

SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E RENDIMENTO DE SOJA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA- PECUÁRIA COM DIFERENTES PRESSÕES DE PASTEJO⁽¹⁾

João Paulo Cassol Flores⁽²⁾, Ibanor Anghinoni⁽³⁾, Luis César Cassol⁽⁴⁾,
Paulo César de Faccio Carvalho⁽³⁾, João Guilherme Dal Belo Leite⁽⁵⁾ &
Thiago Isquierdo Fraga⁽⁵⁾

RESUMO

A integração da atividade de lavoura com a de pecuária no sistema plantio direto (SPD) em áreas que permanecem apenas com culturas de cobertura no inverno pode se tornar uma opção de renda para os produtores de grãos no verão, no Sul do Brasil. No entanto, muitos deles relutam em adotar esse sistema de integração, em razão dos possíveis efeitos negativos do pisoteio sobre atributos do solo, principalmente aqueles relacionados à compactação. Este trabalho foi realizado visando determinar as alterações promovidas pelo pisoteio animal sobre atributos físicos do solo e verificar se as alterações resultantes desse pisoteio têm influência no estabelecimento e no rendimento da cultura da soja. O experimento foi realizado em Latossolo Vermelho distroférico, com pastagem de aveia-preta + azevém, manejada em diferentes alturas da pastagem (10, 20, 30 e 40 cm), e uma área não-pastejada. Após o ciclo de pastejo, não houve alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade, independentemente da altura da pastagem. No entanto, a densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas, em relação à não-pastejada. A população inicial de plantas e o rendimento de soja não foram afetados pelas alterações nos atributos físicos do solo.

Termos de indexação: sistemas mistos de produção agrícola, compactação do solo, compressibilidade do solo, produção de soja.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Executado com recursos da FAPERGS e CNPq. Recebido para publicação em outubro de 2005 e aprovado em abril de 2007.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). Bolsista CAPES. E-mail: cassol.flores@ufrgs.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, UFRGS. Bolsistas do CNPq. E-mail: ibanghi@ufrgs.br; paulocfc@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Professor Assistente da Universidade Federal Tecnológica do Paraná. Caixa Postal 571, CEP 85503-390, Pato Branco (PR). E-mail: cassol@mail.crea-pr.org.br

⁽⁵⁾ Acadêmico do Curso de Agronomia, UFRGS. Bolsista de Iniciação Científica. E-mail: dalbeloleite@yahoo.com.br; isquierdofraga@yahoo.com.br

SUMMARY: SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND SOYBEAN YIELD IN AN INTEGRATED LIVESTOCK-CROP SYSTEM WITH DIFFERENT PASTURE HEIGHTS IN NO-TILLAGE

The integration of farming and cattle production activities in no-tillage system areas with winter cover crops can be an income supplement for summer grain farmers. However, many of them are afraid of adopting this integration system, because of possible negative effects of animal treading on soil attributes, mainly of those related to soil compaction. This study was conducted: (1) to determine the alterations in the soil physical attributes promoted by animal treading; (2) to verify if the alterations in soil attributes due to animal treading affect soybean establishment and grain yield. The experiment was carried out with a Rhodic Hapludox (Oxisol), under black oat + ryegrass pasture grazed at different heights (10, 20, 30 and 40 cm) and an ungrazed area. After one cycle of animal treading there were no significant modifications in soil bulk density, porosity and compressibility at different grazing heights. However, soil density and compressibility were higher and the porosity lower in the grazed plots. The soybean population and grain yield were not affected by modifications in the soil physical attributes.

Index terms: integrated animal-farm system, soil compaction, soil compressibility, soybean yield.

INTRODUÇÃO

A área cultivada no sistema plantio direto (SPD) no Estado do Rio Grande do Sul é, atualmente, em torno de quatro milhões de hectares no verão; destes, em torno de dois milhões permanecem apenas com culturas de cobertura de solo no inverno. Dentre as espécies utilizadas com essa finalidade nas áreas sob SPD, destacam-se as misturas aveia-preta + ervilhaca e aveia-preta + azevém, sendo a última combinação de grande potencial para pastejo durante boa parte do ciclo. Nesse contexto, surge a alternativa de adoção de sistemas de integração lavoura-pecuária para obtenção de renda no período de entressafra e a diversificação de atividades na propriedade agrícola, o que é fundamental para uma agricultura eficiente, produtiva e estável (Moraes et al., 2002; Cassol, 2003).

Muitos produtores, porém, relutam em adotar o sistema de integração lavoura-pecuária, pelo receio de que a presença de animais, nas áreas de lavoura de verão, possa resultar em compactação do solo. Em parte os produtores têm razão, pois o pisoteio animal pode causar compactação, sobretudo quando a carga animal é manejada de forma inadequada. O pisoteio intenso de animais em solos úmidos causa compactação, ocasionando severa redução na macroporosidade, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água nas camadas mais superficiais do solo (Tanner & Mamaril, 1959; Taylor & Brar, 1991; Trein et al., 1991; Gaggero, 1998; Bertol et al., 1998, 2000). Essas alterações levam também a um aumento da pressão de pré-consolidação do solo (Lima et al., 2004), sendo essas alterações mais acentuadas em solos argilosos do que em solos arenosos (Tanner & Mamaril, 1959).

