

Atributos físicos de um Argissolo sob pastagem natural após 18 anos sob diferentes níveis de ofertas de forragem

Soil physical attributes of a Paleudult under natural pasture after 18 years at different levels of herbage allowances

Júlio Cesar Salton¹, Nilvânia Aparecida de Mello², Márcia Matsuoka³, Paulo César de Faccio Carvalho⁴, Carlos Nabinger⁴, Cimélio Bayer⁵, João Mielniczuk⁵

Recebido em 07/02/2008; aprovado em 12/11/2008.

RESUMO

O ajuste da carga animal à oferta de forragem é uma das formas mais eficientes de conferir sustentabilidade ao uso de pastagens naturais. A definição do nível de oferta deve considerar, além do desempenho animal, aspectos relacionados à qualidade do solo. Este estudo objetivou avaliar atributos físicos de um Argissolo Vermelho Amarelo (300 g kg⁻¹ argila) sob pastagem natural, manejada por 18 anos com intensidades de pastejo representadas por níveis de oferta diária de forragem de 4, 8, 12 e 16 kg de matéria seca para cada 100 kg de peso vivo animal, equivalentes à ofertas de 4, 8, 12 e 16%. Os efeitos do pisoteio e do acúmulo de dejetos pela concentração de animais nas proximidades de fontes de água foram avaliados, dividindo-se os piquetes em dois ambientes: áreas pastejadas normalmente e áreas de concentração dos animais. Uma área não pastejada adjacente ao experimento foi incluída como testemunha. Verificou-se que as alterações nos atributos do solo estão relacionadas à intensidade do pastejo, além de outros fatores como intensidade de pisoteio e distribuição de dejetos. Tais alterações ocorreram, principalmente, na camada superficial do solo, observando-se aumento da densidade e da microporosidade e redução da macroporosidade, quando comparadas à testemunha. Maior estabilidade de agregados foi observada nas ofertas de 8 e 12%.

Os resultados indicam que intensidades de pastejo intermediárias (8-12%) são as mais adequadas para o ambiente estudado.

PALAVRAS-CHAVE: pastagem natural, oferta de forragem, qualidade do solo, agregação.

SUMMARY

The adjustment of stocking rate to the available forage is one of the most efficient ways to enhance sustainability of production in natural pastures. The definition of the best level of herbage allowance must consider results of animal performance, in association with aspects related to the soil. This research aimed to evaluate the physical attributes of a Paleudult soil (300 g kg⁻¹ clay) under natural pasture managed for 18 years with different grazing intensities, represented by daily herbage allowances of 4, 8, 12 and 16 kg dry matter per each 100 kg animal live weight. The effect of trampling and excreta accumulation due to the concentration of animals close to water sources was also evaluated, in comparison with areas regularly grazed. An area without grazing was included as a control. Changes in the soil attributes were observed. They were related to grazing intensity and to other factors, such as trampling intensity and excreta distribution. Such alterations occurred mainly on the soil surface layer, where the soil density and

¹ Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciências do Solo da UFRGS, Pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS.

² Doutoranda do Pós Graduação em Ciências do Solo da UFRGS, Professora da Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Pato Branco, PR.

³ Doutoranda do Pós Graduação em Ciências do Solo da UFRGS, Porto Alegre, RS.

⁴ Professor do Depto de Solos da UFRGS, Cx. Postal 15100, 91540-000, Porto Alegre, RS. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br. Autor para correspondência.

⁵ Professor do Depto de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, Porto Alegre, RS.

microporosity increased, and macroporosity decreased in grazing areas compared to the no-grazed control. The diameter of stable soil aggregates was larger on herbage allowances of 8 and 12%. Results indicate that intermediate grazing intensities (8-12%) are more adequate for this environment.

KEY WORDS: natural pasture, herbage allowance, soil quality, soil aggregation.

INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil está associada histórica e economicamente à pecuária de corte, cuja origem remonta da introdução de bovinos na região, no início do século XVII. Desde então, a atividade pecuária está baseada na exploração das pastagens naturais, particularmente no estado do Rio Grande do Sul. Este ecossistema pastoril é constituído por espécies nativas, cuja diversidade se exemplifica pela existência de cerca de 400 espécies de gramíneas e 150 de leguminosas forrageiras (BOLDRINI, 1997). O manejo incorreto destas pastagens, ao longo de muitos anos, resultou em degradação e em acelerado processo de erosão dos solos. Entre as incorreções de manejo, destaca-se o uso de lotações excessivas, acima da capacidade de suporte dos campos (CARVALHO, 2006). O adequado ajuste da carga animal à oferta de forragem é a forma mais eficiente de manter o ecossistema com produtividade satisfatória.

Trabalhos avaliando os impactos causados por diferentes formas de manejo das pastagens em atributos físicos do solo, verificaram que variações na porosidade e na densidade do solo (DS) foram resultado da lotação de animais, cobertura do solo proporcionada pela pastagem, umidade e textura do solo, bem como efeito do tempo de pastejo (ALEGRE e LARA, 1991; TREIN et al., 1991; SALTON et al., 2001). Muller et al. (2001), ao estudarem pastagens com diferentes formas de manejo e tempos de formação, concluíram que a degradação das pastagens se relaciona à menor cobertura do solo, resultando em aumento da DS na camada superficial, bem como diminuição da porosidade total (PT) e do grau de flocculação de argilas.

Segundo Franzluebbbers et al. (2000), o

agrupamento dos animais em locais com disponibilidade de sombra e água, concentra a deposição dos dejetos de forma muito intensa, o que pode causar várias alterações em atributos do solo. Medidas efetuadas a partir do ponto de maior concentração dos animais em direção ao de menor concentração, demonstraram variações na DS a uma profundidade de até 7,5 cm. Herrick e Lal (1995) verificaram que a deposição de fezes bovinas pode alterar fisicamente o solo, através da redução no valor da DS. A redução ocorre de forma mais intensa na camada superficial e apresenta um gradiente horizontal a partir do centro da mancha formada pelos dejetos.

