relação aos modelos de produção mais especializado (monocultivo) com cultivo de soja, milho e/ou feijão (MARTINS et al., 2015). Um dos indicadores desta estabilidade e sustentabilidade do SILP é o teor de carbono orgânico do solo (SOUZA et al., 2008). Ainda, segundo Anghinoni et al. (2013), o SILP altera a direção, magnitude e composição do fluxo de nutrientes, bem como o funcionamento do sistema, de forma a aumentar a ciclagem de nutrientes e beneficiar as culturas subsequentes e ao ambiente (ASSMANN et al., 2010).

Para a região sul do Brasil o SILP pressupõe a utilização de lavouras de soja, milho e feijão (ou outra cultura) para a produção de grãos no verão e principalmente de gramíneas, como aveia e/ou azevém, para alimentação de gado de corte ou leite com pastejo direto no inverno. Além do fator ecológico, se destaca por propiciar aumento na produtividade e lucratividade por unidade de área (FONTANELI et al., 2000; FONTANELI et al., 2006). Apesar dos potenciais benefícios, a adoção do SILP deve ser passível de ajustes para que se obtenham rendimentos adequados com a pecuária sem prejudicar as culturas de grãos cultivadas em sucessão (NICOLOSO, 2005).

É recomendável que o SILP seja conduzido em sistema conservacionista de uso do solo, como o plantio direto, com baixo revolvimento do solo, rotação de culturas, além de grande aporte de resíduos vegetais para se manter produtivo em longo prazo (CASSOL, 2003). Contudo, boa parte dos pequenos produtores rurais não possuem semeadoras de semeadura direta para implantação da pastagem de inverno, fazendo uso do sistema de semeadura a lanço seguido de gradagem para incorporação das sementes. A gradagem fragmenta os agregados do solo, expõem a MOS que estava sob proteção física à ação de microrganismos, acelerando sua mineralização.

Além da redução da MOS pela destruição dos agregados do solo, em sistemas de pastejo intenso a adição de MO pode ficar comprometida, uma vez que o pastejo pode limitar a quantidade de biomassa adicionada e limitar a cobertura de solo para a semeadura das culturas de verão (BALBINOT Jr. et al., 2009; FERREIRA, 2009). A associação entre semeadura com gradagem e altas intensidades de pastejo podem degradar a estrutura do solo com maior severidade.

Uma das principais causas da degradação em áreas pastejadas é a compactação do solo causada pelo pisoteio animal, efeito que pode ser intensificado pelo uso de sistemas não conservacionistas. A compactação do solo reduz a aeração, a infiltração de água e aumenta a densidade e a resistência do solo à penetração das raízes (TREIN et al., 1991; BOENI, 2007). Esses processos também têm relação com a disponibilidade de oxigênio, água e nutrientes, pois a mobilidade destes depende dos fluxos ocorridos no espaço poroso (HILLEL, 1980). A restrição ao crescimento das raízes reduz também a interceptação radicular, processo dependente da distribuição e densidade das raízes (MENGEL & BARBER, 1974), o que prejudica a absorção de nutrientes, principalmente os que a planta demanda em maior quantidade (macronutrientes), entre eles o nitrogênio.

Uma alternativa para a manutenção de áreas cultivadas com pastagem implantadas com gradagem é a retirada dos animais algum tempo antes da dessecação, associada à fertilização da pastagem, principalmente com nitrogênio, para favorecer o desenvolvimento vegetativo da pastagem para que o sistema radicular consiga romper possíveis camadas compactadas e produzir fitomassa (BRAIDA et al., 2006). Segundo MORAES & LUSTOSA (1997), para que o sistema radicular das culturas possa descompactar o solo, além da fertilização nitrogenada é necessário que a pastagem seja submetida a um “período de descanso”, sem pastejo, para acumular fitomassa aérea de modo a permitir um melhor suporte ao sistema radicular. Práticas que favorecem o crescimento de raízes das pastagens e amenizam os danos mecânicos do pisoteio (ABREU et al., 2004).

A manutenção de uma camada de resíduos vegetais na superfície do solo permite um enriquecimento de material orgânico em sua camada superficial, além de servir de “amortecedor” para o trânsito de máquinas. Segundo Arvidsson (1998) o acúmulo de matéria orgânica geralmente está associado a melhores condições físicas do solo, especialmente pelos benefícios que a MO pode trazer à sua estrutura (BAUMGARTL & HORN, 1991). O acúmulo de MO depende das práticas de manejo adotadas ao longo do tempo por ocorrer de forma lenta. Assim, estudos para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica no solo serão relevantes quando considerado o tempo (SOUZA et al., 2008).

Na região Sul é comum fertilizar a cultura de verão e aproveitar o efeito residual para a pastagem no inverno. O crescimento da aveia preta e do azevém, por serem gramíneas e demandarem alta quantidade de nitrogênio, podem ser prejudicadas quando houver restrição a este elemento no solo (CASSOL et al., 2011), por isso é necessário o manejo adequado deste e outros nutrientes (ASSMANN et al., 2010) também durante o ciclo da pastagem. A fertilização

com nitrogênio aumenta o perfilhamento e crescimento de raízes em gramíneas, conforme descrito por Fagundes et al. (2006), o que favorece a agregação e a estrutura do solo.

Este trabalho teve como hipóteses: O efeito do sistema de implantação da pastagem com gradagem e a ausência de dferimento pode compactar a camada superficial do solo, porém, pela maior produção de fitomassa e desenvolvimento radicular vigoroso, os tratamentos com aplicação de cama de aves podem ser menos impactados pelo efeito do pisoteio animal.

Com a finalidade de definir o manejo adequado do SILP, este trabalho objetiva avaliar os impactos de sistemas de manejo de pastagens em sistemas de integração lavoura-pecuária com gado de corte nos atributos físicos e químicos do Nitossolo Vermelho após seis anos de sua utilização.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na propriedade de um agricultor na Linha Guarani, em Campos Novos, SC, no período de março de 2008 a março de 2014. A área, com 170 m de comprimento por 50 m de largura, situa-se a 987 m de altitude, 27° 27'S de latitude e 51°24'W de longitude e apresenta relevo suave ondulado a ondulado, com declividade média de 12%. O solo desenvolvido a partir de basalto é um Nitossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006) de textura argilosa, com 588 g kg<sup>-1</sup> de argila, 338 g kg<sup>-1</sup> de silte e 74 g kg<sup>-1</sup> de areia, formado a partir de rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral. Possui densidade do solo máxima de 1,37 Mg m<sup>-3</sup> e umidade ótima de compactação de 0,30 g g<sup>-1</sup> na camada de 0-20 cm.

A área do experimento apresentava, por ocasião da implantação dos tratamentos, na camada 0 a 20 cm, 6,1 de pH em água, 24 mg dm<sup>-3</sup> de P extraível, 223 mg dm<sup>-3</sup> de K trocável, 8,9 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca trocável, 3,3 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg trocável e 38 g kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica (VEIGA et al., 2012).

O clima é mesotérmico úmido com verão ameno, do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen (PANDOLFO et al., 2002). Segundo dados da estação meteorológica (Apêndice M) da Epagri/Ciram – Campos Novos, SC, possui precipitação pluvial média anual (2008 a 2015) de 2.280 mm e temperatura média anual de 16,7°C.

O experimento foi instalado em lavoura manejada no SILP por mais de dez anos, manejado sob sistema plantio direto. Nesse período foi utilizado um sistema de rotação de culturas com aveia preta e azevém no inverno, sob pastejo continuo, e soja ou milho para produção de grãos no verão.

O experimento foi implantado em março de 2008 no modelo trifatorial no delineamento em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições foram (Apêndice L):

- a) Forma de implantação da pastagem: a.1) Semeadura à lanço + gradagem (LG); a.2) Semeadura direta (SD).
- b) Tempo de dferimento da pastagem: b.1) Sem pastejo; b.2) 28 DAD (dias antes da dessecação para implantação da cultura de verão); b.3) 14 DAD; b.4) ND (Sem dferimento ou pastejo continuo).
- c) Adubação da pastagem: c.1) Sem adubação (S); c.2) Com adubação (C) (8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de cama de aviário de 12 lotes) aplicada 50% aos 20 dias após a semeadura da pastagem e 50% no dferimento. No tratamento sem dferimento foi aplicado aos 28 dias antes da dessecação.

A forma de implantação da pastagem foi aplicada nas parcelas principais (faixas de 10 x 20 m, transversais ao declive); o tempo de dferimento nas sub parcelas, no sentido do declive

(5 x 10 m); e a adubação da pastagem foi aplicada em sub-subparcelas, com dimensão de 5 x 5 m.

As práticas culturais foram efetuadas nas mesmas épocas e com os mesmos equipamentos, produtos e doses utilizados na lavoura pelo agricultor, o qual é orientado pelos agentes de assistência técnica de uma Cooperativa. O manejo dos animais segue os critérios utilizados pelo agricultor, que se constitui em pastejo contínuo, com entrada dos animais quando a pastagem atinge altura de aproximadamente 20 cm (40-50 dias após semeadura da pastagem), sendo que os animais permaneciam na área durante todo o período, até a aplicação dos tratamentos de tempo de dferimento. Foram utilizadas diversas raças de gado de corte, com carga de aproximadamente 1,5 animais por hectare na área total da lavoura.

Os animais tiveram livre acesso aos piquetes durante o período de pastejo, os quais fizeram parte da área total da pastagem até a data de dferimento, quando então foram cercados com cerca elétrica. Os piquetes sem pastejo foram cercados desde a semeadura da pastagem, com cerca fixa.

Em abril de 2014, após a colheita da cultura de verão (soja), portanto seis anos após a implantação dos tratamentos, amostras com estrutura preservada e alterada foram coletadas em trincheiras de 30 x 50 cm, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro ( $142,4\text{ cm}^3$ ), em duplicata. As amostras com estrutura alterada foram coletadas com espátulas, na forma de pequenas leivas em toda a extensão da camada amostrada. No laboratório estas amostras foram separadas para determinar a estabilidade de agregados e as demais análises em Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

No laboratório as amostras coletadas nos anéis foram saturadas para determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) em permeâmetro de carga variável, utilizando-se metodologia descrita em Gubiani et al. (2008). Na sequência as amostras foram submetidas à tensão de 500 kPa em Extratores de Richards, com a finalidade de padronizar a umidade simulando um déficit hídrico, para realização do teste de resistência mecânica à penetração, com o uso de um penetrômetro de bancada da marca Marconi modelo MA 933. Utilizou-se um cone de 4 mm de diâmetro, o qual foi introduzido nas amostras de solo até a profundidade de 4,5 cm, com velocidade constante de  $30\text{ mm min}^{-1}$  e leituras a cada 1s. Por conta do efeito da borda do cilindro, descartaram-se os valores obtidos nos 0,5 cm superiores e inferiores da amostra. Realizadas essas determinações, as amostras foram secas em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  até massa constante para calcular a densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico, conforme Blake & Hartge (1986).

Amostras com estrutura alterada, seguindo a metodologia descrita por Veiga (2011), foram secas parcialmente ao ar, destorroadas até passarem pelas peneiras de 8,00 mm de abertura de malha, para determinação da estabilidade de agregados. Após, foram distribuídas cuidadosamente sobre uma bandeja de plástico de fundo plano, em movimentos de ida e vinda, para evitar a segregação, e coletou-se 25 g de agregados. Os agregados foram colocados sobre um conjunto de peneiras de 20 cm de diâmetro e 5 cm de altura, com aberturas de malha, sequencialmente de cima para baixo, de 4,75, 2,0, 1,0 e 0,5 mm, e fundo. Foram agitados cuidadosamente com 12 movimentos de vai-e-vém em uma direção, girando-se as peneiras 90° e repetido os 12 movimentos. Desta forma determinou-se a massa dos agregados retida em cada peneira e no fundo, e calculado o diâmetro médio geométrico dos agregados secos ao ar (DMGsa), utilizando a seguinte fórmula:

$$DMGsa = \exp \left[ \sum_{i=1}^n (pi * \ln di) \right]$$

em que:  $i$  representa a classe de agregados (8,0 a 4,75, 4,75 a 2,0, 2,0 a 1,0, 1,0 a 0,5 e < 0,5mm);  $pi$  é a proporção de agregados presentes na respectiva classe em relação à massa total de agregados; e  $d$  é o diâmetro médio da classe (respectivamente 6,38, 3,38, 1,5, 0,75 e 0,25mm).

Após, recompôs-se a amostra juntando os agregados retidos em todas as peneiras (com exceção ao fundo) para determinação da estabilidade dos agregados em água. Então a amostra foi disposta sobre um jogo de peneiras em um tanque e mantida em umedecimento por 10 minutos e, em seguida, as peneiras oscilaram verticalmente durante 10 minutos. Foram utilizadas, de cima para baixo, as peneiras com abertura de malha de 4,75, 2,0, 1,0 e 0,5 mm, oscilação vertical de 4,3 cm e 40 oscilações por minuto. A partir da massa de agregados retida em cada peneira foi calculado o diâmetro médio geométrico dos agregados estáveis em água (DMGea), utilizando a seguinte fórmula:

$$DMGea = \exp \left[ \sum_{i=1}^n (pi * \ln di) \right]$$

em que:  $i$  representa a classe de agregados (8,0 a 4,75, 4,75 a 2,0, 2,0 a 1,0, 1,0 a 0,5 e < 0,5 mm);  $pi$  é a proporção de agregados presentes na respectiva classe em relação à massa total de agregados; e  $d$  é o diâmetro médio da classe (respectivamente 6,38, 3,38, 1,5, 0,75 e 0,25 mm);

Após foi calculado o índice de estabilidade dos agregados em água da amostra IEA, utilizando a fórmula:

$$IEA_{ADMG} = DMGea/DMGsa$$

Também foram coletas amostras compostas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade para análise do carbono orgânico total (COT) e pH em água. A análise do COT foi realizada utilizando combustão a seco, que consiste em queimar a amostra em um forno a alta temperatura ( $900^{\circ}\text{C}$ ) e o produto resultante da combustão ( $\text{CO}_2$ ) é quantificado por um detector. Foi utilizado um analisador TOC modelo multi/NC 2100, equipado com módulo para sólidos, fabricado pela Analytik Jena.