Atributos como a densidade, a porosidade, a taxa de infiltração de água e a resistência à penetração têm sido largamente utilizados na avaliação do estado de compactação do solo. Esses atributos, no entanto, não permitem a avaliação do processo de compressão do solo, o que é feito por meio do estudo da sua compressibilidade (Lima et al., 2004). As curvas de compressibilidade ou curvas de compressão uniaxial permitem a determinação da pressão de pré-consolidação do solo, a qual tem tido grande aceitação no meio científico, como um indicador da capacidade de suporte do solo (Larson et al., 1980; Dias Junior & Pierce, 1996). A importância agrícola de se conhecer esse atributo do solo se deve ao fato de que, quando as pressões aplicadas ao solo forem superiores à pressão de pré-consolidação, o solo passará pelo processo de compactação, conforme alertado por Lebert & Horn (1991). Cabe ressaltar que, quando a carga animal é manejada adequadamente, as alterações nos atributos físicos são pequenas e não causam qualquer dano à cultura em sucessão ao pastejo em safras sem a ocorrência de períodos de estiagem (Silva et al., 2000; Albuquerque et al., 2001; Cassol, 2003).

A utilização de sistemas de manejo do solo que envolvam pastejo animal pode acarretar mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o que pode afetar o crescimento e desenvolvimento radicular (Taylor & Brar, 1991; Silva et al., 2000) e a produção das culturas implantadas na seqüência do pastejo (Silva et al., 2000; Albuquerque et al., 2001; Salton et al., 2002). A magnitude dessas alterações, principalmente nos atributos físicos do solo, está na dependência do manejo que é aplicado nas áreas sob pastejo, podendo variar com a textura, o teor de matéria orgânica (Larson et al., 1980; Smith et al., 1997), o

teor de umidade do solo (Tanner & Mamaril, 1959; Trein et al., 1991; Correa & Reichardt, 1995), a biomassa vegetal sobre o solo (Silva et al., 2000, 2003; Mello, 2002), a espécie de planta, a intensidade e tempo de pastejo e a espécie e categoria animal (Correa & Reichardt, 1995; Salton et al., 2002). Por alterarem atributos físicos relacionados com a compactação do solo, essas alterações também podem alterar o comportamento compressivo do solo (Silva et al., 2002). Os efeitos do pisoteio animal sobre os atributos físicos do solo parecem ser potencializados pela ocorrência de períodos de déficit hídrico. Alguns trabalhos (Albuquerque et al., 2001; Cassol, 2003), realizados em áreas pastejadas no inverno, têm mostrado diferenças na produção de culturas entre as áreas não-pastejadas e, ou, com baixa pressão de pastejo, em relação às áreas pastejadas e, ou, com elevadas pressões de pastejo, quando da ocorrência de períodos com restrição hídrica.

Apesar de algumas elucidacões, ainda há diversos questionamentos, especialmente nos sistemas de integraçao lavoura-pecuária sob SPD, sobre o nível de compactação do solo – que pode influir, de forma prejudicial, na produçao das culturas estabelecidas – e sobre os limites de atributos físicos mecânicos que podem impedir a planta de manifestar o seu potencial produtivo (Secco, 2003). Assim, a presenç a de camada superficial compactada pode reduzir a emergência de plantas, além de contribuir para o aumento do escoamento superficial em áreas sob SPD, sendo também dependente do manejo adotado durante o período em que os animais permanecem na área (Trein et al., 1991). Nesse contexto, espera-se observar maiores valores de densidade, de microporosidade e de pressão de pré-consolidação e menores valores de macroporosidade e de porosidade total do solo em áreas com maiores pressões de pastejo. Essas alterações podem resultar em menor estabelecimento inicial e rendimento de grãos da soja, semeada em sucessão à pastagem. No intuito de verificar essas hipóteses, foi realizado este trabalho para: determinar as alterações ocorridas na densidade, na porosidade e na compressibilidade do solo, promovidas pelo pisoteio animal, devido ao manejo da pastagem de inverno em diferentes alturas; e verificar se as alterações nos atributos físicos, promovidas pelo pisoteio, alteram o estande inicial de plantas e o rendimento de grãos de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

A área do experimento pertence à Fazenda do Espinilho, está localizada no município de São Miguel das Missões (RS) e vinha sendo cultivada em semeadura direta por 10 anos, com aveia forrageira (*Avena strigosa*), como planta de cobertura no inverno, e soja (*Glycine max*), no verão. Essa área foi utilizada com pastejo animal pela primeira vez em julho de 2000,

com os bovinos nela permanecendo apenas por três semanas, para permitir o rebrote e a produção de sementes de aveia. O solo é um Latossolo Vermelho distroférico típico (Embrapa, 1999), com textura argilosa (0,54 kg kg⁻¹ de argila, 0,17 kg kg⁻¹ de silte e 0,29 kg kg⁻¹ de areia, na camada de 0,0–20,0 cm).