Bertol et al. (1998) avaliaram alterações em atributos físicos do solo de uma pastagem natural submetida a ofertas de forragem de 4, 8, 12 e 16% e verificaram que algumas propriedades físicas e químicas na superfície do solo foram alteradas pelo manejo das pastagens. A diminuição da oferta de forragem, por meio do conseqüente aumento da carga animal, diminuiu a taxa de infiltração de água no solo, a PT e a estabilidade de agregados e, de forma geral, aumentou a DS.

Em ambiente de pastagem natural do Rio Grande do Sul, a manutenção de intensidade de pastejo equivalente a ofertas de 8 e 12% , respectivamente para a primavera e restante do ano, foi a forma de manejo com melhores resultados de produção animal (SOARES et al., 2005). Contudo, no contexto dos estudos que buscam o manejo sustentável das pastagens naturais, a definição do nível adequado de oferta de forragem não pode se basear apenas nos resultados de produtividade vegetal e animal, mas considerar igualmente as alterações em atributos do solo, tais como variações em sua estrutura, que atuam diretamente no desenvolvimento do sistema radicular das plantas e nos fluxos de água no solo e no ambiente.

Neste estudo, em uma pastagem natural manejada por 18 anos com diferentes intensidades de pastejo, investigou-se a hipótese de que diferentes intensidades de pastejo e a concentração espacial dos animais causam impacto nos atributos físicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área da Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, caracterizada pelo uso contínuo, ao longo de 18 anos, de diferentes ofertas de forragem em uma pastagem natural representativa da região fisiográfica da Depressão Central do Rio Grande do Sul, onde já vinha sendo conduzido um experimento desde 1986, sendo os presentes dados relativos às amostragens realizadas em fevereiro de 2003.

A Estação localiza-se no município de Eldorado do Sul, RS (30°5'55"S; 51°40'18"W), com altitude média de 46 m, sendo o clima do tipo Cfa, (subtropical úmido), segundo classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, tendo a seguinte distribuição granulométrica na camada 0-20 cm de profundidade: 250 g kg⁻¹ de areia grossa, 150 g kg⁻¹ de areia fina, 300 g kg⁻¹ de argila e 300 g kg⁻¹ de silte (BERTOL et al., 1998). O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, com duas repetições, totalizando oito unidades experimentais (piquetes) com área total aproximada de 35 ha.

Os tratamentos constaram de diferentes ofertas de forragem, calculado em kg de matéria seca (MS) por 100 kg de peso vivo por dia e expressas em %, sendo mantidas nos níveis de 4, 8, 12 e 16%. Também avaliou-se uma parcela com acesso vedado aos animais, considerada como testemunha não pastejada. O método de pastejo foi o contínuo com lotação variável, sendo a oferta de forragem controlada pelo número de animais. Conseqüentemente, quanto menor a oferta de forragem, maior o número de animais por unidade de forragem disponível. O ajuste da carga animal para manutenção das ofertas de forragem pretendidas foi realizado mensalmente, a partir da avaliação da quantidade de forragem disponível, segundo procedimento descrito por Soares et al. (2005). As ofertas de forragem avaliadas no presente estudo, de 4, 8, 12 e 16% representam, aproximadamente, taxas de lotação cujas cargas animais são de 700, 470, 380 e 360 kg de peso vivo por hectare, respectivamente (CARVALHO, 2006).

As amostragens foram feitas considerando-

se a distribuição espacial dos animais ao longo do tempo de condução do experimento, tendo-se em cada piquete, dois ambientes distintos: áreas com predominância de uso pelos animais em atividade de pastejo, denominadas "Pastejo", e áreas nas quais os animais permaneciam agrupados, resultando em acúmulo de dejetos, denominada "Social".

Os atributos físicos do solo avaliados foram: densidade do solo (DS), microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP) e porosidade total (PT). Para tanto foram utilizadas amostras indeformadas do solo, sendo coletadas duas sub-amostras por ambiente em cada piquete, utilizando-se anéis de 8,5 cm de diâmetro e com altura de 3, 5 e 7 cm, respectivamente para as camadas de 0-3, 3-8 e 8-15 cm. A PT foi determinada com base na diferença entre a massa da amostra saturada com água e a massa da amostra seca. A MAP foi determinada pela subtração da massa da amostra saturada e a massa da amostra após a drenagem da água retida à tensão de 0,006 MPa, obtida em mesa de tensão. A MIP corresponde à diferença entre a PT e a MAP. A estabilidade de agregados em água foi determinada nas camadas de 0-8 cm e 8-15 cm de profundidade, utilizando-se o método descrito por Carpenedo e Mielniczuk (1990).

A partir dos valores gerados, obteve-se o diâmetro médio ponderado (DMP) que foi calculado conforme a expressão $DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i)$, onde x_i é o diâmetro médio das respectivas classes (mm) e w_i é a proporção (%) de cada classe em relação ao total. Para esta determinação também foram coletadas duas sub-amostras, em cada ambiente e piquete. Também foram feitas coletas em dois locais na área testemunha não pastejada.

Para determinação do teor de carbono foram coletadas, em cada piquete, duas amostras de solo para cada ambiente, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, as quais foram secas ao ar, moídas em gral de ágata e posteriormente submetidas à leitura em equipamento Shimadzu modelo TOC-V CSH, no qual a amostra é aquecida a 950°C e o dióxido de C produzido é quantificado em detector de infravermelho.