O pH em água foi determinado de acordo com metodologia descrita em Tedesco et al. (1995), com mistura de solo e água destilada na proporção de 1:1, com leitura em peágâmetro digital.

Os dados foram submetidos ao teste da normalidade Shapiro-Wilk e, quando necessário, foram transformados para atender a normalidade. Após, foi realizada a análise da variância (ANOVA) a 5% de probabilidade, considerando um delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas. A análise da variância foi determinada separadamente para cada uma das quatro camadas avaliadas. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. No teste de comparação de médias foram consideradas como parcelas principais os tratamentos de implantação da pastagem, as subparcelas o tempo de retirada dos animais e as sub-subparcelas a aplicação de cama de aves.

#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observados pequenos efeitos dos tratamentos, tanto para efeito simples (Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5) como para as interações (Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8). Tais resultados reforçam a teoria da grande estabilidade estrutural e da resiliência do Nitossolo.

O sistema de implantação da pastagem com semeadura direta (SD) ou semeadura a lanço mais gradagem (Tabela 3), não modificaram os atributos avaliados em nenhuma das camadas amostradas. Para carbono orgânico total (COT) e pH, ambos foram mais elevados nas camadas superficiais do solo, comportamento que acontece comumente em solos agrícolas. Vale ressaltar que não foram comparadas as médias entre as camadas amostradas, visto que o procedimento de coleta realizado não atende o pressuposto da casualização. O sistema de semeadura a lanço mais gradagem revolve a camada superficial do solo, caracterizando preparo convencional ou cultivo mínimo, levando-se em consideração que no cultivo de verão é utilizado semeadura direta. Em geral, sistemas de preparo convencional com revolvimento do solo por gradagem diminuem os estoques de COT em comparação ao sistema plantio direto (LEITE et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2010).

Tabela 3 - Atributos físicos e químicos do solo em função do sistema de implantação da pastagem em Nitossolo Vermelho distrófico.

Implan*	DS	RP	Ksat	IEA	COT	pH
	Mg m <sup>-3</sup>	MPa	mm h <sup>-1</sup>		g 100g <sup>-1</sup>	
Camada 1-----						
LG	1,17	2,8	78	0,94	3,3	5,3
SD	1,20	3,0	152	0,95	3,4	5,3
Camada 2-----						
LG	1,26	3,1	64	0,89	2,7	5,2
SD	1,26	3,2	43	0,91	2,6	5,3
Camada 3-----						
LG	1,24	3,2	78	0,90	2,2	4,8
SD	1,23	3,1	53	0,83	2,3	4,8
Camada 4-----						
LG	1,19	2,9	64	0,81	2,0	4,5
SD	1,18	2,9	74	0,77	2,0	4,4

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm); Camada 4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

O tempo de diferimento da pastagem modificou o teor de carbono orgânico total (Tabela 4) na camada 0-5 cm. A retirada dos animais aos 28 dias antes da dessecação (28DAD) apresentou maior teor de COT do que o tratamento sem pastejo (SP). Esse fato pode ser atribuído ao maior crescimento vegetativo, principalmente radicular, decorrente do corte das plantas pelo pastejo dos bovinos. Segundo Assmann et al. (2014), intensidades de pastejo moderadas aumentam os estoques de C e N, que são componentes de vital importância por servirem como fonte de energia para microrganismos do solo. Souza et al. (2009) avaliaram sistemas com e sem pastejo em semeadura direta em Latossolo Vermelho Distrófico e observaram que pastejo moderado em SILP aumentou os estoques de COT e MOS, de forma semelhante ao plantio direto sem pastejo.

Os demais atributos foram pouco alterados para esses tratamentos. Observou-se, ainda, redução do índice de estabilidade dos agregados (IEA) em profundidade, fato que se deve à redução do COT do solo em profundidade. A estabilidade de agregados sem ação antrópica está diretamente ligada aos teores de COT (SIX et al., 2000; SOUZA, 2008). Também foi observada menor RP na camada de 15 – 20 cm no tratamento com diferimento 14 dias antes da dessecação (14 DAD), principalmente em relação ao não diferido (ND).

Barbosa et al. (2015), avaliando a agregação de um Latossolo Vermelho com aplicação de esterco de suínos e cama de aves, observaram aumento nos agregados menores que 0,250 mm entre 30 e 60 dias após a adubação, na camada de 0-10 cm.

Tabela 4 - Efeito do diferimento da pastagem (dias antes da dessecação, DAD) em atributos físicos e químicos do Nitossolo Vermelho distrófico.

Past	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>	IEA	COT g 100g <sup>-1</sup>	pH
-----Camada 1-----						
SP	1,16	2,7	141	0,95	3,22 b	5,2
28	1,19	3,1	82	0,94	3,50 a	5,3
14	1,18	2,9	126	0,94	3,47 ab	5,3
ND	1,20	2,9	105	0,95	3,31 ab	5,3
-----Camada 2-----						
SP	1,25	3,0	26	0,88	2,7	5,2
28	1,26	3,2	61	0,93	2,6	5,2
14	1,27	3,2	57	0,90	2,6	5,3
ND	1,26	3,3	71	0,90	2,7	5,2
-----Camada 3-----						
SP	1,23	3,1	47	0,85	2,2 b	4,7
28	1,22	3,1	96	0,88	2,3 ab	4,8
14	1,24	2,9	64	0,86	2,2 b	4,8
ND	1,24	3,5	59	0,85	2,4 a	4,9
-----Camada 4-----						
SP	1,18	2,8ab	71	0,78	2,0	4,3
28	1,18	2,9ab	98	0,79	2,0	4,6
14	1,17	2,4b	70	0,83	2,0	4,6
ND	1,22	3,3a	39	0,79	2,0	4,4

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28 e 14: tempo de retirada dos animais antes da dessecação da pastagem; ND: pastejo continuo; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada3 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm) Camada4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

A fertilização com cama de aves aumentou o pH na camada 0-5 cm, que pode ser resultado da utilização de óxido de cálcio (CaO) nas unidades de produção avícolas. O CaO é utilizado como desinfetante, sendo aplicado na cama de aves entre os lotes para a redução da incidência de *Salmonella* spp. e *Clostridium* spp. (ANTONIO, 2009). O óxido de cálcio, ao reagir com água ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ ), resulta na liberação do íon cálcio e duas hidroxilas. Assim, na camada superficial de solos fertilizados com cama de aves esta reação pode elevar o pH. Vale ressaltar que, quanto maior o número lotes de aves que a cama comportou, maior será o feito corretivo no pH do solo após sua aplicação. Zhang (1998) relata aumento do pH de diversos solos com o uso de cama de aves, além de melhorias na qualidade física, química e biológica dos solos. Veiga et al. (2016) avaliaram a aplicação de 8 m<sup>3</sup> cama de aves na pastagem de inverno por 6 anos em Nitossolo Vermelho e observaram aumento no pH, P, K, Ca, Mg e

por consequência na saturação de bases principalmente na camada de 0-5 cm, resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Os demais atributos avaliados não foram modificados pela aplicação de cama de aves. Vale ressaltar que a dose aplicada é semelhante à utilizada comumente pelos agricultores da região. A maioria deles, porém, não leva em consideração o manual de adubação e calagem para definir a quantidade de cama de aves a ser aplicada por hectare e ano. Em geral, as aplicações são dosadas pela quantidade de cama disponível e a área de cultivo do agricultor.

Não há uma quantidade máxima específica de cama de aves a ser aplicada, mas é indicado que seja feita conforme necessidade nutricional definida pelo tipo de solo, cultura e níveis de nutrientes presentes no solo, de acordo com o “Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina”. Também é indicada a análise química da cama de aves para definir a quantidade de cada nutriente presente.

As restrições definidas pelo Conama são apresentadas nas Resoluções 357 e 396, que definem a quantidade N (de qualquer fonte) na forma de  $\text{NO}_3^-$  presente nos corpos de água e corpos de água subterrâneos respectivamente. Ainda a Resolução 420 define a quantidade máxima de Cu e Zn presentes no solo. Assim, se os níveis presentes forem superiores aos definidos pelas Resoluções, fica proibida a aplicação de cama de aves, sendo sujeito à punição pelos órgãos de fiscalização em caso de descumprimento.

Tabela 5 - Fertilização Nitrogenada com a aplicação de cama de aves em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.

Nitro*	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>	IEA	COT g 100g <sup>-1</sup>	pH
Camada 1						
C	1,16b	2,8	131	0,94	3,4	5,4a
S	1,20a	3,0	100	0,95	3,4	5,1b
Camada 2						
C	1,26	3,2	66	0,92	2,7	5,3
S	1,26	3,1	43	0,89	2,6	5,2
Camada 3						
C	1,24	3,3	71	0,87	2,2	4,8
S	1,23	3,0	60	0,84	2,3	4,8
Camada 4						
C	1,18	2,8	71	0,8	2,0	4,5
S	1,19	3,0	67	0,78	2,0	4,5

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Nitro: fertilização com cama de aves; C e S: com ou sem a aplicação de cama de aves. DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm) Camada 4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

O efeito isolado do sistema de implantação da pastagem não modificou os atributos avaliados. Porém, quando analisadas as interações com o efeito do díferimento da pastagem (Tabela 6), diferenças foram observadas na DS na camada de 0-5 cm e no pH na camada de 5-10 cm. Na camada de 0-5 cm, no sistema de implantação LG a densidade foi menor no sem pastejo (SP) comparado ao 14DAD. De maneira geral, esses dados convergem com os encontrados por Lanzanova et al. (2007), os quais observaram maior DS na camada superficial no Argissolo Vermelho-Amarelo submetido ao SILP. No sistema de semeadura direta, o pH foi maior no 14DAD em relação ao 28DAD na camada de 5-10 cm.

Não foi observada interação entre tratamentos para condutividade hidráulica saturada (Ksat). O alto coeficiente de variação (CV) 95% deste atributo prejudica a ANOVA e os teste de comparação de médias. Embora elevado, este CV é considerado normal para Ksat (WARRICK & NIELSEN, 1980). Neste mesmo experimento, Veiga et al. (2012) verificaram resultados semelhantes a este na análise realizada ao final de dois anos de condução. Naquele momento a DS foi menor e a porosidade maior na camada superficial, mesmo estando sujeita à maior influência da aplicação de pressões na superfície. Justificaram esse efeito pela ocorrência de ciclos de umedecimento e de secamento no intervalo entre a interrupção do pisoteio e a coleta das amostras, assim, não observaram alterações substâncias nos atributos físicos do solo. Os mesmos autores não encontraram diferenças no rendimento de soja e milho cultivados em sucessão.

A aplicação de cama de aves, na camada de 0-5 cm, reduziu a densidade do solo no sistema ND (Tabela 7). A redução da densidade pode ocorrer pela maior produção de fitomassa e pelo desenvolvimento radicular superior no tratamento com aplicação de cama de aves, principalmente pela maior disponibilização de nitrogênio. Esses resultados corroboram com Costa et al. (2009), que estudaram a aplicação de doses crescente de cama de aves e fertilizante mineral em Latossolo Vermelho sob pastagem degradada de braquiária e verificaram redução na DS e aumento na PT principalmente na maior dosagem ( $2.400\text{ kg ha}^{-1}$ ).

Tabela 6 - Tabela de interação entre sistema de implantação da pastagem e diferimento da pastagem (DAD) em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.