Em maio de 2001, a área experimental, de aproximadamente 21 ha, foi dividida em três blocos ao acaso de quatro parcelas (piquetes) e três repetições, cujas áreas variaram de um a dois e meio hectares, aproximadamente. Os tratamentos consistiram do manejo de uma mistura forrageira de inverno, composta de aveia forrageira + azevém (*Lolium multiflorum*), em quatro alturas da pastagem: 10, 20, 30 e 40 cm. As alturas da pastagem eram controladas pelo manejo da carga animal nos poteiros. Entre os blocos, duas faixas de 10 m de largura foram isoladas do pastejo, as quais se constituíram no tratamento testemunha. Após o período de pastejo, desenvolvido no período outono-primavera, foram aplicados, no início de dezembro desse ano, 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário na superfície do solo e implantada a soja em semeadura direta, que foi colhida no outono de 2002.

O presente trabalho refere-se ao segundo ciclo pastejo-soja, desenvolvido no período de maio/2002 a maio/2003. A implantação da mistura forrageira, composta por 100 kg ha⁻¹ de aveia forrageira e de 25 kg ha⁻¹ de azevém, ocorreu em 13/5/2002, em linhas distanciadas de 17,5 cm em semeadura direta. Foi utilizada uma adubaçao de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, como superfosfato simples, no momento da semeadura, e 39 dias depois (21/6/2002) foram aplicados 45 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. Os animais, bovinos machos, sem padrão racial, entraram na área no dia 16/7/2002, com peso médio de 0,19 Mg, momento em que o pasto apresentava altura média de 20 cm e acúmulo de forragem de 1,47 Mg ha⁻¹ de matéria seca. Como a altura do pasto foi determinada pela pressão de pastejo, quando os animais entraram na pastagem suas alturas para todos os tratamentos, na média, era igual; 22 dias após o início do pastejo já haviam se estabelecido diferenças entre as alturas do pasto, sendo essas bastante semelhantes às alturas desejadas. Esse ciclo se estendeu até o dia 13/11/2002, perfazendo um período de pastejo de 120 dias. A carga animal média ao longo do período de pastejo e o resíduo vegetal que permaneceu sobre o solo após o pastejo são apresentados no quadro 1.

Após retirada dos animais da área e encerramento do ciclo de pastejo, foi feita uma amostragem de solo (novembro de 2002), para verificar os efeitos do pisoteio animal sobre os atributos físicos. Para avaliação da densidade e da porosidade, foram coletadas amostras indeformadas de solo em anéis metálicos, em três pontos por parcela, nas profundidades de 0,0–2,5, 2,5–5,0 e 5,0–10,0 cm. Na amostragem de solo para determinação da compressibilidade, foram selecionados três tratamentos (10 e 30 cm de altura de manejo do pasto e na área sem pastejo), com coleta de amostras indeformadas com anéis metálicos nas

Quadro 1. Resíduo do pasto + mantilho no final e carga animal média durante os 120 dias de pastejo em área sob plantio direto-integração lavoura/pecuária com diferentes pressões de pastejo no inverno

Altura de manejo do pasto	Resíduo ⁽¹⁾		Carga animal ⁽¹⁾
	Mg ha ⁻¹		
cm			
10	1,73	d ⁽²⁾	1,19 a ⁽³⁾
20	3,82	c	0,94 b
30	4,92	b	0,51 c
40	5,53	ab	0,30 d
Sem pastejo	6,19	a	-

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste DMS ($p < 0,05$). ⁽²⁾ DMS = 1,05. ⁽³⁾ DMS = 0,08.

camadas de 2,5–5,0, 7,5–10,0 e 12,5–15,0 cm. Os anéis foram retirados em triplicata em cada tratamento, coletando-se um ao lado do outro, nas três camadas. Foram selecionados os tratamentos de altura do pasto de 10 e 30 cm e o sem pastejo, por apresentarem situações contrastantes no sistema de integração lavoura-pecuária como um todo.

O ciclo da cultura da soja iniciou-se em 17/12/2002, via semeadura direta, num espaçamento entre linhas de 45 cm, com adubação de plantio de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 0–20–30 e inoculação das sementes com inoculante específico. Utilizou-se para essa operação uma semeadora-adubadora PSM HY-TECH 8000 SFIL, com 2,8 Mg de peso, oito linhas de plantio, disco liso de corte da palha, sulcador de adubo tipo facão e sulcador de sementes com discos duplos desencontrados.

Aos 36 dias após a emergência (DAE) da soja (23/1/2003), foi realizada uma avaliação da população de plantas, contando-se o número daquelas contidas em um metro linear, sendo repetido esse procedimento 10 vezes em cada parcela. O ciclo da soja se estendeu até 1/5/2003, totalizando 134 dias, quando foram coletadas as plantas contidas em um metro linear, em 10 pontos em cada parcela, para determinação do rendimento de grãos. Após a coleta, as plantas foram levadas a laboratório, onde foram destacadas as vagens, que posteriormente passaram por debulha manual; os grãos foram postos em estufa a 50 °C, por um período de 48 h. Na seqüência, foi determinado o teor de umidade e a massa de grãos, ajustando-se o rendimento final para a umidade de 0,13 kg kg⁻¹.