Determinou-se, também, a resistência mecânica do solo no campo à penetração (RP), utilizando-se um penetrômetro (Eijkelkamp Penetrologger) equipado com ponteira cônica com

área de 1 cm² e ângulo de 60°. O equipamento foi regulado para penetração à velocidade de 2 cm s⁻¹, realizando leituras a cada 1 cm até 80 cm de profundidade e registrando a força de resistência em MPa. Em cada local de avaliação foram feitas 5 observações totalizando 85 pontos amostrados. Por ocasião das avaliações foram tomadas amostras de solo para determinação da umidade gravimétrica nas camadas 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Os resultados foram submetidos à análise da variância, e a diferença entre médias foi avaliada pelo teste DMS ao nível de 5%. Os resultados de RP foram interpretados tendo como base o erro padrão da média. Foram estabelecidos ajustes entre os valores obtidos para os atributos físicos e as ofertas de forragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição botânica do solo nas diferentes ofertas de forragem

As ofertas de forragem avaliadas no presente estudo, de 4, 8, 12 e 16%, adotadas ao longo dos 18 anos, resultaram em estruturas de vegetação e composições botânicas diferenciadas (SOARES et al., 2005). De modo geral foi possível agrupar quanto a semelhança da vegetação e pisoteio, as ofertas 4 e 8% em um grupo e de 12 e 16% noutro.

Nas áreas com ofertas de 12 e 16%, criou-se um mosaico com a presença de dois estratos de vegetação, sendo um superior composto por espécies dos gêneros *Aristida* spp., *Bacharis* spp., *Andropogon* spp. e *Veronia* spp., de baixa qualidade e subpastejado e outro inferior, constituído, por sua vez, de espécies de maior preferência pelos animais, mantidas superpastejadas (*Paspalum* spp., *Desmodium* spp., *Axonopus* spp., *Stipa* spp., entre outras). Nas maiores ofertas de forragem ocorreu a formação de touceiras, que aumentaram a presença de espécies de baixo valor forrageiro. Conforme Girardi-Deiro e Gonçalves (1987) e Soares et al. (2005), que subdividiram a área experimental de acordo com a declividade do terreno, na oferta de 16% a presença das touceiras foi maior na parte inferior do terreno, ocupando cerca de 65% da superfície, enquanto na metade superior atingiu a cerca de 40%. Na oferta de 8% ocorreu menor diversidade,

e as touceiras ocuparam 22 e 31%, respectivamente para as partes altas e baixas do terreno. Na oferta de 4% não se observou diversidade, pois, com a alta carga animal, todas as espécies foram consumidas, com exceção das que possuem estratégias de escape adequadas a esta situação como o *Paspalum notatum*.

Atributos físicos do solo

Com o aumento da intensidade de pastejo e, conseqüentemente, presença de maior número de animais por unidade de área, verificou-se alterações na estrutura e nas relações massa-volume do solo. Na camada 0-3 cm foi observada diferença entre as ofertas e ambientes em todos os atributos; na camada 3-5 cm os valores de MIP não apresentaram diferenças significativas e; na camada 8-15 cm apenas a MAP teve diferenças significativas. A variabilidade dos dados, expressa pelo coeficiente de variação (CV%), foi mais elevada na camada superficial, reduzindo com o aumento da profundidade para todos os atributos (Tabela 1).

Os valores extremos da DS foram de 1,23 g cm⁻³ na camada de 0 a 3 cm na testemunha, e de 1,62 g cm⁻³ na camada de 3-8 cm na área social da oferta de 8%. Em relação à testemunha, observou-se expressivo aumento da DS na camada superficial das áreas com presença de animais, sendo que apenas o tratamento 8% não diferiu da testemunha nesta camada. Nas demais camadas verificou-se tendência geral de aumento na DS, que pode ser atribuído ao efeito do pisoteio dos animais sobre a superfície do solo. Neste mesmo experimento, Bertol et al. (1998) avaliaram atributos físicos do solo em 1993, sete anos após o início do experimento, apenas no ambiente pastejo. A comparação dos valores de DS, daquele trabalho com os resultados atuais do ambiente Pastejo, evidencia aumento nos valores para as ofertas 4 e 12% na camada 0-3 cm e para as ofertas 8, 12 e 16% na camada 3-8 cm, enquanto que na camada 8-15 cm os valores foram inferiores em todas as ofertas. Estes resultados demonstram o efeito do pisoteio dos animais sobre a DS nas camadas superficiais, tal como observado por Salton et al. (2001), que estudaram a variação da DS em pastagem de aveia-preta com auxílio de geoprocessamento. Os autores mapearam a variabilidade espacial das alterações e observaram

que sob pastejo, houve aumento da DS na camada 0-5 cm em cerca de 60% da área.

Na comparação entre os ambientes não se verificou diferença na DS, embora no ambiente Social o pisoteio tenha sido mais intenso que no ambiente Pastejo. Este fato pode ser atribuído a uma compensação entre o efeito do pisoteio, que tende a aumentar os valores da DS (FRANZLUEBBERS et al, 2000) e o efeito do maior aporte de dejetos, que tende a reduzi-los (HERRICK e LAL, 1995).

A análise de regressão não apresentou ajuste significativo entre os dados de ofertas de forragem e DS (Tabela 4), diferindo do verificado por Bertol et al. (1998), que encontraram ajuste curvilíneo para os dados das camadas 0-3 e 3-6 cm, com os menores valores nos níveis intermediários de oferta de forragem (8 e 12%) e maiores nos extremos (4 e 16%).

O volume e a distribuição do tamanho dos poros do solo, podem sofrer influência do pisoteio,

do desenvolvimento das raízes, da atividade da meso e macrofauna do solo e do acúmulo de dejetos que, por sua vez, são decorrentes das formas de manejo dos animais. Assim sendo, a PT observada na camada superficial, do ambiente Social, foi superior àquela verificada na testemunha, embora apenas na oferta 12% a diferença tenha sido significativa (Tabela 1). Nessa camada também foi verificado maior PT para o ambiente Social em relação ao ambiente Pastejo, para as ofertas 8 e 12%. Nas demais camadas não foram observadas diferenças significativas.