Implan*	Past	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>	IEA mm	COT g 100g <sup>-1</sup>	pH
Camada 1							
LG	SP	1,13 B	2,5	93	0,95	3,1	5,1
LG	28	1,18 AB	2,9	71	0,95	3,3	5,3
LG	14	1,20 A	2,9	64	0,92	3,4	5,3
LG	ND	1,17 AB	2,8	81	0,96	3,4	5,4
SD	SP	1,19	2,9	176	0,95	3,2	5,2
SD	28	1,21	3,4	98	0,94	3,8	5,2
SD	14	1,17	2,8	218	0,96	3,6	5,3
SD	ND	1,22	3,0	129	0,95	3,2	5,3
Camada 2							
LG	SP	1,24	2,6	22	0,84	2,8	5,2
LG	28	1,27	3,0	65	0,93	2,7	5,4
LG	14	1,26	3,4	99	0,91	2,7	5,2
LG	ND	1,27	3,4	72	0,89	2,7	5,2
SD	SP	1,27	3,3	30	0,91	2,6	5,3AB
SD	28	1,25	3,4	57	0,94	2,5	5,1 B
SD	14	1,28	3,0	15	0,89	2,6	5,5 A
SD	ND	1,25	3,1	70	0,91	2,7	5,3AB
Camada 3							
LG	SP	1,23	2,8	42	0,91	2,1	4,7
LG	28	1,24	3,3	125	0,94	2,4	4,9
LG	14	1,22	3,2	93	0,88	2,2	4,8
LG	ND	1,25	3,4	55	0,85	2,4	4,8
SD	SP	1,23	3,3	51	0,80	2,2	4,7
SD	28	1,20	2,8	62	0,82	2,2	4,7
SD	14	1,25	2,7	36	0,84	2,2	4,9
SD	ND	1,24	3,6	63	0,85	2,4	4,9
Camada 4							
LG	SP	1,18	2,8	60	0,78	2,0	4,4
LG	28	1,17	2,9	87	0,8	2,0	4,6
LG	14	1,18	2,7	73	0,89	1,8	4,7
LG	ND	1,22	3,3	38	0,81	2,1	4,4
SD	SP	1,19	2,9	82	0,78	2,0	4,2
SD	28	1,18	3,0	111	0,78	2,0	4,6
SD	14	1,16	2,2	67	0,77	2,1	4,5
SD	ND	1,21	3,3	40	0,77	2,0	4,4

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Letras minúsculas comparam sistema de implantação da pastagem; Letras maiúsculas comparam tempo de diferimento. Implan: Sistema de implantação da pastagem; Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28 e 14: tempo de retirada dos animais antes da dessecação da pastagem; ND: pastejo continuo. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta.; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada3 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm) Camada4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

Tabela 7 - Tabela de interação entre diferimento da pastagem e fertilização nitrogenada em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.

Past	Nitro	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>	IEA	COT g 100g <sup>-1</sup>	pH
Camada 1-							
SP	C	1,16 a	2,7	129	0,97	3,1	5,4
SP	S	1,16 b	2,7	152	0,93	3,2	5,0
28	C	1,17 a	2,8	128	0,93	3,5	5,4
28	S	1,21 b	3,3	59	0,96	3,6	5,1
14	C	1,16 a	3,0	95	0,96	3,5	5,4
14	S	1,20 ab	2,7	139	0,93	3,4	5,2
ND	C	1,16 aB	2,5	148	0,92	3,3	5,4
ND	S	1,23 aA	3,3	62	0,99	3,3	5,2
Camada 2-							
SP	C	1,27	3,1	24	0,9	2,8	5,3
SP	S	1,24	2,8	28	0,86	2,6	5,2
28	C	1,27	3,2	83	0,95	2,7	5,3
28	S	1,24	3,2	46	0,92	2,5	5,2
14	C	1,27	3,4	85	0,92	2,6	5,4
14	S	1,27	3,0	29	0,89	2,6	5,2
ND	C	1,22	3,0	76	0,93	2,7	5,3
ND	S	1,30	3,6	65	0,87	2,7	5,2
Camada 3-							
SP	C	1,26	3,4	41	0,89	2,1	4,7
SP	S	1,20	2,8	52	0,80	2,2	4,6
28	C	1,23	3,4	81	0,89	2,3	4,7
28	S	1,21	2,7	109	0,87	2,3	4,9
14	C	1,22	2,8	77	0,82	2,2	4,7
14	S	1,26	3,1	48	0,90	2,2	4,9
ND	C	1,25	3,5	86	0,88	2,4	5,0
ND	S	1,24	3,5	35	0,81	2,4	4,6
Camada 4-							
SP	C	1,18	2,9	58	0,81	2,0	4,3
SP	S	1,18	2,7	84	0,73	2,0	4,4
28	C	1,20	2,9	103	0,76	1,9	4,5
28	S	1,16	2,9	92	0,83	2,1	4,7
14	C	1,14	2,2	89	0,86	2,0	4,6
14	S	1,20	2,7	54	0,81	2,0	4,5
ND	C	1,22	3,1	36	0,80	2,1	4,5
ND	S	1,21	3,5	41	0,77	2,0	4,3

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Letras minúsculas comparam tempo de diferimento da pastagem; Letras maiúsculas comparam fertilização nitrogenada. Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28 e 14: tempo de retirada dos animais antes da dessecação da pastagem; ND: pastejo continuo. C e S: com ou sem a aplicação de cama de aves. DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm) Camada 4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

Não houve interação entre sistema de implantação da pastagem e aplicação de cama de aves para os atributos testados (Tabela 8). Esses resultados são semelhantes aos verificados por Valadão et al. (2011), onde a aplicação de 2.500 kg ha<sup>-1</sup> de cama de aves “crua” por quatro anos não alterou de forma significativa os atributos físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo em plantio direto.

Esses resultados convergem com os observados por Troleis et al. (2017), os quais não observaram efeitos de doses crescentes de cama de aves sobre a agregação e carbono orgânico total de um Latossolo Vermelho de textura média, cultivado com pastagem de *Urochloa brizantha*, em Minas Gerais.

Tabela 8 - Tabela de interação entre implantação da pastagem e fertilização nitrogenada em atributos físicos e químicos de Nitossolo Vermelho distrófico.

Implan*	Nitro	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>	IEA	CO g 100g <sup>-1</sup>	pH
Camada 1							
LG	C	1,14	2,6	98	0,94	3,3	5,4
LG	S	1,20	3,0	61	0,95	3,3	5,1
SD	C	1,19	3,0	171	0,95	3,4	5,4
SD	S	1,21	3,0	139	0,95	3,5	5,1
Camada 2							
LG	C	1,25	3,1	85	0,90	2,7	5,3
LG	S	1,27	3,1	44	0,88	2,8	5,2
SD	C	1,27	3,2	43	0,93	2,7	5,3
SD	S	1,25	3,2	42	0,89	2,5	5,2
Camada 3							
LG	C	1,24	3,3	87	0,91	2,2	4,8
LG	S	1,24	3,1	70	0,89	2,3	4,7
SD	C	1,24	3,3	56	0,84	2,2	4,8
SD	S	1,22	3,0	49	0,81	2,3	4,8
Camada 4							
LG	C	1,18	2,7	70	0,82	2,0	4,6
LG	S	1,20	3,2	59	0,80	2,0	4,5
SD	C	1,19	2,9	72	0,78	2,0	4,4
SD	S	1,18	2,8	75	0,77	2,1	4,5

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas compararam fertilização nitrogenada; Letras maiúsculas compararam sistema de implantação da pastagem. Implan: Sistema de implantação da pastagem; LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. Nitro: Fertilização com cama de aves; C e S: com ou sem a aplicação de cama de aves. DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; IEA: índice de estabilidade de agregados calculado pelo diâmetro médio geométrico; COT: carbono orgânico total. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 10-20 cm) Camada 4: 15-20 cm (exceto para COT e pH que são relacionadas a 20-40 cm).

Apesar da aplicação de manejos intensos, o Nitossolo Vermelho manteve sua estrutura pouco alterada na camada avaliada (0-20 cm), o que pode estar associado à elevada qualidade física desse solo. Um dos atributos mais relevantes nesse processo é a agregação, que apresenta alta correlação (Apêndice D) com os teores de carbono orgânico do solo, sendo o balanço de ambos intimamente ligados aos demais atributos, os quais foram pouco alterados pelos tratamentos aplicados neste trabalho. O solo em estudo apresentou índice de estabilidade de agregados (IEA) e teores de carbono médios de 0,88 e 2,6 g 100g<sup>-1</sup>, respectivamente, representando valores elevados principalmente para uma área agrícola. Como consequência, a densidade do solo média de 1,22 Mg m<sup>-3</sup>, não representa impedimento ao desenvolvimento radicular para a maioria das culturas. O grau de compactação foi de 0,89 em relação à densidade máxima pelo teste de Proctor, que foi de 1,37 Mg m<sup>-3</sup>. Segundo Suzuki et al. (2007) a maioria das culturas, como soja, milho e trigo, apresentam os maiores rendimentos com grau de compactação entre 77 e 87% em um Argissolo e entre 80 e 85% em Latossolo Vermelho, sendo esses valores muito semelhantes aos observados neste experimento.

Vale ressaltar que densidade, porosidade, condutividade hidráulica (BALBINO et al., 2004), resistência à penetração (IMHOFF et al., 2000), teores de COT e estabilidade de agregados (BOENI, 2007) têm sido comumente utilizados como indicadores de qualidade física do solo, pela relativa facilidade de determinação e pelo baixo custo de obtenção das medidas.

Braida et al. (2006) relataram que o COT diminui a densidade máxima determinada no ensaio de Proctor do Nitossolo Vermelho, principalmente quando resíduos orgânicos estão dispostos na superfície do solo, possuindo efeito em dissipar a carga aplicada sobre o solo. Neste trabalho, as diferenças nos teores de COT não foram significativas. Da mesma forma que no estudo realizado por Veiga et al. (2012), observou-se que os diferentes tratamentos pouco afetaram o teor de COT.

A condutividade hidráulica saturada se manteve em média dos 75 mm h<sup>-1</sup>, demonstrando a recalcitrância do Nitossolo. Lanzanova et al. (2007) em Argissolo Vermelho-amarelo, observaram que o atributo mais sensível aos ensaios com intensidade de pastejo é a condutividade hidráulica saturada.

Importante ressaltar, também, que os teores de COT deste solo são altos devido à proteção da matéria orgânica em solos argilosos ser elevada (BOENI, 2007) e pelo fato de que a área do experimento vinha sendo cultivada em plantio direto por dez anos (SOUZA et al., 2009).

#### 4.4 CONCLUSÕES

Não houve efeito isolado do sistema de implantação da pastagem, e o efeito da aplicação da cama de aves foi observado apenas na primeira camada, com redução da densidade e aumento do pH do solo nos tratamentos com a aplicação de cama. A interação entre o tratamento não diferido e sem aplicação de cama de aves elevou a densidade do solo na camada de 0-5 cm.

Em relação ao tempo de diferimento da pastagem, foram observadas diferenças no teor de carbono orgânico na camada de 0-5 e 10-15 cm. O tratamento com pastejo a cada 28 dias apresentou numericamente maiores teores de carbono orgânico total na camada 0-5 cm.

Apesar das diferenças a sua magnitude foi pequena para as variáveis analisadas. Isso pode ser decorrente da elevada estruturação natural do Nitossolo Vermelho o que torna o mesmo resistente as atividades agrícolas, ou pela resiliência do solo, já que a coleta foi realizada após a colheita da cultura de verão, portanto seis meses após o término do último pastejo realizado no período invernal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.519-531, 2004.

ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.D.F.; COSTA, S.E.V. de A.C. Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária, in: Araújo, A.P., Alves, B.J.R. (Eds.), Viçosa: Tópicos Em Ciências Do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. p. 325–380.

ANTONIO, M. Uso de cal virgem para o controle de *Salmonella* spp. e *Clostridium* spp. em camas de aviário. Ciência Rural, v. 39, p.1189-1194, 2009.

ARVIDSSON, J. Effects of cultivation depth and recompaction in reduced tillage on soil physical properties, crop yield and plant pathogens. European Journal of Agronomy, v.9, p.79-85, 1998.

ASSMANN, T. S. et al. Produção de gado de corte e de pastagem de aveia em sistema de integração lavoura-pecuária em presença e ausência de trevo e nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, p. 1387-1397, 2010.

ASSMANN, J.M. et al. 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, v.190, p.52-59, 2014.

BALBINO, L.C. et al. Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. Geoderma, v.120, p.297-307, 2004.

BALBINOT JR. et al. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. Ciência Rural, v. 39, p.1925-1933, 2009.

BARBOSA, G. M. D.C. et al. Aggregation and clay dispersion of an Oxisol treated with swine and poultry manures. Soil and Tillage Research, v.146, p. 279-285, 2015.

BAUMGARTL, T.; HORN, R. Effect of aggregate stability on soil compaction. Soil and Tillage Research, v.19, p. 203-213, 1991.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (2 ed.). Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

BOENI, M. Proteção física da matéria orgânica em Latossolos sob sistemas com pastagens na região do Cerrado brasileiro. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. p.136 (Tese de Doutorado)

BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 605-614, 2006.

CASSOL, L. C. et al. Produtividade e composição estrutural de aveia e azevém submetidos a épocas de corte e adubação nitrogenada. Revista Ceres, v. 58, p. 438-443, 2011.

CASSOL, L.C. Relação solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. p. 157. (Tese de Doutorado)

COSTA, A. M. et al. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. Ciência e Agrotecnologia, p. 1991-1998, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 2006. p.306

FAGUNDES, J.L. et al. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia, v.35, p.21-29, 2006.

FERREIRA, E. Dinâmica de potássio em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto sob intensidades de pastejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. (Dissertação de Mestrado)

FONTANELI, R.S. et al. Análise econômica de sistemas de produção de grãos com pastagens anuais de inverno, em sistema plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p. 2129-2137, 2000.

FONTANELI, R.S. et al. Lucratividade e risco de sistemas de produção de grãos com pastagens, sob sistema plantio direto. Ciência Rural, v.36, p.51-57, 2006.

GUBIANI, P.I. et al. Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 993-997, 2008.

HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. London, Academic Press, 1980. 413p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Applications of the resistance curve in the control of the physical quality of soils under grass. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p.1493-1500, 2000.

LANZANOVA, M.E. et al. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.1131- 1140, 2007.

LEITE, L.F.C. et al. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.1273-1280, 2010.

MARTINS, A. P. et al. Integração soja-bovinos de corte no sul do Brasil. 2. ed. Porto Alegre: Gráfica RJR Ltda, 2015.