No final do ciclo da soja foi feita nova amostragem de solo, da forma descrita anteriormente, para verificar as alterações ocorridas nos atributos físicos. As amostras de ambas as amostragens destinadas à determinação da macro e da microporosidade foram postas em funis de Buckingham e submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna de água. Na determinação do diâmetro de poros (macro e microporos) foi utilizado

o modelo capilar para o cálculo na tensão de 60 cm de coluna da água (Bouma, 1973). As amostras destinadas à determinação da compressibilidade, após terem sua umidade homogeneizada nos funis de Buckingham, em uma tensão de 60 cm de coluna de água, passaram por testes numa prensa oedométrica, que seguiram o procedimento da ABNT (1990). Na prensa, as amostras foram submetidas a cargas equivalentes a 12,5, 25, 50, 100, 200, 400 e 800 KPa, por um período de 5 min, determinado em ensaios previamente realizados, nos quais se constatou a ocorrência de mais de 95 % da deformação das amostras em cada carga aplicada (Silva et al., 2000). Para construção das curvas de compressibilidade e determinação da pressão de pré-consolidação, utilizou-se o programa Compress 1.0 (Reinert et al., 2003). O método escolhido dentro do *software* para determinação da pressão de pré-consolidação foi o “Casa Grande - Método 1”, pelo fato de se conseguir melhor ajuste manual, em relação ao ajuste feito pelo algoritmo, do ponto de máxima inflexão da curva de compressibilidade.

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise da variância, empregando-se o teste da Diferença Mínima Significativa (DMS) com $p < 0,05$ para separação das médias, utilizando-se do seguinte modelo estatístico para respectiva análise:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \text{erro } a(i,j) + P_k + \text{erro } b(i,k) + AP_{jk} + \text{erro } c(i,j,k)$$

em que B = blocos ($i = 1,2,3$); A = alturas de manejo do pasto ($j = 1,2,3,4,5$); e P = profundidade amostrada ($k = 1,2,3$).

Na análise de variância entre as épocas de amostragem, utilizou-se o mesmo modelo estatístico, alterando-se o fator “A”, denominado alturas de manejo do pasto, para épocas de amostragem ($j = 1,2$), uma vez que essa análise foi feita comparando as médias dentro de cada pressão de pastejo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após quatro meses de pastoreio contínuo, não se verificou efeito das pressões de pastejo sobre os valores de densidade do solo (Quadro 2). A macroporosidade e a porosidade total na camada de 0,0–2,5 cm foram maiores ($p < 0,05$) na área sem pastejo, em relação às demais pressões de pastejo; o contrário aconteceu com a microporosidade (Quadro 2). Assim, nas condições

do experimento, apesar da tendência apresentada, os resultados rejeitam a hipótese de que, com aumento da pressão de pastejo, estabelecer-se-iam níveis crescentes de compactação do solo, com respectiva diminuição da macroporosidade e da porosidade total e aumento da microporosidade. Resultados semelhantes já haviam sido observados por Cassol (2003) no primeiro ciclo de pastejo da área experimental submetida a um período de pastejo de 104 dias.

Quadro 2. Atributos físicos do solo após o ciclo de pastejo e após o cultivo de soja, em área sob plantio direto-integração lavoura/pecuária com diferentes pressões de pastejo no inverno

Altura de manejo do pasto	Pós-pastejo (PP)			Média	Pós-soja (PS)			Média
	Camada (cm)				Camada (cm)			
	0,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0		0,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10,0	
cm	$m^3 m^{-3}$							
	Densidade							
10	1,34	1,37	1,39	1,37 ^{ns(1)}	1,29	1,38	1,40	1,36 A ⁽²⁾
20	1,36	1,34	1,39	1,36 ^{ns}	1,29	1,40	1,38	1,36 A
30	1,32	1,38	1,42	1,37 ^{ns}	1,26	1,36	1,38	1,33 A
40	1,27	1,36	1,40	1,34 ^{ns}	1,19	1,43	1,40	1,34 A
Sem pastejo	1,20	1,31	1,41	1,31 ^{ns}	1,08	1,22	1,35	1,22 B
Média	1,30 ^{c(2)}	1,35 b	1,40 a		1,22 ^{b(2)}	1,36 a	1,38 a	
	Macroporosidade							
10 cm	0,10 b(3)	0,10 a	0,08 a	0,09	0,12	0,09	0,06	0,09 ^{ns(1)}
20 cm	0,11 b	0,12 a	0,08 a	0,10	0,12	0,07	0,06	0,08 ^{ns}
30 cm	0,10 b	0,09 a	0,07 a	0,09	0,11	0,11	0,06	0,09 ^{ns}
40 cm	0,12 b	0,10 a	0,07 a	0,10	0,15	0,08	0,05	0,09 ^{ns}
Sem pastejo	0,18 a	0,10 a	0,04 b	0,11	0,22	0,14	0,09	0,15 ^{ns}
Média	0,12	0,10	0,07		0,14 ^{a(3)}	0,10 a	0,06 b	
	Microporosidade							
10 cm	0,44 a(3)	0,41 ab	0,39 b	0,41	0,42	0,43	0,41	0,42 ^{ns(1)}
20 cm	0,43 a	0,40 b	0,39 b	0,41	0,43	0,45	0,42	0,43 ^{ns}
30 cm	0,43 a	0,42 a	0,41 a	0,42	0,45	0,43	0,44	0,44 ^{ns}
40 cm	0,42 a	0,42 ab	0,42 a	0,42	0,43	0,45	0,43	0,44 ^{ns}
Sem pastejo	0,39 b	0,41 ab	0,41 a	0,40	0,39	0,42	0,43	0,41 ^{ns}
Média	0,42	0,41	0,40		0,42 ^{ns(1)}	0,44 ^{ns}	0,43 ^{ns}	
	Porosidade total							
10 cm	0,54 b(3)	0,52 a	0,47 ab	0,51	0,55	0,52	0,47	0,51 B ⁽²⁾
20 cm	0,54 b	0,52 a	0,47 ab	0,51	0,55	0,51	0,48	0,51 B
30 cm	0,53 b	0,52 a	0,48 a	0,51	0,56	0,53	0,49	0,53 B
40 cm	0,54 b	0,52 a	0,49 a	0,52	0,58	0,53	0,48	0,53 B
Sem pastejo	0,57 a	0,52 a	0,45 b	0,51	0,61	0,56	0,53	0,57 A
Média	0,54	0,52	0,47		0,57 ^{a(2)}	0,53 b	0,49 c	