No que diz respeito a MAP, os valores observados apresentaram elevada variabilidade nos dois ambientes avaliados (Tabela 1). Verificou-se, na camada superficial do solo (0-3 cm), valores significativamente inferiores nos ambientes Pastejo e Social em relação à testemunha, independentemente do nível de oferta de forragem, provavelmente, pelo efeito do pisoteio dos animais.

Tabela 1- Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em diferentes camadas e ambientes (Pastejo e Social) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem natural submetida, a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) por 18 anos.

Camada do solo (cm)	Ofertas de forragem (%)	Densidade ---- g cm ⁻³ ---		Macroporosidade -----		Microporosidade ----- cm ³ 100 cm ⁻³ -----		Porosidade Total -----	
		Ambientes da pastagem ⁽¹⁾							
		Pastejo	Social	Pastejo	Social	Pastejo	Social	Pastejo	Social
0 - 3	4	1,56 a	1,55 a	8,76 b	8,17 b	30,30 abc	33,89 ab	39,06 abc	42,06 abc
	8	1,36 cd	1,36 cd	6,75 b	7,98 b	29,31 bc	35,05 ab	36,06 c	43,03 ab
	12	1,55 a	1,52 ab	6,36 b	8,79 b	31,60 abc	36,63 a	37,96 bc	45,42 a
	16	1,38 bc	1,43 abc	6,55 b	7,90 b	34,18 ab	36,22 a	40,73 abc	43,49 ab
	Testemunha		1,23 d		12,68 a		25,22 c		37,89 bc
	CV%	9		40		18		15	
3 - 8	4	1,56 ab	1,57 ab	9,16 ab	5,03 d	24,12 ns	27,91	33,28 ab	32,94 ab
	8	1,57 ab	1,62 a	6,08 cd	6,78 bcd	27,45	27,12	33,52 ab	33,90 ab
	12	1,61 a	1,50 b	6,13 cd	6,47 cd	27,60	29,94	33,74 ab	36,42 a
	16	1,59 ab	1,61 a	7,86 abc	5,80 cd	23,88	27,61	31,74 b	32,41 b
	Testemunha		1,52 b		9,35 a		25,75		35,10 ab
	CV%	5		37		18		11	
8 - 15	4	1,57 ns	1,58	7,11 a	6,14 ab	24,68 ns	25,21	31,78 ns	31,35
	8	1,55	1,55	6,52 ab	6,80 ab	26,14	24,27	32,65	31,06
	12	1,58	1,54	5,08 b	5,87 ab	27,47	25,44	32,55	31,31
	16	1,56	1,54	7,16 a	5,80 ab	24,44	26,30	31,60	31,92
	Testemunha		1,52		6,56 ab		26,13		32,69
	CV%	5		27		15		9	

⁽¹⁾Ambientes da pastagem: Pastejo - área com predominância de atividade de pastejo; Social - área de maior concentração dos animais com acúmulo de dejetos e de pisoteio. Os valores representam a média de duas repetições, e letras iguais indicam semelhança por DMS 5% para aquele atributo em cada camada. CV% = coeficiente de variação.

Nesta camada não foi verificada diferença significativa entre as ofertas, diferentemente do encontrado por Bertol et al. (1998), que relatam maior MAP nas camadas superficiais, à medida que aumentou a oferta de forragem. Na avaliação atual, a camada 3-8 cm apresentou menores valores para o ambiente Social em relação à testemunha e, no ambiente Pastejo, apenas nas ofertas 8 e 12%. Na camada 8-15 cm não se verificou diferenças significativas entre as ofertas e entre estas com a testemunha. Valores elevados de MAP nas áreas com menores ofertas de forragem podem estar associados ao crescimento do sistema radicular e a grande concentração de gramíneas, que predominam nestes locais. Assmann e Assmann (2002) enfatizam a importância da utilização de gramíneas em áreas sob integração lavoura-pecuária pelo seu potencial de produção de biomassa, tanto aérea como radicular, o que confere benefícios ao sistema.

Na análise da microporosidade do solo (MIP), em comparação com a Testemunha, verificaram-se maiores valores no ambiente Social, independentemente de oferta, mas apenas na camada superficial. No ambiente Pastejo, apenas a oferta 16% apresentou MIP significativamente superior à Testemunha. Nas camadas 3-8 e 8-15 cm não foram verificadas diferenças significativas para este atributo.

A concentração de dejetos sobre o solo, além de intensificar a reciclagem de nutrientes, é bastante eficaz em melhorar atributos físicos do solo, especialmente pela presença de fezes (HERRICK e LAL, 1995). Efeitos mais intensos geralmente são observados sobre a DS, resistência à penetração e

infiltração de água, todas propriedades dependentes do conteúdo de carbono presente no solo.

Na Tabela 2 estão relacionados os valores da concentração de carbono orgânico total (COT) obtidos no experimento. Nas ofertas 8 e 16%, em todas as camadas, verificou-se diferenças significativas entre os ambientes, com maiores valores no Social, enquanto que nas ofertas 4 e 12% observou-se apenas tendência de valores superiores no ambiente Social. Em comparação com a testemunha, pode ser verificado que a utilização da pastagem (ambiente Pastejo) com ofertas 4 e 8%, resultou em valores inferiores, na camada 0-5 cm, enquanto que na camada 5-10 cm esta redução ocorreu somente na oferta 8%. Para a camada 10-20 cm, houve significativa redução no teor de COT em todas as ofertas e ambientes, exceto na ambiente social e 16% de oferta, em comparação aos valores da Testemunha. A redução nos teores de COT pela utilização da pastagem pode ser considerada um importante critério de avaliação da qualidade do manejo adotado, uma vez que este atributo está relacionado a diversos outros atributos do solo e ao completo desempenho de suas funções (DORAN e PARKIN, 1994; MIELNICZUK et al., 2003).