MENGEL, D.B.; BARBER, S.A. Development and distribution of the corn root under field conditions. Agronomy Journal, v. 66, p. 341-344, 1974.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do Pisoteio Animal sobre as Características do Solo e a Produção de Pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá - PR, 1997, Maringá -PR: Ed. Clóves Cabreira Jobim; Geraldo Tadeu dos Santos; Ulysses Cecato, 1997

NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. p. 149. (Dissertação de Mestrado)

PANDOLFO, C. et al. Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, 2002.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. Soil Science Society of America Journal, v. 64, p. 681-689, 2000.

SOUZA, E. D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. Revista brasileira de ciência do solo, v.32, p. 1273-1282, 2008.

SOUZA, E.D. et al. Soil organic carbon and nitrogen stocks in an untilled crop-livestock system under different grazing intensities. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.33, p. 1829-1842, 2009.

SUZUKI, L.E.A.S. et al. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42. p.1159-1167, 2007.

TEDESCO, M.J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. p.174.

TEIXEIRA, L.; LA SCALA JÚNIOR, N.; LOPES, A. Fluxo de CO<sub>2</sub> do solo após aração e escarificação em diferentes condições. Holos Environment, v.10, p.1-11, 2010.

TREIN, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19 p.105-111, 1991.

TROLEIS, M. J. B. et al. Estabilidade de agregados e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho sob *Urochloa brizantha* após a aplicação de cama de peru. Revista de Agricultura Neotropical, v. 4, p.83-87, 2017.

WARRICK A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. Application of soil physics. New York, Academic Press, 1980.

VALADÃO, F. C. A.; BENEDET, K. D. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 2073-2082, 2011.

VEIGA, M. et al. Atributos de solo e de plantas afetados pelo manejo anual de inverno em sistema de integração lavoura-pecuária. Ciência Rural, v. 42, p. 444-450, 2012.

VEIGA, M. et al. Effects on Soil and Crop Properties of Forms of Sowing, Deferral Intervals and Fertilization of the Annual Winter Forage in a Crop-Livestock Integration System. Journal of Agricultural Science, v. 8, 2016.

VEIGA, M. Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo. Florianópolis: Epagri, 2011. 52p. (Epagri. Boletim Técnico, 156).

ZHANG, H. Animal manure can raise soil pH. production technology, Department of Plant and Soil Sciences, v.10, 1998.

## 5 CAPÍTULO III - EFEITO DE INTERVALOS ENTRE PASTEJOS DE GADO DE LEITE SOBRE OS ATRIBUTOS FÍSICOS DE NITOSSOLO VERMELHO

### RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da implantação, manejo da pastagem e fertilização nitrogenada em sistema de integração lavoura-pecuária com gado leiteiro nos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho ao final de um ciclo de pastejo. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Epagri de Campos Novos- SC em Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico muito argiloso, com relevo suave onulado a ondulado. Os tratamentos implantados no modelo trifatorial, delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas, foram: a) formas de implantação da pastagem (semeadura direta e semeadura a lanço + gradagem); b) intervalo de retorno dos animais na pastagem (sem pastejo e retorno a cada 28 dias, 14 dias e 7 dias; e c) adubação de cobertura da pastagem (com e sem aplicação de 30 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de Ureia após a retirada dos animais em cada ciclo de pastejo de 28 dias). Amostras para análises físicas foram coletadas após a retirada dos animais da pastagem, em setembro de 2014, e após a colheita da cultura de verão, em abril de 2015. Os dados foram analisados pela análise de variância e teste de médias de Tukey. Nos menores intervalos de pastejo a quantidade e o tamanho de poros diminuiu, principalmente em relação ao SP na camada 0-5 cm. Ao final do ciclo, após a colheita da cultura de verão, os efeitos dos tratamentos aplicados no pastejo não foram detectados. O cultivo de verão aumentou a densidade do solo e diminuiu a condutividade hidráulica do solo na camada de 0-5 cm.

**Palavras chave:** Manejo da pastagem. Ureia em cobertura. Gado leiteiro.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil é tradicional produtora de grãos como milho, soja e feijão durante o verão. Não obstante, as condições edafoclimáticas nessa região a torna adequada também ao cultivo no inverno, principalmente de cereais como o trigo e a cevada. Porém, o baixo retorno econômico propiciado pelos cereais de estação fria, aliado ao alto risco de insucesso pelos problemas ambientais e fitossanitários, tem motivado os produtores a buscarem novas alternativas para o inverno. Se destaca a implantação de pastagens temporárias, em sua maioria constituída por aveia preta, azevém, ervilhaca e/ou consórcio destas, destinadas ao pastejo direto de bovinos de corte e leite.

O sistema de integração lavoura-pecuária (SILP) pode trazer prejuízos ao solo quando conduzido de forma incorreta. Essa tendência é observada principalmente em lavouras onde se adota o SILP sem critérios técnicos para o manejo da pastagem. Dentre os principais problemas citados, a compactação se destaca. A intensidade da compactação provocada pelo pisoteio animal é influenciado pela textura do solo (CORREA & REICHARDT, 1999), intensidade e sistema de pastejo (CASSOL, 2003; LEÃO et al., 2004), teor de matéria orgânica e quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (BRAIDA et. al., 2006) e umidade do solo (BETTERIDGE et al., 1999; ALBUQUERQUE et al., 2001; LIMA et al., 2004; CARASSAI et al., 2012).

A compactação aumenta a densidade (DS), a resistência mecânica à penetração (RP) e os microporos (MICRO), bem como reduz a porosidade total (PT), os macroporos (MACRO), a capacidade de infiltração de água, a aeração e a condutividade hidráulica do solo (CONTE, 2011), modificações que podem prejudicar a produtividade das culturas (ALBUQUERQUE et al., 2001; BEUTLER et al., 2005) e o ambiente.

Marchão (2007), avaliando atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob SILP observou, após quatro anos, impacto na qualidade físico-hídrica do solo na camada de 0-5 cm em relação a pastagens em sistema convencional. Observou, ainda, que apesar de não aumentar significativamente a porosidade e a microporosidade, o plantio direto altera o arranjo estrutural dos agregados que possivelmente lhe conferem maior microporosidade.

O efeito do pisoteio animal sobre os atributos físicos é geralmente limitado às camadas superficiais do solo, em geral até 10 cm (TREIN et al., 1991; BASSANI, 1996), podendo ser temporário e reversível (MORAES & LUSTOSA, 1997; CASSOL, 2003), quando feito um manejo adequado.

Estudos relatam que o manejo adequado do pastejo nos sistemas integrados não compromete a produtividade das culturas semeadas em sucessão à pastagem (SILVEIRA, 2007;

LUNARDI et al., 2008; SANDINI et al., 2011). Alguns autores também encontraram efeito residual positivo da adubação da pastagem sobre a cultura em sucessão (BONA FILHO et al., 2003; ASSMANN et al., 2003).

Como forma de evitar problemas no SILP, há necessidade de utilização de sistemas conservacionistas que aportem material orgânico ao solo. Porém, para uma parcela significativa de produtores rurais esses conceitos esbarram em questões tecnológicas, financeiras e, principalmente, culturais. Umas das formas mais utilizadas para implantação de pastagem de inverno é o uso equipamentos para distribuição das sementes a lanço seguido de gradagem para incorporação. Esse modelo fragmenta e incorpora parte da cobertura vegetal morta da superfície, além de destruir parte significativa dos agregados superficiais, expondo a matéria orgânica do solo MOS aos microrganismos mineralizadores.

Um agravante para sistemas degradados fisicamente é a fertilização inadequada, especialmente para a pastagem, pois a deficiência de nitrogênio reduz a produção de biomassa e o enraizamento de gramíneas, que então produzem menos fitomassa e perdem a capacidade de suporte à pressão exercida pelas patas dos animais durante o pastejo.

Segundo Marchão et al. (2007) práticas que favorecem o crescimento de raízes em pastagens podem reduzir os efeitos mecânicos do pisoteio. A adubação da pastagem com nitrogênio pode ser uma estratégia para aumentar a produção de forragem e reduzir a compactação superficial ocasionada pelo pisoteio, pois atenua a pressão aplicada na superfície (BRAIDA et al., 2006) e descompacta o solo (ABREU et al., 2004).

As hipóteses deste trabalho foram: I – Após o pastejo os tratamentos com implantação da pastagem por gradagem terão diminuição dos poros em tamanho e quantidade, principalmente nas camadas mais superficiais. Os pastejos mais intensos compactam o solo nas camadas superficiais. As aplicações de ureia em cobertura mantêm a qualidade física do solo em comparação ao tratamento sem ureia. II – Na coleta realizada após a colheita da cultura de verão, devido a ação do sistema radicular das culturas, bem como pela resiliência do solo, os efeitos negativos do pisoteio animal durante o pastejo são dissipados.

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos do sistema de implantação, manejo da pastagem e fertilização nitrogenada em sistema de integração lavoura-pecuária com gado leiteiro sobre os atributos físicos de um Nitossolo Vermelho ao final de um ciclo de pastejo.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de abril de 2014 a abril de 2015, na Estação Experimental da Epagri de Campos Novos, SC (coordenadas geográficas de 27°23'01" S e 51°13'30" E, com altitude de 935 m). A área apresenta relevo suave ondulado a ondulado, com solo da classe Nitossolo Vermelho Distrófico latossólico muito argiloso (SANTOS et al., 2013), formado a partir de rochas ígneas extrusivas da Formação Serra Geral. Possui densidade máxima de 1,33 Mg m<sup>-3</sup> e umidade ótima de compactação de 0,35 g g<sup>-1</sup> na camada de 0,20 cm, determinados pelo ensaio de Proctor normal. O experimento foi instalado em lavoura manejada sob sistema de semeadura direta por mais de dez anos. Nesse período, vinha sendo utilizado um sistema de rotação de culturas para cobertura do solo no inverno (aveia preta, centeio ou ervilhaca comum) e produção de grãos no verão (soja, milho ou feijão), todas implantadas com semeadura direta.

A partir da implantação do experimento, foi utilizado um sistema de rotação de culturas de dois anos, utilizando como culturas estivais (primavera/verão) o milho (*Zea mays* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), semeadas em anos alternados, e um consórcio de aveia (*Avena strigosa* Schreb, 100 kg ha<sup>-1</sup>), azevém (*Lolium multiflorum* Lam, 20 kg ha<sup>-1</sup>) e ervilhaca (*Vicia villosa* Roth, 30 kg ha<sup>-1</sup>) para uso sob pastejo direto no inverno. As culturas de verão foram implantadas em sistema de semeadura direta, adubadas com 300 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante 5-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na pastagem e no feijão e a mesma quantidade de adubo 8-20-20 em milho como fertilização de base. Em cobertura foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante 32-00-18 em milho e 150 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (450 g kg<sup>-1</sup> de N) em feijão.

Os tratamentos aplicados foram: a) formas de implantação da pastagem (semeadura direta e semeadura a lanço + gradagem); b) intervalo de retorno dos animais na pastagem (sem pastejo e retorno a cada 28 dias, 14 dias e 7 dias; e c) adubação de cobertura da pastagem (com e sem aplicação de 30 kg de N ha<sup>-1</sup> na forma de Ureia após a retirada dos animais em cada ciclo de pastejo de 28 dias). Foi implantado no modelo trifatorial, delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. O fator forma de implantação da pastagem foi aplicado nas parcelas principais (faixas de 10 x 20 m), o fator tempo de retorno em parcelas transversais (5 x 10 m) e o fator adubação de cobertura da pastagem nas sub-subparcelas (5 x 5 m).

Os animais foram colocados na área de entorno a cada 7 dias e tiveram livre acesso aos piquetes com pastejo programado para aquela data. Os piquetes sem pastejo foram cercados desde a semeadura da pastagem com cerca fixa e os demais piquetes foram divididos com o uso

de cerca eletrificada. As práticas culturais foram efetuadas nas mesmas épocas e utilizando os mesmos equipamentos, produtos e doses e seguindo as recomendações técnicas para cada cultura.

Foram realizadas duas coletas de amostras para análises físicas, sendo a primeira após a retirada dos animais da pastagem de inverno, em setembro de 2014, e a segunda após a colheita da cultura de verão, em abril de 2015. Foram abertas trincheiras de 30 x 50 cm e coletadas amostras preservadas com auxílio de anéis volumétricos de 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro ( $142,4\text{ cm}^3$ ) nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Nas mesmas camadas também foram coletadas amostras com estrutura alterada.

As análises realizadas nas amostras coletadas com estrutura preservada foram: porosidade (bioporos, macroporos, microporos e porosidade total); densidade do solo; resistência mecânica à penetração; e condutividade hidráulica saturada. Em laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade para determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) em permeâmetro de carga variável, utilizando-se metodologia descrita em Gubiani et al. (2008). Na sequência as amostras foram submetidas às tensões de 1 e 6 kPa em mesa de areia até atingir o equilíbrio de umidade e determinada a massa. Após, foram colocadas em Extratores de Richards até atingir a tensão de 500 kPa e determinada a massa, com a finalidade de padronizar a umidade e simular um déficit hídrico. Nesta condição foi determinada a resistência mecânica à penetração com o uso de um penetrômetro de bancada da marca Marconi, modelo MA 933. Utilizou-se um cone de 4 mm de diâmetro, o qual foi introduzido nas amostras de solo até a profundidade de 4,5 cm, com velocidade constante de  $30\text{ mm min}^{-1}$  e leituras a cada 1s. Por conta do efeito da borda do cilindro, descartaram-se os valores obtidos nos 0,5 cm superiores e inferiores de cada amostra. Realizadas essas determinações, as amostras foram secas em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  até massa constante e determinada a massa, para calcular a densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico, conforme Blake & Hartge (1986).