⁽¹⁾ Diferença entre médias não-significativa (teste DMS $p < 0,05$). ⁽²⁾ Letras minúsculas e maiúsculas comparam, respectivamente, médias nas linhas (tratamentos) e nas colunas (camadas) dentro de cada época. ⁽³⁾ Letras minúsculas em itálico comparam médias dentro das profundidades entre os tratamentos (interação de fatores), dentro de cada época.

A falta de efeito da compactação animal sobre atributos físicos do solo foi também observada por Uhde et al. (1996), após dois pastejos sobre trevo subterrâneo com alta lotação animal e curto intervalo de tempo, e por Bassani (1996) e Silva et al. (2000), em solos mais arenosos que o deste trabalho. A falta de efeitos, nos dois últimos trabalhos, foi atribuída ao resíduo da pastagem de aveia + azevém (2,0 e 1,0 Mg ha⁻¹, respectivamente) que permaneceu sobre o solo durante o período de pastejo. No final do segundo ciclo de pastejo, as quantidades de resíduo vegetal na superfície do solo variaram de 1,85 a 5,4 Mg ha⁻¹, da maior para a menor pressão de pastejo, respectivamente, sendo de 6,05 Mg ha⁻¹ na área sem pastejo (Quadro 1). Portanto, essa cobertura pode justificar a similaridade dos atributos físicos do solo avaliados nas diferentes pressões de pastejo.

O fato de as alterações devido ao pastejo animal na densidade do solo se concentrarem na camada de 0,0–5,0 cm (Quadro 2) concorda com resultados de outros trabalhos realizados no Sul (Trein et al., 1991; Moraes & Lustosa, 1997; Gaggero, 1998) e no Centro-Oeste (Salton et al., 2002) do Brasil. A pressão exercida pelos animais sobre o solo pode atingir valores da ordem de 350 a 400 KPa (Proffitt et al., 1993; Betteridge et al., 1999), que podem ser duplicados quando o animal está em movimento (Nie et al., 2001). Esses valores são superiores à pressão exercida por tratores sobre o solo, cujos valores podem variar de 30 a 150 KPa (Proffitt et al., 1993). A elevada pressão exercida pelos animais sobre o solo se deve ao fato de o seu peso se concentrar em uma pequena área – a do casco (Willatt & Pullar, 1983). As máquinas agrícolas, apesar de terem peso maior do que os bovinos, exercem pressão menor sobre a superfície do solo, uma vez que o seu peso é distribuído em uma área maior (pneus). A pressão exercida sobre o solo é o agente causador da compactação e há evidências de que a compactação superficial está relacionada a essa pressão; já a

compactação subsuperficial está mais relacionada à carga total aplicada por eixo das máquinas agrícolas, independentemente da pressão exercida sobre a superfície (Hamza & Anderson, 2005). Esses relatos ajudam a entender o fato de a compactação do solo causada pelo pisoteio animal se concentrar nas camadas mais superficiais, até 5,0 cm de profundidade (Trein et al., 1991; Moraes & Lustosa, 1997; Gaggero, 1998; Salton et al., 2002).

Após o ciclo da soja, ocorreu somente o efeito do pisoteio animal (no ciclo da pastagem) em relação ao tratamento sem pastejo, provocando maior densidade e menor porosidade total (Quadro 2); houve, porém, efeitos isolados em profundidade, com aumento da densidade, diminuição da macro e da porosidade total (Quadro 2).

Na comparação dos atributos físicos após o pastejo e após a soja (Quadro 3), verifica-se pouca ocorrência de interação ($p < 0,05$) entre os fatores época e profundidade de amostragem, havendo, principalmente, efeito do fator profundidade, não sendo observado, em nenhum dos atributos avaliados, efeito do fator época de amostragem. Assim, nas camadas de 0,0–2,5 e 2,5–5,0 cm, os valores de densidade são numericamente mais baixos, e os de macroporosidade e porosidade total, mais altos, enquanto a microporosidade permanece praticamente inalterada (Quadro 2). Esses resultados concordam com os observados por Moraes & Lustosa (1997), no Paraná, o que levou os autores a concluir que a cultura de verão – no caso, a soja – é capaz de reverter as possíveis alterações promovidas pelo pisoteio nesses atributos do solo. A interpretação desses resultados merece certa atenção, para que não seja difundida a idéia de que a soja seria uma boa cultura para recuperação de áreas com solo compactado. Se tal fato fosse verdadeiro, não haveria razão para se preocupar com a compactação do solo em extensas áreas cultivadas com soja em SPD no Brasil.