A resistência mecânica à penetração (RP) tem sido frequentemente utilizada como um elemento indicador do estado de compactação do solo (BEUTLER et al., 2001), tendo como vantagem a facilidade de determinação. Contudo, deve-se considerar a umidade do solo, a qual influencia os resultados obtidos (KLEIN et al., 1998; IMHOFF ET al., 2000; GENRO JUNIOR et al., 2004).

Tabela 2 - Concentração de carbono orgânico total (COT) em diferentes camadas e ambientes (Pastejo e Social) de um Argissolo sob pastagem natural submetida a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) por 18 anos.

Camada do solo	Ofertas de forragem (%)								Testemunha
	4		8		12		16		
	Ambientes da pastagem ⁽¹⁾								
	Pastejo	Social	Pastejo	Social	Pastejo	Social	Pastejo	Social	
-- cm --	COT (g kg ⁻¹)								
0 - 5	12,05d	14,68bcd	12,59cd	18,94b	14,84bc	19,12b	17,06bc	26,79a	19,46b
5 - 10	10,23bc	11,55bc	9,44c	13,51b	11,66bc	12,39bc	12,93bc	17,03a	13,30b
10 - 20	8,89cde	9,80bcd	8,22e	10,27b	9,90bc	9,63bcd	8,71de	12,41a	12,66a

⁽¹⁾Ambientes da pastagem: Pastejo - área com predominância de atividade de pastejo; Social - área de maior concentração dos animais com acúmulo de dejetos e de pisoteio. Letras iguais, em cada camada de solo, indicam semelhança por DMS 5%.

Os valores de umidade gravimétrica (UG) do solo, foram em média de 11,3 e 11,1%, respectivamente para as camadas 0-20 e 20-40 cm (Tabela 3). Entre os ambientes, observaram-se valores médios superiores para o Social, com 12,1 e 11,9%, em comparação ao Pastejo, com 10,6 e 10,3%, respectivamente para as camadas 0-20 e 20-40 cm. Com relação às ofertas, não se observou tendência clara de variação da UG em função da intensidade de pastejo, embora na camada 0-20 cm do ambiente Social, o aumento da UG coincidiu com o aumento da oferta.

Os valores médios de RP para camadas de 10 cm, desde a superfície até a profundidade de 40 cm, não apresentaram relação significativa com a variação na oferta de forragem (Tabela 4). Em ambos ambientes (Social e Pastejo), os valores obtidos foram em torno de 2 MPa, considerado como resistência moderada (SILVA et al., 2000) que não afeta o desenvolvimento radicular. De forma semelhante ao relatado por Spera et al. (2006), que observaram maior RP em áreas de pastagens de verão e inverno em relação à floresta e ao relatado por Pires et al.

(2006) ao comparar pastagem com área de floresta, o pastejo resultou em maior RP em relação à área testemunha nas camadas 0-10 e 10-20 cm, em todas as ofertas e para ambos ambientes (Social e Pastejo). Porém, nas camadas 20-30 e 30-40 cm ocorreu comportamento inverso, com os valores da Testemunha sendo maiores que os observados nos tratamentos pastejados. Embora não tenham sido coletadas amostras de umidade para a Testemunha, dada a proximidade entre as áreas e a relativa homogeneidade dos valores de UG entre as ofertas de forragem e os ambientes, pode-se inferir que este resultado seja devido à similaridade do solo da área Testemunha.

Na camada de 0-10 cm, para as ofertas de 4 e 8%, nas quais havia mais animais e, portanto, maior pisoteio, não foram verificados maiores valores de RP em comparação às outras ofertas (Tabela 3), possivelmente devido ao fato de que nesta condição ocorre maior acúmulo de dejetos, o que pode compensar o efeito do pisoteio, conforme comentado por Hamza e Anderson (2005). Estes dados enfatizam a importância da deposição de dejetos na camada

Tabela 3- Valores médios para resistência mecânica à penetração (RP), respectivo desvio padrão e umidade gravimétrica (Ug) em diferentes camadas e ambientes (Pastejo e Social) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem natural submetida a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) por 18 anos.

Ofertas de forragem	Ambientes da Pastagem ⁽¹⁾	Camada do solo (cm)					
		0 - 10		10 - 20	20 - 30		30 - 40
		RP (MPa)		Ug (%)	RP (MPa)		Ug (%)
4%	Pastejo	1,84 ±0,46	1,93 ±0,42	9,7	2,26 ±0,63	2,63 ±0,84	9,8
	Social	1,75 ±0,43	2,08 ±0,37	10,3	2,07 ±0,36	2,50 ±0,93	11,8
8%	Pastejo	1,71 ±0,45	1,81 ±0,23	11,4	1,63 ±0,26	1,58 ±0,38	10,3
	Social	1,55 ±0,32	1,78 ±0,30	10,7	1,72 ±0,28	1,60 ±0,32	11,7
12%	Pastejo	2,46 ±0,60	2,37 ±0,39	12,0	2,02 ±0,29	2,04 ±0,33	11,6
	Social	1,97 ±0,76	2,01 ±0,53	12,4	1,70 ±0,31	1,75 ±0,36	10,4
16%	Pastejo	1,90 ±0,56	2,08 ±0,37	9,1	1,82 ±0,37	1,99 ±0,41	9,5
	Social	1,59 ±0,62	1,71 ±0,51	15,1	1,56 ±0,36	1,54 ±0,39	13,6
	Testemunha	1,08 ±0,51	1,58 ±0,40		3,11 ±1,11	3,13 ±0,87	

⁽¹⁾Ambiente Pastejo: área com predominância de atividade de pastejo. Ambiente Social: área de maior concentração dos animais com acúmulo de dejetos e de pisoteio. (Para RP nas ofertas 4 a 16% n=100 e n=50 para a Testemunha)

Tabela 4 - Análise de regressão entre níveis de oferta de forragem e densidade do solo e resistência mecânica à penetração de um Vermelho-Amarelo, com as respectivas equações e a significância dos parâmetros.