A bioporosidade (Bio) corresponde ao volume de poros drenados na tensão de 1 kPa, a microporosidade (Micro) ao volume de água retida na tensão de 6 kPa. A porosidade total (PT) foi determinada pela diferença de massa entre o solo saturado e o solo seco em estufa. A macroporosidade (Macro) foi obtida pela diferença entre a PT e a Micro.

As amostras com estrutura alterada foram retiradas na forma de leivas na camada amostrada, com auxílio de espátula metálica, e acondicionadas em sacos plásticos para preservar a estrutura dos agregados e a umidade. Em laboratório foram secas ao ar, destorroadas e moídas para determinar a granulometria do solo conforme o descrito em Gee & Bauder

(1986), através da dispersão de 25 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA) em 70 mL de água e 10 mL de NaOH 1N e 4 h de agitação mecânica em agitador reciprocante. Nas amostras com estrutura alterada foi realizado o ensaio de Proctor Normal, para avaliar a densidade máxima e a umidade ótima de compactação solo, de acordo com o método modificado por Klein (2008). As determinações de granulometria, densidade máxima e a umidade ótima de compactação solo foram realizadas para caracterizar o solo na camada de 0-20 cm.

Os dados foram submetidos ao teste da normalidade de Shapiro-Wilk e quando necessário, foram transformados pela equação “ $x=1/\sqrt{x}$ ” para atender a normalidade. Após, foi calculada a análise da variância (anova) a 5% de probabilidade, considerando delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas sub-subdivididas, separadamente para cada camada amostrada. Quando significativas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. No teste de comparação de médias foram considerados como parcelas principais os sistemas de implantação da pastagem, subparcelas o tempo de retirada dos animais e como sub-subparcela a aplicação de ureia.

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Atributos físicos do solo após a retirada dos animais da pastagem

Ao analisar as formas de implantação da pastagem de inverno, foi observado aumento da condutividade hidráulica saturada (Ksat) na camada de 10–15 cm no sistema de semeadura direta (SD) em relação à semeadura a lanço + gradagem (LG). Para os demais atributos testados não foram observadas diferenças significativas para a coleta realizada imediatamente após o pastejo de 2014 (Tabela 9). Esses resultados corroboram com os obtidos por Flores et al. (2007), que estudando os atributos físicos do solo em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo, verificaram que após o ciclo de pastejo não houve alterações significativas na densidade e na porosidade. Fidalski et al. (2008), em um Latossolo Vermelho Distrófico pastejado em sistema de lotação contínua, afirmam que a qualidade física do solo não foi comprometida devido ao controle da taxa de lotação animal baseado na produção de forragem.

Tabela 9 - Sistema de implantação da pastagem nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.

Implan*	BIO	MACRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	MICRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
-----Camada 1-----							
LG	0,08	0,14	0,48	0,62	1,16	3,0	67
SD	0,08	0,14	0,48	0,62	1,19	3,3	89
CV(%)	28	19	8	8	4	29	70
-----Camada 2-----							
LG	0,07	0,12	0,46	0,58	1,28	4,3	49
SD	0,07	0,13	0,47	0,59	1,28	4,4	54
CV(%)	44	31	9	5	9	23	143
-----Camada 3-----							
LG	0,07	0,12	0,46	0,58	1,28	4,3	66 b
SD	0,07	0,12	0,46	0,59	1,30	4,4	98 a
CV(%)	38	23	7	6	7	24	40
-----Camada 4-----							
LG	0,07	0,11	0,48	0,59	1,24	3,8	66
SD	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	4,0	89
CV(%)	27	16	6	6	9	19	118

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat:

condutividade hidráulica saturada; Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

A redução do tempo de retorno dos animais para a mesma área, ou seja, o aumento da intensidade de pastejo (14D e 7D) reduziu os Bio, Macro, PT e CHS e aumentou a DS em relação ao tratamento com baixo (28D) ou nenhum pastejo (SP) na camada de 0-5 cm (Tabela 10). Nas demais camadas não foram observadas diferenças significativas. O pastejo aumentou a resistência à (RP) quando comparado com o tratamento sem pastejo. Esse atributo tem relação direta com a DS e a Macro, que foram alterados pelos tratamentos. Para um mesmo solo, quanto maior for a sua densidade, maior será a RP e menor será a Macro, que é o principal espaço para o crescimento das raízes (COLLARES et al., 2006; REINERT et al. (2001). A RP está relacionada diretamente com a umidade no momento de sua determinação. Em solos com menor umidade, a coesão e a resistência do solo à penetração aumentam e a pressão hidrostática das células das raízes diminui, com consequente redução da força na coifa e na região meristemática para superar a resistência do solo (HAMZA & ANDERSON, 2005). Além da umidade, a espécie das plantas cultivadas e o tipo de solo determinam se o sistema radicular será capaz de romper camadas compactavas (TAYLOR et al., 1996).

Tabela 10 - Intensidade de pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.

Past	BIO	MACRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1							
SP	0,10 a	0,18 a	0,47	0,65 a	1,10 a	2,4 b	168 a
28D	0,08 a	0,15 ab	0,48	0,62 ab	1,16 ab	2,5 ab	86 ab
14D	0,06 b	0,10 c	0,50	0,60 b	1,23 b	3,5 a	26 b
7D	0,07 ab	0,12 bc	0,48	0,60 b	1,22 b	3,7 a	30 b
CV(%)	12	13	5	5	3	24	103
Camada 2							
SP	0,07	0,12	0,47	0,59	1,27	3,9	71
28D	0,07	0,12	0,47	0,59	1,29	4,6	52
14D	0,06	0,11	0,46	0,58	1,30	4,7	28
7D	0,07	0,13	0,46	0,58	1,27	4,3	54
CV(%)	23	18	4	4	4	22	114
Camada 3							
SP	0,08	0,13	0,46 ab	0,59	1,29	4,4	97
28D	0,07	0,12	0,47 a	0,59	1,30	4,1	87
14D	0,07	0,12	0,46 b	0,58	1,28	4,1	84
7D	0,07	0,12	0,46 b	0,58	1,28	4,7	60
CV(%)	23	22	3	5	3	21	80
Camada 4							
SP	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	4,2	93
28D	0,06	0,11	0,47	0,58	1,26	3,9	76
14D	0,07	0,11	0,47	0,59	1,25	3,7	89
7D	0,07	0,11	0,48	0,59	1,26	4,0	52
CV(%)	21	19	4	4	4	17	57

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: Densidade do solo; RP: Resistência a penetração do solo; Ksat: Condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

A fertilização nitrogenada de cobertura com ureia aumentou a Ksat do solo na camada de 5-10 cm (Tabela 11). A Ksat é influenciada pela porosidade do solo, principalmente pela Macro, que também tiveram maior valor em comparação ao tratamento S. De acordo com Andreola et al. (2000), uma das mais prováveis razões para o aumento de macroporos é o efeito das raízes de gramíneas como aveia, azevém ou milho. Quando as raízes penetram, comprimem as partículas do solo e, com sua morte e decomposição, formam os bioporos que contribuem para o aumento da macroporosidade (DEXTER, 1991; SPERA et al., 2009). Os efeitos no aumento dos Macro pelo sistema radicular de culturas poderá ser maior nos tratamentos com

aplicação de ureia e, consequentemente, elevação da Ksat sempre que a aplicação de N favorecer o crescimento radicular.

Tabela 11 - Fertilização nitrogenada de cobertura nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.

Nitro*	BIO	MACRO -----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1							
C	0,08	0,14	0,48	0,62	1,18	3,2	89
S	0,08	0,14	0,48	0,62	1,17	3,0	70
CV(%)	11	11	4	4	2	20	115
Camada 2							
C	0,07	0,13 a	0,46 b	0,59	1,27	4,4	66 a
S	0,06	0,12 b	0,47 a	0,59	1,29	4,4	38 b
CV(%)	19	15	3	3	3	17	88
Camada 3							
C	0,08	0,13	0,46	0,58	1,30	4,6	88
S	0,07	0,12	0,46	0,58	1,28	4,0	74
CV(%)	29	22	3	4	5	28	81
Camada 4							
C	0,07	0,11	0,47	0,59	1,26	3,9	77
S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,26	4,0	78
CV(%)	27	22	3	4	5	24	77

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Nitro: fertilização com ureia; C e S: com ou sem a aplicação de fertilizante nitrogenado (ureia). BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

Foram analisados os efeitos das interações entre os tratamentos testados e observou-se diferenças significativas, principalmente nas camadas de 0-5 cm e 5-10 cm, na coleta realizada após o pastejo (Apêndice E, Apêndice F e Apêndice G). Porém, a análise estatística mostrou resultados pouco conclusivos para este tipo de teste.

### 5.3.2 Atributos físicos do solo após a colheita da cultura de verão (milho).

Não foram observadas diferenças significativas nos atributos analisados após a colheita da cultura de verão para os sistemas de implantação da pastagem (Tabela 12). Siqueira Jr. (2005), comparando uma área com e sem pastejo, encontrou densidade maior na presença dos

animais, porém não houve comprometimento da qualidade física do solo e produção da cultura posterior à pastagem. Afirma, ainda, que ao longo do período de cultivo existe um retorno à condição de densidade inicial. A presença de animais em pastejo contínuo no inverno não prejudica o sistema quando a pastagem é bem manejada. Da mesma forma, Flores et al. (2007) não observaram diferenças na densidade e porosidade de um Latossolo submetido ao pastejo de inverno em pastagem constituída por aveia-preta e azevém, manejadas a alturas variando de 10-40 cm.

Tabela 12 - Sistema de implantação da pastagem nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.

Implan*	BIO	MACRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP Mpa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1							
LG	0,07	0,12	0,51	0,63	1,23	3,8	22
SD	0,08	0,13	0,50	0,62	1,21	3,7	35
CV(%)	16	16	7	3	3	26	114
Camada 2							
LG	0,08	0,13	0,46	0,59	1,34	4,5	32
SD	0,08	0,12	0,47	0,59	1,30	4,5	55
CV(%)	26	34	3	6	6	25	130
Camada 3							
LG	0,08	0,12	0,47	0,59	1,32	4,6	52
SD	0,08	0,12	0,47	0,59	1,30	4,4	55
CV(%)	10	16	7	7	3	23	71
Camada 4							
LG	0,08	0,12	0,49	0,61	1,28	3,8	44
SD	0,08	0,12	0,48	0,60	1,27	3,7	50
CV(%)	14	9	6	4	6	27	36

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada4: 15-20 cm.

Os efeitos das intensidades de pastejo adotadas na pastagem de inverno foram parcialmente dissipadas ao longo do tempo e, após o cultivo de verão, poucas diferenças foram observadas, principalmente na camada de 15-20 cm (Tabela 13). As diferenças na camada de 0-5 cm, observadas após o pastejo, não foram detectadas após a colheita do milho, indicando que não há um efeito de longo prazo do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo. Este

resultado está de acordo com os obtidos por Albuquerque et al. (2001), que relatam que o sistema radicular de gramíneas melhora a estrutura física do solo pelo aumento da porosidade total e acréscimo de matéria orgânica ao solo, principalmente na superfície do solo. Giarola et al. (2007) relatam que plantas com raízes fasciculadas, como as gramíneas, favorecem a agregação do solo, a presença de canais e cavidades resultante da atividade biológica existente, influenciando o aumento da macroporosidade e os demais atributos físicos do solo. Ainda, segundo Lunardi et al. (2008), o impacto negativo sobre os atributos físicos do solo na maioria das vezes é superficial e, desta forma, as raízes das culturas subsequentes conseguem melhorar a qualidade do solo.

Tabela 13 - Intensidade de pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.

Past	BIO	MACRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1							
SP	0,08	0,13	0,51	0,64	1,20	3,6	37
28D	0,07	0,11	0,51	0,62	1,23	4,0	29
14D	0,07	0,12	0,50	0,63	1,23	3,6	17
7D	0,07	0,13	0,50	0,62	1,23	3,8	31
CV(%)	9	14	4	2	2	26	58
Camada 2							
SP	0,09	0,13 a	0,48	0,61 a	1,30	4,6	43
28D	0,08	0,13 a	0,43	0,56 ab	1,34	4,5	55
14D	0,08	0,11 b	0,48	0,59 b	1,32	4,3	29
7D	0,08	0,12 ab	0,48	0,60 ab	1,32	4,6	47
CV(%)	20	13	2	3	3	22	82
Camada 3							
SP	0,08	0,12	0,47	0,60	1,31	4,5	56
28D	0,08	0,13	0,46	0,59	1,30	4,8	71
14D	0,08	0,12	0,47	0,59	1,31	4,3	51
7D	0,08	0,12	0,46	0,58	1,33	4,3	36
CV(%)	12	18	4	4	2	21	63
Camada 4							
SP	0,08	0,12	0,49	0,61	1,28 ab	4,3 a	38
28D	0,08	0,13	0,48	0,61	1,25 b	3,3 b	52
14D	0,08	0,12	0,48	0,61	1,26 b	3,4 ab	58
7D	0,08	0,11	0,48	0,60	1,31 a	4,0 ab	41
CV(%)	16	1	4	5	4	22	55

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: Densidade do solo; RP: Resistência a penetração do solo; Ksat: Condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

A aplicação de ureia em cobertura na pastagem não alterou os atributos avaliados (Tabela 14). Flores et al. (2007), estudando os atributos físicos do solo na produtividade da soja em sistema de plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo, verificaram que após o ciclo de pastejo não houve alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade, independentemente da altura da pastagem. Também não verificaram alterações na produtividade de soja. Costa et al. (2009), avaliando os atributos físicos do solo

em Cambissolo Húmico Alumínico, verificaram que no SILP o correto manejo da pastagem do azevém no inverno e cultivo de milho no verão, não altera os mesmos.