Quadro 3. Resumo da análise variância dos resultados obtidos após o ciclo de pastejo e após o ciclo da soja, em área sob plantio direto-integração lavoura/pecuária com diferentes pressões de pastejo no inverno

Altura de manejo do pasto	Densidade		Macroporosidade		Microporosidade		Porosidade total	
	Camada ⁽¹⁾	Interação ⁽¹⁾	Camada	Interação	Camada	Interação	Camada	Interação
10 cm	ns ⁽²⁾	ns	0,019	ns	0,021	ns	0,023	ns
20 cm	-	0,060 ⁽³⁾	-	0,024	ns	ns	-	0,009
30 cm	0,027 ⁽³⁾	ns	ns	ns	ns	ns	0,006	ns
40 cm	0,085	ns	0,031	ns	ns	ns	0,017	ns
Sem Pastejo	0,130	ns	0,064	ns	0,022	ns	0,057	ns

⁽¹⁾ Efeito do fator camada amostrada ou interação entre os fatores camada e época de amostragem. Não houve efeito isolado do fator época em nenhum dos atributos avaliado. ⁽²⁾ Diferença entre médias não-significativa (teste DMS $p < 0,05$). ⁽³⁾ Valores de DMS.

Os resultados dos atributos físicos observados após o cultivo da soja podem ser explicados, ao menos em parte, pelo comportamento compressivo do solo, o qual permite que este se recupere de deformações que lhe foram impostas pela pressão exercida pelos cascos dos animais. Essa recuperação pode ocorrer até o ponto em que a pressão aplicada sobre o solo não atinja a pressão de pré-consolidação; a partir desse ponto, as deformações provocadas no solo passam a ser não-recuperáveis, e considera-se, então, que o solo sofreu compactação (Larson & Gupta, 1980; Larson et al., 1980; Culley & Larson, 1987; Lebert & Horn, 1991; Dias Junior & Pierce, 1995).

Em ambas as amostragens, a pressão de pré-consolidação (σ_c) do solo aumentou com a intensidade de pastejo ($p < 0,05$). Na amostragem efetuada após o pastejo, observaram-se maiores valores médios de σ_c nos tratamentos pastejados em relação à testemunha sem pastejo (SP), o que é atribuído à presença dos animais. Ocorreu aumento da σ_c à medida que se elevou a carga animal do SP para o pastejo a 10 cm de altura (Quadro 4). Esses resultados concordam, ao menos em parte, com a primeira hipótese deste trabalho, uma vez que nas áreas com maior pressão de pastejo ocorre maior aproximação das partículas sólidas do solo (compactação), o que resulta em maiores valores de σ_c , pois, para promover novo rearranjo das partículas nesses tratamentos, seria necessário o emprego de uma força maior.

Os valores de pressão de pré-consolidação foram superiores ($p < 0,05$), na média, em todas as alturas de manejo do pasto na amostragem realizada no final do ciclo da soja, em comparação àquela realizada no

final do período de pastejo (Quadro 4). Esperava-se encontrar maiores valores de σ_c após o pastejo, em relação aos encontrados após a cultura da soja, momento no qual o solo estaria mais compactado (Quadro 4). Num primeiro momento, poder-se-ia pensar que esse comportamento poderia estar ligado a uma menor umidade das amostras (Dias Junior & Pierce, 1996), fato que não se confirmou (valores entre parênteses - Quadro 4). Uma possível explicação para esse comportamento é que o sistema radicular da soja talvez tenha preenchido grande proporção do sistema poroso do solo, determinando aumento da rigidez do sistema, tal como sugerido por Genro Júnior et al. (2004) para justificar o aumento da resistência do solo à penetração após cultivo com guandu. Uma outra explicação para esses resultados seria o trânsito mais intenso de máquinas e implementos na área, devido aos tratamentos culturais dispensados à cultura da soja, mesmo na presença de grande variabilidade espacial, que ocorre naturalmente com os atributos físicos do solo (Tsegaye & Hill, 1998).

A variação de valores de σ_c em áreas com pastejo pode também estar associada ao efeito do pisoteio pelos animais e ao tempo de avaliação (Lima et al., 2004). O primeiro está relacionado à distribuição desuniforme do pisoteio pela área sob pastejo e o segundo é influenciado pelo tempo de pastejo, ou ciclos de pastejo, na mesma área, o que pode levar a uma distribuição mais homogênea do pisoteio em toda a área sob pastejo, diminuindo, dessa forma, a variabilidade (Lima et al., 2004). Esse fato foi comprovado por esses autores, que não verificaram efeito do pisoteio de bovinos sobre a σ_c de um Argissolo Vermelho até o terceiro ciclo de

Quadro 4. Pressão de pré-consolidação do solo após o ciclo de pastejo e após o cultivo de soja, em área sob plantio direto-integração lavoura pecuária com diferentes pressões de pastejo no inverno