Variável	Camada do solo (cm)	Ambientes da Pastagem ⁽¹⁾	Equação de regressão	R ²	P equação
Densidade do solo	0 - 3	Pastejo	$Y = 1,5690^{**} - 0,0025x$	0,73	0,1442
		Social	$Y = 1,3356^{**} + 0,0048x$	0,51	0,2843
	3 - 8	Pastejo	$Y = 1,5561^{*} + 0,0026x$	0,50	0,9426
		Social	$Y = 1,5819^{**} - 0,0006x$	0,01	0,2943
	8 - 15	Pastejo	$Y = 1,5662^{**} - 0,0002x$	0,01	0,9095
		Social	$Y = 1,5885^{**} - 0,0035x$	0,80	0,1053
Resistência mecânica à penetração	0 - 10	Pastejo	$Y = -0,0067x^2 + 0,1576x + 1,2075$	0,27	0,8534
		Social	$Y = -0,0028x^2 + 0,0548x + 1,5050$	0,07	0,9613
	10 - 20	Pastejo	$Y = -0,0027x^2 + 0,0784x + 1,5825$	0,33	0,8172
		Social	$Y = -0,0001x^2 - 0,0220x + 2,1150$	0,41	0,7694
	20 - 30	Pastejo	$Y = 0,0067x^2 - 0,1576x + 2,7025$	0,41	0,7692
		Social	$Y = 0,0033x^2 - 0,1044x + 2,4125$	0,93	0,2677
	30 - 40	Pastejo	$Y = 0,0156x^2 - 0,3490x + 3,6750$	0,64	0,6033
		Social	$Y = 0,0108x^2 - 0,2839x + 3,3925$	0,83	0,4101

⁽¹⁾Ambiente Pastejo: área com predominância de atividade de pastejo. Ambiente Social: área de maior concentração dos animais com acúmulo de dejetos e de pisoteio. Parâmetros da equação com * e ** são significativos pelo teste *t*, respectivamente a 1 e 5% de probabilidade de erro.

superficial, fator que auxilia na elevação do conteúdo de COT no solo, além de proporcionar maior atividade biológica, manifestada pela presença da fauna do solo (STEFAN e ZHANG, 1997) que juntamente com as raízes das plantas, atuam no melhoramento da estrutura do solo (PALADINI e MIELNICZUK, 1991). Estes efeitos manifestaram-se, de forma geral, em todas as camadas, com menor RP no ambiente Social em relação ao Pastejo.

Uma comparação entre os ambientes Social e Pastejo quanto à RP, está apresentada na Figura 1, na qual estão ilustradas as diferenças entre os valores obtidos até a profundidade de 40 cm para as ofertas de forragem. A partir de uma análise geral dos perfis de RP, verifica-se que foi menor no ambiente Social, com exceção para a camada de 7 a 23 cm na oferta 4%, e na camada de 25 a 35 cm para a oferta 8%, onde a RP foi inferior no ambiente Pastejo. Verifica-se que as diferenças entre os ambientes são mais acentuadas na camada de 3 a 7 cm para todas as ofertas, com os menores valores ocorrendo no ambiente Social, o que é coerente com os valores de COT (Tabela 2) observados nestes ambientes, especialmente na camada de 0-5 cm. Além de

melhorar a estrutura do solo, o aumento da matéria orgânica pode resultar em maior umidade, o que foi constatado no ambiente Social em relação ao Pastejo (Tabela 3), favorecendo a redução da RP.

O estado de agregação do solo foi avaliado por meio do diâmetro médio ponderado de seus agregados estáveis (DMP), sendo que os valores na camada superficial do ambiente Pastejo apresentaram resposta curvilínea à oferta de forragem (Figura 2), semelhante à obtida por Bertol et al. (1998), ocorrendo os menores valores de DMP nas ofertas extremas (4 e 16%). Para o ambiente Social, nesta camada verificou-se uma relação linear positiva, com maior DMP à medida que aumenta a oferta de forragem.

Possivelmente, a maior concentração de animais e, conseqüente menor oferta de forragem, foi determinante para a menor agregação do solo observada nas menores ofertas de forragem, uma vez que a formação e a estabilidade dos agregados estão intimamente ligadas ao crescimento das raízes e à dinâmica da matéria orgânica do solo (SALTON et al., 2005).