Tabela 14 - Fertilização nitrogenada de cobertura nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.

Nitro*	BIO	MACRO ----- $m^3 m^{-3}$ -----	MICRO	PT	DS Mg $m^{-3}$	RP MPa	Ksat $mm h^{-1}$
-----Camada 1-----							
C	0,08	0,12	0,51	0,63	1,21	3,5	37
S	0,07	0,12	0,50	0,62	1,24	4,0	22
CV(%)	9	11	4	2	2	18	66
-----Camada 2-----							
C	0,08	0,12	0,46	0,58	1,34	4,6	45
S	0,08	0,13	0,47	0,60	1,31	4,4	42
CV(%)	20	18	2	3	3	18	109
-----Camada 3-----							
C	0,08	0,12	0,47	0,59	1,31	4,5	51
S	0,08	0,12	0,47	0,59	1,31	4,5	56
CV(%)	11	18	4	4	1	18	76
-----Camada 4-----							
C	0,08	0,12	0,48	0,60	1,28	3,8	47
S	0,08	0,12	0,49	0,61	1,27	3,7	47
CV(%)	12	7	4	4	5	19	58

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Nitro: fertilização com ureia; C e S: com ou sem a aplicação de fertilizante nitrogenado (ureia). BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

Foram analisados os efeitos das interações entre os tratamentos e observou-se poucas diferenças significativas, ocorrendo principalmente na camada de 0-5 cm para a coleta realizada após a colheita da cultura de verão (2015) (Apêndice H, Apêndice I e Apêndice J). Porém, a análise estatística mostra resultados pouco conclusivos para este tipo de teste.

### 5.3.3 Relação entre atributos físicos do solo após o pastejo e após a colheita da cultura de verão (milho).

Quando comparadas as médias globais dos tratamentos ao final do pastejo (2014) e após a colheita da cultura de verão (milho) (2015) para os atributos testados, foi observado que a RP foi maior em 2015 com relação a 2014 (Tabela 15). Por outro lado, a CHS foi maior em 2014,

ambos na camada de 0-5 cm. Apesar das diferenças numéricas não serem tão grandes, esses resultados induzem a conclusão que o cultivo de verão, pelo uso de equipamentos com altas cargas, mesmo sem grande revolvimento de solo pode reduzir a qualidade física do solo. Ainda, pode-se especular que a pastagem bem manejada, com baixa carga animal, independentemente do intervalo entre pastejos, pode recuperar o solo. Spera et al. (2010), estudando vários sistemas de produção de grãos integrados com pastagens anuais de inverno e de verão em Latossolo Vermelho Distroférrico típico, sugeriram que o acúmulo de resíduos culturais e/ou a ação de sistema radicular de culturas tem relação com a reestruturação e manutenção da qualidade física do solo.

Porém, nos trabalhos de Stone & Silveira (2001) e de Spera et al. (2004), com sistemas de produção de grãos e integração lavoura-pecuária sob semeadura direta, foram observados maiores valores de densidade do solo e microporosidade e menores valores de porosidade total e de macroporosidade na camada superficial, após algum tempo de cultivo.

Tabela 15 - Medias globais dos atributos físicos do solo após a retirada dos animais da pastagem (2014) e após a colheita da cultura de verão (2015) respectivamente.

	BIO	MACRO	MICRO	PT	DS	RP	CHS
Ano	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----				Mg m <sup>-3</sup>	MPa	mm h <sup>-1</sup>
----- Camada 1 -----							
2014	0,08	0,14	0,48 b	0,62	1,17	3,1 b	73 a
2015	0,07	0,12	0,50 a	0,63	1,22	3,7 a	29 b
----- Camada 2 -----							
2014	0,07 b	0,12	0,46	0,59	1,28	4,4	51
2015	0,08 a	0,12	0,47	0,59	1,32	4,5	44
----- Camada 3 -----							
2014	0,07	0,12	0,46	0,58	1,29	4,3	81 a
2015	0,08	0,12	0,47	0,59	1,31	4,5	53 b
----- Camada 4 -----							
2014	0,07 b	0,12	0,47	0,59 b	1,26	3,9	77
2015	0,08 a	0,12	0,48	0,61 a	1,27	3,8	47

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

#### 5.4 CONCLUSÕES

Os menores intervalos de pastejo alteraram os atributos testados pela diminuição da quantidade e do tamanho de poros, principalmente em relação ao tratamento SP e na camada mais superficial. Por outro lado, isoladamente o sistema de implantação da pastagem, bem como a fertilização nitrogenada de cobertura não afetaram os atributos testados.

No final do ciclo, após a colheita da cultura de verão, os efeitos do sistema de integração lavoura-pecuário não foram observados.

A cultura de verão alterou os atributos físicos do solo quando comparada ao pastejo. O cultivo de verão aumentou a densidade e diminuiu a condutividade hidráulica do solo na camada mais superficial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. L.; REICHERT, J. M; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração agricultura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25 p. 717-723, 2001.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEVSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e ou mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 24, p.857-865, 2000.
- ASSMANN, T. S. et al. Rendimento de milho em área de integração lavoura-pecuária sob o sistema plantio direto, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p.675-683, 2003.
- BASSANI, H. J. Propriedades físicas induzidas pelo plantio direto e convencional em área pastejada e não pastejada. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1996.  
(Dissertação de Mestrado)
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Soil resistance to penetration and least limiting water range for soybean yield in a haplustox from Brazil. Braz. Brazilian Archives of Biology and Technology, v.48 p.863-871, 2005.
- BONA FILHO, A. Integração lavoura-pecuária com a cultura do feijoeiro e pastagem de inverno, em presença e ausência de trevo branco, pastejo e nitrogênio. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2002. (Tese de Doutorado)
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 605-614, 2006.
- BETTERIDGE, K. et al. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. Journal Soil Research, v. 37, p. 743-760, 1999.

CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. (Tese de Doutorado)

CARASSAI, I. J. et al. Atributos físicos do solo sob intensidades de pastejo e métodos de pastoreio com cordeiros em integração lavoura-pecuária. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 46, p.1284-1290, 2012.

COLLARES, G. L. et al. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v.41, p.246-250, 2011.

CONTE, O. et al. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.46, p.1301-1309, 2011.

CORREA, J. C.; REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.30, p.107- 114, 1995.

COSTA, A. M. et al. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. Ciência e Agrotecnologia, v.33, p. 1991-1998, 2009.

DEXTER, A.R. Amelioration of soil by natural processes. Soil Tillage Research, v. 20 p.87-100, 1991.

FIDALSKI, J. et al. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.43, p.1583-1590, 2008.

FLORES, J.P.C. et al. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.771-780, 2007.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.

GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; DUTRA, A.C. Degradação física de um Latossolo Vermelho utilizado para produção intensiva de forragem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.863-873, 2007.

GUBIANI, P.I. et al. Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 993-997, 2008.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems, a review of the nature, causes and possible solutions. Soil and Tillage Research, v.82, p.121-145, 2005.

LEÃO, T. P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p.415-423, 2004.

LIMA, C. L. R. et al. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não irrigado. Revista Brasileira de Ciência do solo, v.28, p.945-951, 2004.

LUNARDI, R. et al. Rendimento de soja em sistema de integração lavoura-pecuária: efeito de métodos e intensidades de pastejo. Ciência Rural, v.38, p. 795-801, 2008.

KLEIN, V.A. Física do solo. Passo Fundo: Ed. da UPF, 2008. p.212.

MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.873-882, 2007.

MORAES, A.; LUSTOSA, S. B. C. Efeito do Pisoteio Animal sobre as Características do Solo e a Produção de Pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá - PR, 1997, Maringá -PR: Ed. Clóves Cabreira Jobim; Geraldo Tadeu dos Santos; Ulysses Cecato, 1997.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R. et al. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul, p.114-131, 2001.

SANDINI, I. E. et al. Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. Ciência Rural, v.41, p.1315- 1322, 2011.

SANTOS, H. G. dos. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. p.353.

SILVEIRA, E. R. População de artrópodos e produtividade de milho em sistema de integração lavoura-pecuária. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. (Tese de Doutorado)

SIQUEIRA JR., L. A. de. Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2005. p. 72. (Dissertação de Mestrado)

SPERA, S. T. et al. Avaliações de alguns atributos físicos de solo em sistemas de produção de grãos, envolvendo pastagens sob plantio direto. Revista Científica Rural, v. 9, p. 23-31, 2004.

SPERA, S. T. et al. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 32, p. 37-44, 2010.

SPERA, S. T. et al. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos do solo manejado sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.129-136, 2009.

STONE, L.R.; SILVEIRA, P.M. Effects of tillage systems and crop rotation on soil porosity and bulk density. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.395-401, 2001.

TAYLOR, H.M.; BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. Soil & Tillage Research, v.19, p.111-119, 1991.

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.15, p.105-111, 1991.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independente do manejo adotado, o Nitossolo Vermelho teve sua estrutura física pouco alterada. Este solo possui boa estruturação natural e vinha sendo utilizado para atividades agrícolas há pelo menos 10 anos antes da implantação dos experimentos, de forma que possivelmente tenha atingido um novo “equilíbrio” e manterá seus atributos ao longo do tempo, a menos que o manejo seja modificado de forma mais intensa.

A implantação da pastagem com gradagem ou semeadura direta teve pouco efeito sobre os atributos do solo testados. Contudo, o uso de gradagem em sistemas agrícolas está em desconformidade com os princípios do sistema plantio direto, que se caracteriza por ser um sistema conservacionista de uso do solo, de forma que a gradagem, sempre que possível, deve ser evitada.

O uso de pastejos menos intensos, como o uso de pastejo rotacionado com intervalos de entrada dos animais a cada 14 dias ou mais, além da retirada antecipada dos animais da pastagem antes do plantio da cultura de verão em pelo menos 14 dias, tem potencial para manter a qualidade física do solo.

A fertilização suplementar da pastagem, principalmente com aplicação de cama de aves melhorou alguns atributos do solo, aumentou os teores de carbono orgânico total e o pH. Devido ao pastejo, ou seja, a retirada de material orgânico da área, o uso de fertilizantes químicos ou orgânicos na pastagem é indicado para manter os níveis de nutrientes no solo. De forma especial, em pastagem com gramíneas como aveia e/ou azevém, o uso de fertilização suplementar com nitrogênio em cobertura têm função importante na manutenção da capacidade de produção de massa da pastagem, tanto em quantidade como em qualidade.

Vários fatores intrínsecos de cada região podem afetar os sistemas de integração lavoura pecuária. O clima pode influenciar os atributos físicos do solo, principalmente pelos ciclos de umedecimento e secagem, pela umidade do solo no momento do pastejo, além da incidência de geadas ou chuvas excessivamente fortes a ponto de promover a lixiviação de nutrientes ou erosão do solo. A constituição química do solo, a granulometria e uma série de outros fatores também afetam a manutenção ou degradação física do solo e devem ser considerados.



## APÊNDICES

Apêndice A - Tabela de interação entre sistema de implantação da pastagem e tempo de retirada dos animais antes da dessecação nos anos de 2008 e 2009.

Tratamento*	2008				2009			
					Camada			
	0-5	5-10	10-15	15 - 20	0-5	5-10	10-15	15 - 20
<b>Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	1,15	1,24	1,22	1,21	1,06	1,20	1,16	1,13
SD	1,19	1,28	1,24	1,20	1,10	1,20	1,17	1,11
CV%	8	35	6	6	5	2	3	6
Diferimento da pastagem								
14	1,15	1,26	1,21	1,19	1,07	1,21	1,18	1,13 ab
28	1,23	1,26	1,22	1,21	1,11	1,21	1,19	1,15 a
ND	1,14	1,25	1,24	1,22	1,12	1,22	1,14	1,11 ab
SP	1,16	1,26	1,25	1,2	1,01	1,16	1,15	1,09 b
CV%	8	14	5	4	8	5	4	3
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,60	0,57	0,57	0,57	0,62	0,60	0,60	0,60
SD	0,60	0,56	0,55	0,58	0,62	0,60	0,59	0,61
CV%	11	11	9	11	5	2	6	7
Diferimento da pastagem								
14	0,61	0,57	0,57	0,58	0,63	0,60	0,59	0,60
28	0,58	0,57	0,57	0,57	0,61	0,59	0,59	0,59
ND	0,60	0,57	0,56	0,56	0,61	0,59	0,60	0,61
SP	0,61	0,56	0,55	0,59	0,63	0,61	0,60	0,61
CV%	10	4	5	6	4	1	4	3
<b>Macroporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,11	0,11	0,11	0,09	0,17	0,12	0,13	0,11
SD	0,10	0,10	0,09	0,11	0,15	0,13	0,13	0,13
CV%	30	47	44	14	19	17	30	38
Diferimento da pastagem								
14	0,11	0,10	0,10	0,11	0,16 ab	0,12	0,13	0,12
28	0,08	0,12	0,11	0,09	0,15 ab	0,12	0,12	0,11
ND	0,12	0,11	0,1	0,09	0,13 b	0,12	0,13	0,13
SP	0,1	0,09	0,09	0,12	0,20 a	0,14	0,12	0,13
CV%	28	21	22	15	25	21	18	21
<b>Microporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,49	0,47	0,46	0,48	0,45	0,48	0,47	0,49
SD	0,49	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48
CV%	8	8	8	7	5	8	4	6
Diferimento da pastagem								
14	0,50	0,47	0,47	0,47	0,47 a	0,49	0,47	0,48
28	0,49	0,45	0,46	0,48	0,46 ab	0,47	0,47	0,49
ND	0,48	0,46	0,46	0,47	0,48 a	0,48	0,47	0,48
SP	0,50	0,46	0,46	0,47	0,43 b	0,47	0,48	0,48
CV%	10	4	6	4	6	5	3	3

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ).