Altura de manejo do pasto	Camada (cm)			Média
	2,5-5,0	7,5-10,0	12,5-15,0	
	KPa			
	Pós-pastejo ⁽¹⁾			
10 cm	67,5 (0,26) ⁽⁴⁾	60,7 (0,25)	55,8 (0,26)	61,3 a B ⁽³⁾
30 cm	52,4 (0,26)	49,1 (0,26)	49,8 (0,26)	50,5 b B
Sem pastejo	42,5 (0,28)	49,1 (0,25)	45,6 (0,26)	44,6 c B
	Pós-soja ⁽²⁾			
10 cm	76,9 (0,30)	79,6 (0,29)	79,6 (0,29)	78,7 a A
30 cm	64,5 (0,31)	71,9 (0,31)	79,7 (0,31)	72,0 a A
Sem pastejo	53,3 (0,36)	58,4 (0,30)	66,6 (0,30)	59,4 b A

⁽¹⁾ Letras minúsculas comparam valores médios pós-pastejo. Efeito significativo, pelo teste DMS ($p < 0,05$), para o fator tratamento. DMS = 5,6. ⁽²⁾ Letras minúsculas comparam valores médios pós-soja. Efeito significativo, pelo teste DMS ($p < 0,05$), para o fator tratamento. DMS = 7,7. ⁽³⁾ Letras maiúsculas comparam valores médios entre os mesmos tratamentos pós-pastejo e pós-soja. Efeito significativo, pelo teste DMS $p < 0,05$, para o fator época de amostragem. Valores de DMS: 13,05, 5,96 e 8,42 para os tratamentos 10 cm, 30 cm e sem pastejo, respectivamente. ⁽⁴⁾ Umidade gravimétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

pastejo em sistemas de pastejo intensivo irrigado e não-irrigado. Já no quarto ciclo de pastejo, quando a variabilidade dos dados diminuiu e houve tendência de homogeneização da compactação do solo, foram observadas diferenças na σ_c entre os sistemas de pastejo utilizados. Acredita-se que os resultados obtidos no trabalho de Lima et al. (2004) não se aplicam ao presente trabalho, em razão do tempo de duração do pastejo (3 e 120 dias), do tamanho da área sob pastejo (0,133 e 1,5 a 2,5 ha) e do período entre os ciclos de pastejo (33 e em torno de 190 dias).

As alterações nos atributos físicos do solo decorrentes do pisoteio animal não atingiram níveis prejudiciais para o estabelecimento da soja, implantada após o pastejo. Isso porque a população de plantas aos 36 dias após a emergência (DAE) foi similar nas diferentes alturas de manejo do pasto e na área sem pastejo (Figura 1). Esses resultados demonstram que a soja não encontrou dificuldade para se estabelecer, mesmo nos tratamentos com maior pressão de pastejo.

O rendimento de grãos de soja também não foi influenciado pelo manejo do pasto em diferentes alturas, mesmo variando de 3,59 a 4,05 Mg ha⁻¹, no tratamento 20 cm e para a área sem pastejo, respectivamente (Figura 1). Secco (2003) também constatou que não houve efeito de diferentes estados de compactação sobre a produtividade da cultura da soja, cultivada em dois Latossolos (Vermelho distrófico e Vermelho distroférico), com valores de densidade do solo de 1,62 e 1,54 Mg m⁻³, respectivamente. Também não foi observada interação entre os diferentes níveis de compactação e cultivares de soja num Latossolo Vermelho distroférico (Secco et al., 2004). De acordo com esses autores, os resultados evidenciam que os estados de compactação, obtidos pela passagem de um rolo compressor, mesmo com

valores de densidade do solo de 1,5 Mg m⁻³ e de macroporosidade menores que 0,10 m³ m⁻³ na camada de 5,0–10,0 cm, não foram suficientemente elevados para alterar o rendimento de grãos das cultivares de soja utilizadas.

A ocorrência ou não de períodos de deficiência hídrica para as culturas de verão pode ser importante na observação de efeitos do pisoteio animal, alterando os atributos físicos do solo, sobre o rendimento das culturas de verão. Silva et al. (2000) atribuíram, em parte, a não-observação de influência do pastejo no inverno sobre o rendimento de milho, em um Podzólico Vermelho-Amarelo, à não-ocorrência de déficit hídrico na área. Isso também foi verificado no primeiro ciclo de pastejo do experimento em pauta, em ano em que ocorreu deficiência hídrica (Cassol, 2003). Segundo este autor a ocorrência de períodos de deficiência hídrica atua no sentido de potencializar os efeitos das alterações causadas pelo pisoteio animal, nos atributos físicos, fazendo com que esses se tornem prejudiciais à cultura de verão nessa condição de restrição hídrica.

CONCLUSÕES

1. Após o segundo ciclo de pastejo, não houve alterações na densidade, na porosidade e na compressibilidade do solo submetido a alturas da pastagem variando de 10 a 40 cm. No entanto, a densidade e a compressibilidade foram maiores e a porosidade menor nas áreas pastejadas, em relação às não-pastejadas.

2. As alterações nos atributos físicos do solo verificados nas áreas pastejadas em diferentes alturas e naquelas não-pastejadas não influenciaram o estabelecimento e o rendimento de grãos de soja.