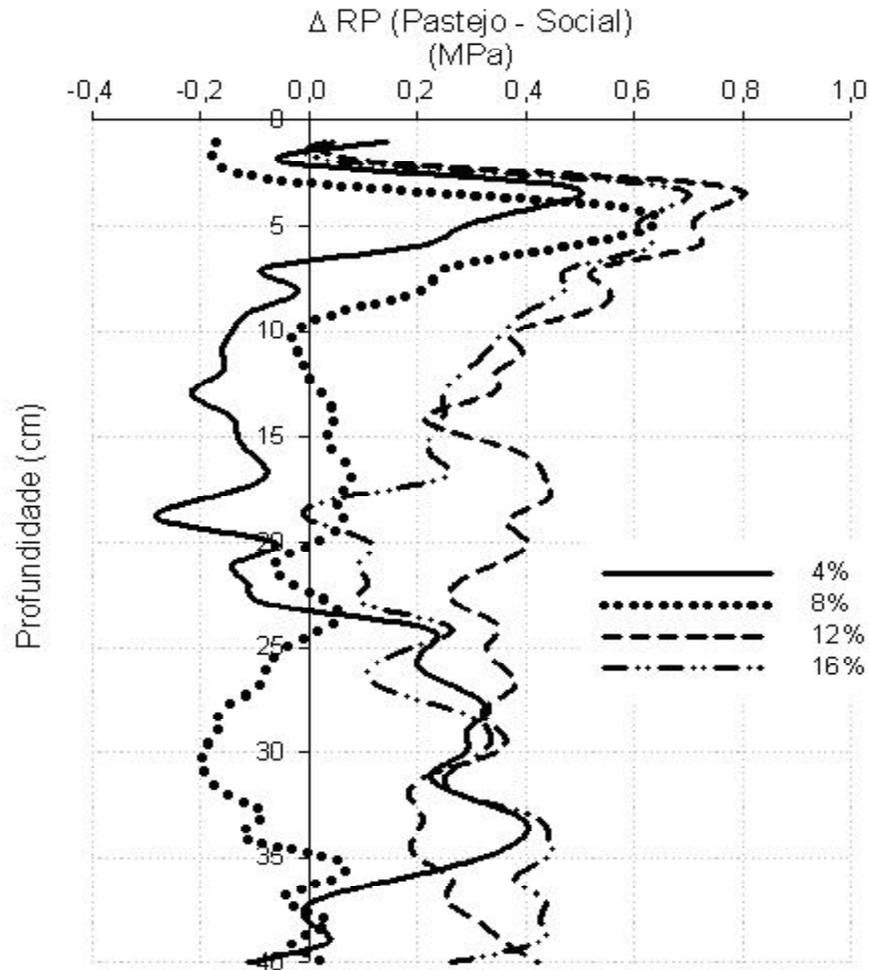


Figura 1- Variação de resistência à penetração mecânica entre o ambiente Pastejo e o ambiente Social ($\Delta RP = RP_{\text{pastejo}} - RP_{\text{social}}$) em função da profundidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem natural submetida a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) por 18 anos. Ambiente Pastejo: predominância de atividade de pastejo. Ambiente Social: concentração dos animais com acúmulo de dejetos e pisoteio. Valores positivos indicam menor RP no ambiente Social. Representação média para 40 determinações por nível de oferta.

No caso das pastagens naturais do Rio Grande do Sul, o aumento da intensidade de pastejo pode resultar em maior frequência de *Paspalum notatum* (GIRARDI-DEIRO e GONÇALVES, 1985), que por sua vez contribui para maior estabilidade de agregados devido a ação do sistema radicular da gramínea (SILVA e MIELNICZUK, 1997). No entanto, este fenômeno não pôde se manifestar plenamente na oferta de 4%, pois o pastejo excessivo estaria limitando a capacidade de rebrota das plantas (MATCHES, 1992), dando início ao processo de degradação da pastagem.

O constante e moderado corte da parte aérea das plantas pode estimular o desenvolvimento do sistema radicular. Porém, nas menores ofertas, a maior intensidade de pastejo determina que os nutrientes que seriam direcionados para o desenvolvimento do sistema radicular, sejam redirecionados para suprir as demandas dos pontos de crescimento, visando a restituição da parte aérea, não ocorrendo, então, o crescimento de novas raízes (DAWSON et al., 2000). Na camada superficial, a existência de agregados maiores no ambiente Social nas ofertas 12 e 16%, podem estar associadas ao maior teor de COT