Apêndice B - Tabela de interação entre sistema de implantação da pastagem e tempo de retirada dos animais antes da dessecação nos anos de 2010 e 2011.

Tratamento	2010				2011			
	0-5	5-10	10-15	15 - 20	0-5	5-10	10-15	15 - 20
<b>Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	1,21	1,14	1,15	1,12	1,13	1,24 a	1,20	1,22
SD	1,24	1,16	1,16	1,16	1,12	0,18 b	1,19	1,19
CV%	4	4	11	7	5	5	8	3
Diferimento da pastagem								
14	1,21	1,16	1,15	1,16	1,16	1,24	1,19	1,21 ab
28	1,25	1,14	1,17	1,14	1,14	1,21	1,21	1,2 b
ND	1,25	1,14	1,14	1,11	1,15	1,22	1,21	1,24 a
SP	1,21	1,17	1,15	1,15	1,05	1,15	1,17	1,19 b
CV%	3	3	3	4	6	5	4	2
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,56	0,60	0,60	0,60	0,56	0,57	0,56	0,55
SD	0,59	0,60	0,61	0,60	0,57	0,57	0,56	0,56
CV%	4	4	7	7	8	6	5	6
Diferimento da pastagem								
14	0,57	0,60	0,60	0,60	0,57	0,57	0,55	0,55
28	0,56	0,59	0,60	0,61	0,56	0,57	0,57	0,55
ND	0,61	0,61	0,60	0,60	0,56	0,57	0,56	0,56
SP	0,57	0,60	0,61	0,60	0,57	0,58	0,57	0,56
CV%	4	5	7	3	6	4	4	3
<b>Macroporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,10	0,16	0,16	0,15	0,11	0,09	0,10	0,09
SD	0,11	0,16	0,16	0,14	0,11	0,10	0,10	0,09
CV%	23	21	22	16	36	32	32	41
Diferimento da pastagem								
14	0,11	0,16	0,16	0,15 ab	0,09	0,08	0,09	0,09
28	0,10	0,17	0,16	0,16 a	0,11	0,09	0,09	0,09
ND	0,12	0,17	0,16	0,16 a	0,11	0,09	0,10	0,09
SP	0,09	0,14	0,16	0,13 b	0,11	0,09	0,11	0,09
CV%	22	15	14	11	22	17	19	23
<b>Microporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>								
Implantação da pastagem								
LG	0,46	0,44	0,44	0,45	0,45	0,49	0,47	0,47
SD	0,47	0,44	0,44	0,45	0,46	0,48	0,47	0,47
CV%	5	9	4	7	6	7	4	2
Diferimento da pastagem								
14	0,46 b	0,45 ab	0,44	0,45 ab	0,48 a	0,48	0,46	0,46
28	0,46 ab	0,42 b	0,44	0,45 ab	0,44 b	0,47	0,47	0,45
ND	0,46 b	0,43 b	0,43	0,43 b	0,45 ab	0,48	0,47	0,47
SP	0,49 a	0,46 a	0,46	0,47 a	0,44 b	0,49	0,46	0,47
CV%	4	5	4	5	5	4	5	2

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ).

Apêndice C - Tabela de interação entre sistema de implantação da pastagem e tempo de retirada dos animais antes da dessecação no ano de 2014.

Tratamento	2014			
	Camada			
	0-5	5-10	10-15	15 - 20
<b>Densidade do solo (Mg m<sup>-3</sup>)</b>				
<b>Implantação da pastagem</b>				
LG	1,17	1,26	1,24	1,18
SD	1,20	1,25	1,23	1,18
CV%	6	4	5	5
<b>Diferimento da pastagem</b>				
14	1,19	1,26	1,24	1,17
28	1,20	1,25	1,22	1,18
ND	1,20	1,26	1,24	1,20
SP	1,16	1,25	1,23	1,18
CV%	3	2	3	3
<b>Porosidade Total (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>				
<b>Implantação da pastagem</b>				
LG	0,63	0,60	0,61	0,62
SD	0,62	0,60	0,61	0,62
CV%	3	4	3	2
<b>Diferimento da pastagem</b>				
14	0,63 ab	0,60	0,61	0,63 a
28	0,61 c	0,61	0,61	0,63 a
ND	0,62 bc	0,60	0,60	0,61 b
SP	0,64 a	0,61	0,62	0,62 ab
CV%	2	2	2	2
<b>Macroporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>				
<b>Implantação da pastagem</b>				
LG	0,14	0,10	0,11	0,11
SD	0,14	0,10	0,11	0,11
CV%	19	12	8	11
<b>Diferimento da pastagem</b>				
14	0,14	0,10	0,10	0,12 a
28	0,13	0,10	0,11	0,12 a
ND	0,13	0,10	0,10	0,10 b
SP	0,15	0,10	0,11	0,12 a
CV%	10	7	7	12
<b>Microporos (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>				
<b>Implantação da pastagem</b>				
LG	0,48	0,50	0,50	0,51
SD	0,49	0,50	0,50	0,51
CV%	5	2	3	3
<b>Diferimento da pastagem</b>				
14	0,49	0,50	0,50	0,51
28	0,49	0,50	0,50	0,51
ND	0,49	0,50	0,50	0,51
SP	0,48	0,50	0,50	0,51
CV%	3	3	2	2

Apêndice D - Tabela de correlação linear de Pearson, média entre os atributos de Nitossolo Vermelho distrófico - Campos Novos – SC (Cap.2).

Variáveis	Ksat	RP	pH	COT	DS
IEA	0.05	0.15	0.43	0.43	0.14
Ksat		0.02	-0.10	0.04	-0.28
RP			0.02	0.01	0.51
pH				0.58	0.16
COT					-0.01

Apêndice E - Interação entre sistema de implantação da pastagem e intensidade pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.

Implan*	Past	BIO	MACRO m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
LG	SP	0,10 aBC	0,18	0,47	0,65	1,09	2,3	148
LG	28D	0,10 bC	0,17	0,47	0,64	1,11	2,6	86
LG	14D	0,05 aA	0,09	0,50	0,59	1,22	3,4	25
LG	7D	0,07 aAB	0,11	0,48	0,59	1,21	3,5	15
SD	SP	0,11 aB	0,19	0,46	0,65	1,10	2,6	159
SD	28D	0,07 aA	0,13	0,48	0,61	1,19	3,1	86
SD	14D	0,07 aA	0,12	0,49	0,61	1,24	3,6	28
SD	7D	0,07 aAB	0,13	0,47	0,60	1,23	3,9	47
Camada 2								
LG	SP	0,07	0,13	0,47	0,60	1,25	3,2 bB	99
LG	28D	0,06	0,12	0,47	0,59	1,31	5,0 aA	28
LG	14D	0,06	0,11	0,46	0,57	1,27	4,6 aAB	32
LG	7D	0,07	0,12	0,45	0,57	1,27	4,1 aAB	45
SD	SP	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	4,4 aA	47
SD	28D	0,07	0,13	0,47	0,60	1,26	4,0 aA	75
SD	14D	0,06	0,11	0,47	0,58	1,32	4,9 aA	25
SD	7D	0,07	0,14	0,46	0,60	1,27	4,4 aA	63
Camada 3								
LG	SP	0,08	0,14	0,46	0,60	1,26	4,0	104
LG	28D	0,07	0,12	0,47	0,59	1,30	4,2	72
LG	14D	0,07	0,12	0,45	0,57	1,27	4,2	55
LG	7D	0,07	0,11	0,46	0,57	1,28	4,6	33
SD	SP	0,07	0,12	0,46	0,58	1,33	4,8	89
SD	28D	0,07	0,12	0,47	0,60	1,29	4,1	101
SD	14D	0,07	0,12	0,46	0,58	1,29	4,1	117
SD	7D	0,08	0,14	0,45	0,59	1,28	4,7	87
Camada 4								
LG	SP	0,06	0,11	0,47	0,59	1,25	3,6 bA	69
LG	28D	0,07	0,12	0,47	0,59	1,27	4,0 aA	73
LG	14D	0,07	0,11	0,48	0,59	1,22	3,8 aA	79
LG	7D	0,07	0,11	0,48	0,58	1,24	4,0 aA	42
SD	SP	0,07	0,12	0,47	0,59	1,31	4,7 aA	118
SD	28D	0,06	0,11	0,47	0,58	1,26	3,8 aAB	80
SD	14D	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	3,6 aB	100
SD	7D	0,07	0,12	0,48	0,60	1,29	4,0 aAB	61

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada4: 15-20 cm.

Apêndice F - Interação entre intensidade pastejo e fertilização nitrogenada nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.

Past	Nitro	BIO	MACRO -----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP Mpa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
SP	C	0,11	0,20 cA	0,46	0,66	1,12	2,7	200
SP	S	0,10	0,17 aA	0,48	0,65	1,08	2,2	112
28D	C	0,09	0,17 bcA	0,46	0,63	1,13	2,7	137
28D	S	0,07	0,13 aA	0,49	0,62	1,18	3,0	47
14D	C	0,05	0,08 aA	0,51	0,59	1,25	3,4	6
14D	S	0,07	0,12 aB	0,49	0,61	1,21	3,6	41
7D	C	0,07	0,12 abA	0,48	0,60	1,23	3,8	21
7D	S	0,07	0,12 aA	0,47	0,59	1,21	3,6	40
Camada 2								
SP	C	0,07 bB	0,13 abA	0,46	0,59	1,28	4,1 aA	72
SP	S	0,06 aA	0,11 aA	0,48	0,59	1,25	3,6 bA	70
28D	C	0,07 abA	0,13 abA	0,46	0,60	1,27	4,6 aA	78
28D	S	0,06 aA	0,11 aB	0,47	0,58	1,31	4,4 abA	25
14D	C	0,05 bB	0,11 bA	0,46	0,57	1,29	4,9 aA	40
14D	S	0,07 aA	0,12 aA	0,46	0,59	1,30	4,5 abA	18
7D	C	0,08 aA	0,14 aA	0,45	0,59	1,24	3,8 aB	70
7D	S	0,06 aB	0,12 aA	0,46	0,58	1,30	4,8 aA	38
Camada 3								
SP	C	0,08	0,14	0,45	0,59	1,29	4,5	101
SP	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,29	4,3	92
28D	C	0,08	0,13	0,46	0,59	1,32	4,4	112
28D	S	0,07	0,12	0,48	0,59	1,28	3,8	61
14D	C	0,07	0,12	0,46	0,58	1,28	4,5	82
14D	S	0,07	0,12	0,45	0,57	1,28	3,7	85
7D	C	0,07	0,12	0,46	0,57	1,30	5,0	58
7D	S	0,08	0,13	0,46	0,59	1,26	4,4	61
Camada 4								
SP	C	0,07	0,12	0,47	0,59	1,26	3,9	96
SP	S	0,07	0,11	0,47	0,59	1,30	4,4	90
28D	C	0,06	0,11	0,47	0,58	1,28	4,1	74
28D	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,24	3,7	79
14D	C	0,07	0,11	0,48	0,59	1,25	3,6	76
14D	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,25	3,8	104
7D	C	0,07	0,11	0,48	0,59	1,25	3,9	62
7D	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,27	4,0	41

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; Nitro: fertilização com ureia; C e S; BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: Densidade do solo; RP: Resistência a penetração do solo; Ksat: Condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

**Apêndice G - Interação entre sistema de implantação da pastagem e fertilização nitrogenada nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após o pastejo de inverno de 2014.**

Implan*	Nitro	BIO	MACRO -----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP MPa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
LG	C	0,08	0,14	0,48	0,62	1,18	3,1	72
LG	S	0,08	0,14	0,48	0,62	1,14	2,9	64
SD	C	0,08	0,15	0,47	0,62	1,19	3,4	104
SD	S	0,08	0,14	0,48	0,62	1,19	3,2	77
Camada 2								
LG	C	0,07	0,13	0,46	0,59	1,26	4,1	55
LG	S	0,06	0,11	0,46	0,58	1,29	4,5	43
SD	C	0,07	0,13	0,46	0,59	1,28	4,6	76
SD	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,29	4,3	33
Camada 3								
LG	C	0,07	0,12	0,46	0,58	1,29	4,6	65
LG	S	0,07	0,12	0,46	0,58	1,26	4,0	67
SD	C	0,08	0,13	0,46	0,59	1,31	4,7	112
SD	S	0,07	0,12	0,46	0,58	1,29	4,1	83
Camada 4								
LG	C	0,07	0,11	0,48	0,59	1,24	3,7	65
LG	S	0,06	0,11	0,47	0,59	1,25	4,0	66
SD	C	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	4,0	89
SD	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,28	4,0	89