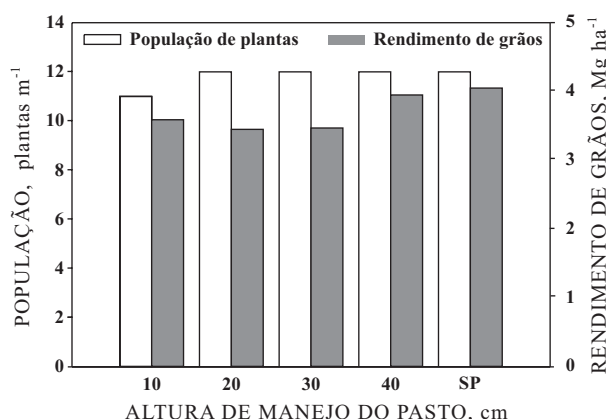


Figura 1. População de plantas (36 DAE) e rendimento de grãos de soja (safra 2002/03) em área sob plantio direto-integração lavoura/pecuária com diferentes pressões de pastejo no inverno. Diferenças não-significativas pelo teste DMS ($p < 0,05$).

LITERATURA CITADA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Ensaio de adensamento unidimensional - NBR 12007. Rio de Janeiro, 1990. 13p.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeito da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- 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. 90p. (Tese de Mestrado)
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X. & KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de ofertas de forragem de capim-elefante anão cv. Mott. Pesq. Agropec. Bras., 35:1047-1054, 2000.

- BERTOL, I.; GOMES, K.E.; DENARDIN, R.B.N.; MACHADO A.Z. & MARASCHIN, G.E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:779-786, 1998.
- BETTERIDGE, K.; MACKAY, A.D.; SHEPHERD, T.G.; BARKER, D.J.; BUDDING, P.J.; DEVANTIER, B.P. & COSTALL, D.A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Aust. J. Soil Res.*, 37:743-760, 1999.
- BOUMA, J. Guide to the study of water movement in soil pedons above the watertable. Madison, University of Wisconsin, 1973. 194p.
- 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. 157p. (Tese de Doutorado)
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:107-114, 1995.
- CULLEY, J.L.B. & LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a lay loam Haplaquoll. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51:562-567, 1987.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:175-182, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- GAGGERO, M.R. Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 125p. (Tese de Mestrado)
- GENRO JÚNIOR, 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:477-484, 2004.
- HAMZA, M.A. & ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005.
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soils orders. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:450-457, 1980.
- LARSON, W.E. & GUPTA, S.C. Estimating critical stress in unsaturated soils from change in pore water pressure during confined compression. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44:1127-1132, 1980.
- LEMBERT, E. & HORN, R. A method to predict the mechanic strength of agricultural soils. *Soil Till.*, 19:287-295, 1991.
- LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S. & LEÃO, T.P. Compressibilidade de um solo sob sistemas de pastejo rotacionado intensivo irrigado e não-irrigado. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:945-951, 2004.
- MELLO, N.A. Degradação física dos solos sob integração lavoura pecuária. In: MELLO, N. & ASSMANN, T.S. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., Pato Branco, 2002. Trabalho apresentado. Pato Branco, 2002. p.43-60.
- MORAES, A. & LUSTOSA, S.B.C. Efeito do animal sobre as características do solo e a produção da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, Maringá, 1997. Anais. Maringá, 1997. p.129-149.
- MORAES, A.; PELISSARI, A.; ALVES, S.J.; CARVALHO, P.C.F. & CASSOL, L.C. Integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. In: ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 1., Pato Branco, 2002. Trabalho apresentado. Pato Branco, 2002. p.3-42.
- NIE, Z.N.; WARD, G.N. & MICHAEL, A.T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on South – Western Victoria. *Aust. J. Soil Res.*, 52:37-43, 2001.
- PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R. & EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red – Brown earth. *Aust. J. Agric. Soil Res.*, 44:317-331, 1993.
- REINERT, D.J.; ROBAINA, A.D. & REICHERT, J.M. Compress – software e proposta de modelo para descrever a compressibilidade do solo e seus parâmetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD ROM
- SALTON, J.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACHADO, L.A.Z. & OLIVEIRA, H. Pastoreio de aveia e compactação do solo. *R. Plantio Direto*, 69:32-34, 2002.
- SECCO, D.; REINERT, D.; REICHERT, J.M. & DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:797-904, 2004.
- SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, A.P.; INHOFF, S. & CORSI, M. Evaluations soil compaction in an irrigated short-duration grazing system. *Soil Till. Res.*, 70:83-90, 2003.
- SILVA, V.R.; REINERT, D. & REICHERT, J.M. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I – Estado inicial de compactação. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1-8, 2002.
- SILVA, V.R.; REINERT, D. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.

- SMITH, C.W.; JOHNSTON, M.A. & LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. II. Soil properties affecting compactibility and compressibility. *Soil Till. Res.*, 43:335-354, 1997.
- TANNER, C.B. & MARMARIL, C.P. Pasture soil compaction by animal traffic. *Agron. J.*, 51:329-331, 1959.
- TAYLOR, H.M. & BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. *Soil Till. Res.*, 19:111-119, 1991.
- TSEGAYE, T. & HILL, R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil physical properties. *Soil Sci.*, 163:143-154, 1998.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:105-111, 1991.
- UHDE, L.T.; COGO, N.P.; TREIN, C.R. & LEVIEN, R. Comportamento da sucessão trevo/milho, em área com e sem pastejo intensivo, sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:493-501, 1996.
- WILLATT, S.T. & PULLAR, D.M. Changes in soil physical properties under grazes pastures. *Aust. J. Soil Res.*; 22:343-348, 1983.