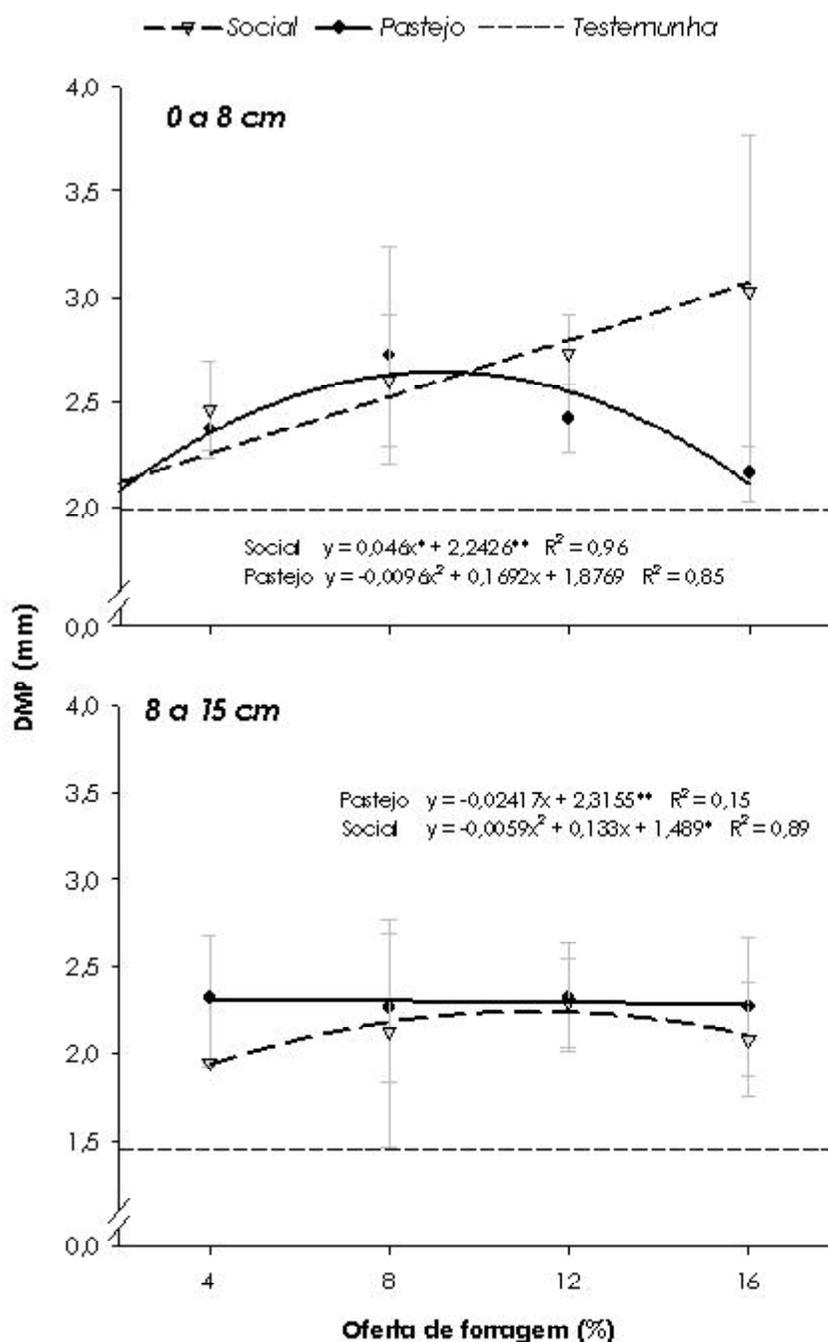


Figura 2 - Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados estáveis em água para duas camadas (0–8 cm e 8–15 cm) e dois ambientes (Pastorejo e Social) de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob pastagem natural submetida a diferentes ofertas de forragem (4, 8, 12 e 16%) por 18 anos. Ambiente Pastorejo: predominância de atividade de pastorejo. Ambiente Social: concentração dos animais com acúmulo de dejetos e pisoteio. Dados médios de duas repetições, com as barras indicando o desvio padrão.

(Tabela 2). Na camada de 8 a 15 cm, os valores para o DMP foram semelhantes entre os ambientes, assim como os valores de COT. Em relação aos dados obtidos por Bertol et al. (1998), o DMP observado foi superior apenas na oferta de 4%.

CONCLUSÕES

A utilização das pastagens naturais por animais em pastorejo, em comparação a áreas não pastejadas, altera os atributos físicos da camada superficial do solo, promovendo aumento da densidade do solo,

da microporosidade, da resistência à penetração mecânica e da estabilidade de agregados e diminuição da macroporosidade.

As diferentes ofertas de forragem e os ambientes resultantes do comportamento ingestivo e social dos animais, alteram os atributos físicos do solo e a concentração dos dejetos de animais, sendo este último o principal fator de alteração destes atributos.

Na definição de práticas de manejo, para promoção simultânea da produção animal e da conservação das pastagens naturais, é necessário considerar as relações entre o solo, vegetação e os animais.

Em uma análise geral das alterações nos atributos físicos do solo, as ofertas intermediárias (8 e 12%) são as mais indicadas para uso neste ambiente.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Agrisus pelo apoio financeiro. Ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa para Paulo César de Faccio Carvalho, Cimélio Bayer e João Mielniczuk.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, J. C.; LARA, P. D. Efecto de los animales en pastoreo sobre las propiedades físicas de suelos de la región tropical húmeda de Perú. **Pasturas Tropicales**, Cali, v.13, n.1, p. 18-23, 1991.
- ASSMANN, A. L.; ASSMANN, T. S. Manejo da biomassa e rotação de culturas no sistema de integração lavoura-pecuária. In: MELLO, N. A.; ASSMANN, T. S. (Eds.) In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIO DO BRASIL, 1., 2002, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET-PR, Unidade de Pato Branco, 2002. p. 85-102.
- BERTOL, I. et al. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p.779-786, 1998.
- BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.167-178, 2001.
- BOLDRINI, I. I. **Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional**. Porto Alegre: UFRGS/Instituto de Biociências, 1997. 39p. Instituto de Biociências. Boletim, 56.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, P. C. F. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. Disponível em: http://www.icarrd.org/en/icarrd_docs_others.html. Acesso em: 20 mar. 2006.
- DAWSON, L. A.; GRAYSTON, S. J.; PATERSON, E. Effects of grazing on the roots and rhizosphere of grasses. In: LEMAIRE, G. et al. (ed.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Wallingford: CAB International, 2000. p. 61-84.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. p. 3-21. In: DORAN, J. W. et al. (ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication**, n. 35, 1994.
- FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; SCHOMBER, H. H. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen pools under grazed tall fescue. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.635-639, 2000.
- GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p. 477-484, 2004.
- GIRARDI-DEIRO, A. M.; GONÇALVES, J. O. N. **Estrutura da vegetação de campo natural submetido a três cargas animais na Região Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Bagé: EMBRAPA-UEPAE Bagé, 1985. 55p. EMBRAPA. UEPAE Bagé. Boletim de pesquisa, 1.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 83, p. 121-145, 2005.
- HERRICK, J. E.; LAL, R. Soil physical property

- changes during decomposition in a tropical pasture. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.59, p.908-912, 1995.
- IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, 2000.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L., SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: v.18, n.2, p.45-54, 1998.
- MATCHES, A. G. Plant response to grazing: A review. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.5, n. 1, p. 1-7, 1992.
- MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.209-248, 2003.
- MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. de F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. da S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1409-1418, 2001.
- PALADINI, F. L. dos S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 135-140, 1991.
- PIRES, L. S.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LEITE, F. P.; BRITO, L. F. Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na região centro-leste de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 687-695, 2006.
- SALTON, J. C. et al. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 29.
- SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACHADO, L. A. Z.; OLIVEIRA, H. **Pastoreio da aveia e compactação do solo**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 5p. Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 48.
- 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**, Campinas, v.21, n.1, p. 113-117, 1997.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.795-801, 2000.
- SOARES, A. B. et al. Produção animal e de forragem em pastagem nativa submetida a distintas ofertas de forragem. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1148-1154, 2005.
- SPERA, S. T. et al. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1193-1200, 2006.
- STEFAN, S.; ZHANG, H. Earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure? **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.29, p.469-475, 1997.
- 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**, Campinas, v.15, p.105-111, 1991.