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. Nitro: fertilização nitrogenada com ureia; C e S: com ou sem. Bioporos: MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada4: 15-20 cm

**Apêndice H - Interação entre sistema de implantação da pastagem e intensidade pastejo nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.**

Implan*	Past	BIO	MACRO	MICRO	PT	DS	RP	Ksat
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>	MPa	mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
LG	SP	0,07	0,11	0,53	0,64	1,22	4,0	25 aA
LG	28D	0,07	0,12	0,51	0,63	1,22	3,8	37 bA
LG	14D	0,07	0,12	0,51	0,63	1,24	3,7	10 aA
LG	7D	0,06	0,12	0,50	0,62	1,25	3,7	16 aA
SD	SP	0,09	0,14	0,49	0,63	1,18	3,2	55 aB
SD	28D	0,07	0,11	0,51	0,61	1,23	4,2	23 aA
SD	14D	0,08	0,13	0,49	0,62	1,22	3,4	24 aAB
SD	7D	0,08	0,13	0,50	0,63	1,21	3,8	43 aAB
Camada 2								
LG	SP	0,08	0,13	0,49	0,62	1,29	4,5	42
LG	28D	0,08	0,13	0,39	0,52	1,39	4,5	28
LG	14D	0,08	0,12	0,48	0,60	1,34	4,3	25
LG	7D	0,08	0,13	0,48	0,61	1,34	4,7	36
SD	SP	0,09	0,13	0,47	0,60	1,31	4,8	45
SD	28D	0,08	0,13	0,47	0,60	1,30	4,5	83
SD	14D	0,08	0,10	0,49	0,59	1,29	4,3	34
SD	7D	0,07	0,11	0,47	0,59	1,31	4,5	56
Camada 3								
LG	SP	0,08	0,13	0,48	0,61	1,32	5,0	47
LG	28D	0,09	0,14	0,46	0,60	1,29	4,5	112
LG	14D	0,07	0,12	0,47	0,59	1,32	4,7	41
LG	7D	0,07	0,11	0,46	0,58	1,34	4,0	15
SD	SP	0,08	0,12	0,47	0,59	1,30	4,1	65
SD	28D	0,08	0,12	0,46	0,58	1,30	5,0	30
SD	14D	0,08	0,12	0,47	0,59	1,30	3,9	61
SD	7D	0,08	0,13	0,46	0,59	1,32	4,7	61
Camada 4								
LG	SP	0,08	0,12	0,49	0,61	1,28	4,3	36
LG	28D	0,08	0,13	0,48	0,61	1,26	3,5	50
LG	14D	0,08	0,12	0,49	0,61	1,26	3,5	61
LG	7D	0,07	0,11	0,49	0,60	1,32	4,0	32
SD	SP	0,08	0,13	0,48	0,61	1,28	4,2	41
SD	28D	0,09	0,12	0,48	0,60	1,23	3,0	53
SD	14D	0,09	0,13	0,48	0,60	1,25	3,4	56
SD	7D	0,08	0,12	0,48	0,60	1,31	4,1	49

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Implan: Sistema de implantação da pastagem. LG: lanço + gradagem; SD: semeadura direta. Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área. BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada; Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada4: 15-20 cm

**Apêndice I - Interação entre intensidade pastejo e fertilização nitrogenada nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.**

Past	Nitro	BIO	MACRO -----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----	MICRO	PT	DS Mg m <sup>-3</sup>	RP Mpa	Ksat mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
SP	C	0,08 bA	0,12	0,52	0,64 bA	1,18	3,5	47
SP	S	0,08 aA	0,13	0,50	0,63 aA	1,23	3,8	28
28D	C	0,06 aA	0,10	0,51	0,61 aA	1,23	3,5	31
28D	S	0,08 aB	0,13	0,51	0,63 aB	1,23	4,6	28
14D	C	0,08 bA	0,13	0,51	0,63 abA	1,22	3,5	17
14D	S	0,07 aA	0,12	0,50	0,61 aA	1,25	3,6	17
7D	C	0,09 bB	0,14	0,50	0,64 abA	1,20	3,4	53
7D	S	0,06 aA	0,12	0,50	0,62 aA	1,24	4,0	15
Camada 2								
SP	C	0,08	0,12	0,49	0,61	1,31	5,1	53
SP	S	0,09	0,14	0,47	0,61	1,29	4,2	33
28D	C	0,08	0,13	0,38	0,51	1,38	4,5	54
28D	S	0,08	0,13	0,47	0,61	1,31	4,5	56
14D	C	0,08	0,10	0,49	0,59	1,33	4,2	23
14D	S	0,08	0,12	0,48	0,60	1,31	4,4	36
7D	C	0,08	0,12	0,48	0,60	1,34	4,8	50
7D	S	0,07	0,12	0,47	0,59	1,31	4,4	44
Camada 3								
SP	C	0,08	0,13	0,47	0,60	1,30	4,3	43
SP	S	0,08	0,12	0,47	0,60	1,31	4,7	71
28D	C	0,08	0,12	0,46	0,58	1,30	4,8	74
28D	S	0,09	0,13	0,46	0,59	1,29	4,8	67
14D	C	0,07	0,12	0,48	0,59	1,31	4,4	41
14D	S	0,08	0,12	0,47	0,60	1,31	4,2	61
7D	C	0,08	0,12	0,46	0,58	1,32	4,3	45
7D	S	0,07	0,12	0,47	0,58	1,33	4,4	26
Camada 4								
SP	C	0,08	0,12	0,48	0,61	1,28	4,2	45
SP	S	0,08	0,12	0,49	0,62	1,27	4,3	32
28D	C	0,08	0,13	0,47	0,60	1,27	3,5	61
28D	S	0,09	0,13	0,49	0,62	1,22	3,1	42
14D	C	0,09	0,13	0,48	0,61	1,23	3,3	57
14D	S	0,08	0,12	0,48	0,60	1,28	3,6	59
7D	C	0,08	0,12	0,48	0,60	1,33	4,1	27
7D	S	0,07	0,11	0,49	0,60	1,30	3,9	55

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p < 0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; Nitro: fertilização com ureia; C e S: com ou sem. BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: Densidade do solo; RP: Resistência a penetração do solo; Ksat: Condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3: 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

Apêndice J - Interação entre sistema de implantação da pastagem e fertilização nitrogenada nos atributos físicos do Nitossolo Vermelho após a colheita da cultura de verão 2015.

Implan*	Nitro	BIO	MACRO	MICRO	PT	DS	RP	Ksat
			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Mg m <sup>-3</sup>	MPa	mm h <sup>-1</sup>
Camada 1								
LG	C	0,07	0,12	0,52	0,63	1,23	3,6	21
LG	S	0,07	0,12	0,51	0,63	1,24	3,9	23
SD	C	0,08	0,13	0,50	0,63	1,19	3,4	49
SD	S	0,07	0,13	0,50	0,62	1,24	4,0	21
Camada 2								
LG	C	0,08	0,12	0,44	0,56	1,36	4,6	29
LG	S	0,08	0,13	0,48	0,61	1,32	4,4	35
SD	C	0,08	0,12	0,48	0,60	1,31	4,7	60
SD	S	0,08	0,12	0,47	0,59	1,29	4,3	51
Camada 3								
LG	C	0,08	0,12	0,47	0,59	1,31	4,5	52
LG	S	0,08	0,12	0,47	0,59	1,32	4,6	51
SD	C	0,08	0,12	0,46	0,58	1,31	4,4	49
SD	S	0,08	0,12	0,47	0,59	1,30	4,4	61
Camada 4								
LG	C	0,08	0,13	0,48	0,60	1,29	4,0	48
LG	S	0,08	0,12	0,49	0,61	1,27	3,8	40
SD	C	0,08	0,12	0,48	0,60	1,27	3,7	46
SD	S	0,09	0,12	0,48	0,60	1,26	3,7	54

\*Ausência de letras indica que não houve efeito significativo pela ANOVA ( $p<0,05$ ). Past: pastejo; SP: sem pastejo (testemunha); 28D, 14D e 7D: tempo de retorno dos animais para a mesma área; Nitro: fertilização com ureia; C e S: com ou sem. BIO: Bioporos; MACRO: Macroporos; MICRO: Microporos; PT: Porosidade total; DS: densidade do solo; RP: resistência a penetração do solo; Ksat: condutividade hidráulica saturada. Camada 1: 0-5 cm; Camada 2: 5-10 cm; Camada 3 10-15 cm; Camada 4: 15-20 cm.

## Apêndice L - Croqui Experimento 1: Gado de corte (Linha Guarani/CN) (27° 23,640'S e 51°24,255'W, 987m).

## Sistema de semeadura da pastagem:

Semeadura direta	Lanço+grade	Lanço+grade	Semeadura direta
Lanço+grade	Semeadura direta	Semeadura direta	Lanço+grade

Manejo da pastagem (SP: sem pastejo; 28D: retirada 28 dias antes da dessecação - DAD; 14D = retirada 14 DAD; PC = pastejo contínuo (sem diferimento).

PC	28D
28D	14D
SP	SP
14D	PC
28D	28D
PC	14D
SP	PC
14D	SP
14D	28D
SP	SP
PC	14D
28D	PC
SP	14D
14D	PC
28D	28D
PC	SP

Aplicação de cama de aviário – 6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (S = sem aplicação; C = com aplicação)

S	S	C	C		C	S	S	C	C		S	S	C	C
C	C	S	S		S	C	C	S		C	C	S	S	
C	S	S	C		S	S	C	C		S	S	C	C	
S	C	C	S		C	C	S	S		C	C	S	S	

**Apêndice M - Precipitação acumulada (Prec.) mm e temperatura média (Temp.) °C no período de condução dos experimentos.**

Ano**	Mês	Prec.	Temp.	Ano	Mês	Prec.	Temp.
2008	Janeiro	196,0	19,6	2012	Janeiro	222,4	20,2
2008	Fevereiro	116,4	19,7	2012	Fevereiro	181,6	21,8
2008	Março	112,2	19,1	2012	Março	123,9	19,3
2008	Abril	248,7	15,8	2012	Abril	152,1	16,9
2008	Maio	84,8	13,3	2012	Maio	67,9	13,9
2008	Junho	249,0	10,8	2012	Junho	149,8	12,3
2008	Julho	39,7	14,3	2012	Julho	210,4	11,7
2008	Agosto	108,1	14,1	2012	Agosto	0,9	15,2
2008	Setembro	224,8	12,7	2012	Setembro	95,8	15,6
2008	Outubro	408,1	16,3	2012	Outubro	208,8	17,6
2008	Novembro	152,1	17,9	2012	Novembro	10,7	19,7
2008	Dezembro	101,4	19,6	2012	Dezembro	207,8	21,9
2009	Janeiro	191,9	19,2	2013	Janeiro	110,9	19,8
2009	Fevereiro	81,0	20,9	2013	Fevereiro	187,2	20,1
2009	Março	71,2	20,5	2013	Março	213,2	17,7
2009	Abril	22,9	18,1	2013	Abril	124,7	16,0
2009	Maio	222,5	14,6	2013	Maio	102,8	14,0
2009	Junho	60,4	10,5	2013	Junho	212,3	12,6
2009	Julho	282,8	10,3	2013	Julho	130,7	11,5
2009	Agosto	236,6	14,4	2013	Agosto	317,9	12,0
2009	Setembro	497,1	14,4	2013	Setembro	324,1	14,2
2009	Outubro	179,9	17,0	2013	Outubro	179,3	16,0
2009	Novembro	188,2	21,3	2013	Novembro	123,1	18,3
2009	Dezembro	133,7	21,3	2013	Dezembro	161,5	20,8
2010	Janeiro	280,2	21,0	2014	Janeiro	224,2	21,5
2010	Fevereiro	190,0	21,6	2014	Fevereiro	184,6	20,9
2010	Março	230,3	19,3	2014	Março	236,6	18,7
2010	Abril	344,2	16,6	2014	Abril	247,5	17,2
2010	Maio	258,7	13,1	2014	Maio	213,6	13,8
2010	Junho	89,3	12,6	2014	Junho	413,3	12,8
2010	Julho	168,3	12,5	2014	Julho	97,6	12,3
2010	Agosto	84,4	12,9	2014	Agosto	107,0	14,0
2010	Setembro	132,4	15,0	2014	Setembro	280,6	15,9
2010	Outubro	155,6	15,3	2014	Outubro	99,0	18,9
2010	Novembro	82,0	18,2	2014	Novembro	231,9	19,3
2010	Dezembro	244,9	19,7	2014	Dezembro	240,9	20,2
2011	Janeiro	101,5	21,5	2015	Janeiro	303,7	21,1
2011	Fevereiro	361,9	20,7	2015	Fevereiro	198,1	20,3
2011	Março	247,2	18,5	2015	Março	113,8	19,7
2011	Abril	97,1	17,3	2015	Abril	85,8	17,1
2011	Maio	129,9	13,2	2015	Maio	102,5	14,3
2011	Junho	182,9	11,0	2015	Junho	226,0	12,6
2011	Julho	294,1	12,4	2015	Julho	370,0	12,9
2011	Agosto	375,0	12,8	2015	Agosto	85,0	16,9
2011	Setembro	320,9	14,3	2015	Setembro	405,2	16,1
2011	Outubro	234,7	17,0	2015	Outubro	328,5	17,5
2011	Novembro	111,0	17,9	2015	Novembro	288,1	18,5
2011	Dezembro	129,4	19,3	2015	Dezembro	281,5	20,9

\*\*Dados cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI-CIRAM).