

# COMPACTAÇÃO DO SOLO NA INTEGRAÇÃO SOJA-PECUÁRIA DE LEITE EM LATOSSOLO ARGILOSO COM SEMEADURA DIRETA E ESCARIFICAÇÃO<sup>(1)</sup>

Marcelo Kunz<sup>(2)</sup>, Adriano Dicesar Martins de Araujo Gonçalves<sup>(3)</sup>, José Miguel Reichert<sup>(4)</sup>, Rachel Muylaert Locks Guimarães<sup>(5)</sup>, Dalvan José Reinert<sup>(6)</sup> & Miriam Fernanda Rodrigues<sup>(7)</sup>

## RESUMO

A compactação do solo pelo tráfego de animais é uma preocupação em sistemas integrados lavoura-pecuária. Com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo e pisoteio de animais sobre os atributos físico-hídricos do solo e o desenvolvimento e a produtividade da soja, este experimento foi instalado no ano de 2007, em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado anteriormente por uma década, pelo sistema de plantio direto de grãos em consórcio com forrageira. Avaliou-se a influência do pisoteio dos animais sobre a densidade (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT), resistência do solo à penetração (RP) e o conteúdo de água no solo ( $\theta$ ), bem como a emergência, a altura e a produtividade da soja. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições, com os tratamentos semeadura direta de soja sem pastejo (SD/SP), semeadura direta com pastejo em aveia (SD/CP) e escarificado com pastejo (ESC/CP). As amostras foram coletadas nas camadas de 0,00-0,07; 0,07-0,15; e 0,20-0,30 m, em três épocas: antes do pastejo (agosto de 2007), pós-pastejo (dezembro de 2007) e pós-pastejo (outubro de 2008). Não houve efeito significativo do pastejo sobre a Ds e PT. Aos 140 dias após a semeadura da soja, a RP atingiu valores acima de 2 MPa na camada de 0,00-0,15 m, nos tratamentos SD/SP e SD/CP, mas não limitando o desenvolvimento da cultura. A escarificação do solo sob

---

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós Graduação Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Recebido para publicação em 9 de novembro de 2012 e aprovado em 3 de setembro de 2013.

<sup>(2)</sup> Mestre em Engenharia Agrícola. E-mail: mkunzagricola@gmail.com

<sup>(3)</sup> Pós-doutorando, Departamento de Solos, (DS), Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: admgonca@yahoo.com.br

<sup>(4)</sup> Professor Titular, Departamento de Solos, UFSM. E-mail: reichert@ufsm.br

<sup>(5)</sup> Professora Adjunta, Departamento de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Via do Conhecimento, km 1. CEP 85503-390 Pato Branco (PR). E-mail: rachelguimaraes@utfpr.edu.br

<sup>(6)</sup> Professor Titular, Departamento de Solos, UFSM. E-mail: dalvan@ufsm.br

<sup>(7)</sup> Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFSM. E-mail: miriamf\_rodrigues@yahoo.com.br

**integração lavoura-pecuária em semeadura direta proporcionou condições físico-hídricas menos favoráveis ao desenvolvimento das plantas; a altura de planta no SD/SP foi maior do que nos tratamentos SD/CP e ESC/CP e a menor produtividade de grãos foi obtida com a escarificação do solo, em ano com déficit hídrico.**

**Termo de indexação: interação lavoura-pecuária, pastejo, propriedades físico-hídricas do solo.**

**SUMMARY: SOIL COMPACTION IN A SOY-DAIRY CATTLE SYSTEM ON A CLAYEY OXISOL UNDER NO-TILLAGE AND CHISEL PLOWING**

*Soil compaction from animal traffic is a concern in crop-livestock systems. This experiment was set up in 2007 with the aim of evaluating the effect of different soil management systems and animal traffic on soil physical and water properties and soybean development and yield. The soil evaluated was a dystrophic Red Latosol (Oxisol) under a no-tillage grain crop system intercropped with forage for the past decade. The effect of animal traffic was evaluated in regard to soil bulk density (Bd), macroporosity (Ma), microporosity (Mi), total porosity (TP), soil resistance to penetration (RP) and soil moisture content ( $\theta$ ), as well as soybean emergence, height and yield. A randomized block experimental design was used with three replications, with the treatments of no-tillage soybean cropping without grazing (SD/SP), no-tillage cropping with grazing in oats (SD/CP) and chisel plowing with grazing (ESC/CP). Soil samples were collected in the 0.00 to 0.07 m, 0.07 to 0.15 m and 0.20 to 0.30 m layers at three time periods: before grazing (August 2007), after grazing (December 2007) and after grazing (October 2008). There was no significant effect of grazing on Bd and TP. At 140 days after sowing of soybean, RP reached values above 2 MPa in the 0.00 to 0.15 m layer in the treatments SD/SP and SD/CP, without limiting crop development. Chisel plowing of the soil in crop-livestock integration under the no-tillage system led to soil physical-water conditions less favorable to plant development. Plant height in the SD/SP was greater than in the treatments SD/CP and ESC/CP, and the lowest grain yield was obtained through chisel plowing of the soil in a year with water deficit.*

*Index terms: crop-livestock interaction, grazing, soil physical-water properties.*

## INTRODUÇÃO

A utilização do sistema de produção com integração lavoura-pecuária (ILP), que se caracteriza pela alternância entre a produção de grãos e pastejo de animais em uma mesma área, é um sistema que permite a diversificação da produção, indução de rotação de culturas e ciclagem de nutrientes. No sul do Brasil, esse sistema de produção é muito utilizado por razão econômica, pela falta de opções de culturas comerciais para cultivo no outono/inverno ou pela redução da oferta de forragem nas pastagens perenes de verão (Balbinot Junior et al., 2009a).

Em sistemas de integração lavoura-pecuária, há preocupação com a compactação superficial provocada pelo pisoteio dos animais (Silva et al., 2000). O pisoteio animal pode ter efeito adverso sobre as propriedades físicas do solo, por alterar o sistema poroso dele, com reflexos no seu movimento de água e ar na camada superficial. Isso pode provocar limitações ao crescimento das plantas, principalmente quando o pisoteio ocorre com teor de água favorável à compactação (Collares et al., 2011). Reichert et al. (2009b) definiram limites críticos de densidade do solo (Ds) de acordo com teor de argila; dessa forma, seria

possível inferir o estado de compactação do solo a partir dos valores críticos de sua densidade.

A compactação provocada pelo pisoteio dos animais é condicionada pela granulometria do solo (Correa & Reichardt, 1995), pelo sistema de pastejo, pela altura de manejo da pastagem, pela textura e umidade do solo (Leão et al., 2004), bem como pela quantidade de resíduo vegetal sobre o solo (Silva et al., 2000). Em geral, o efeito do pisoteio sobre os atributos físicos são mais pronunciados nas camadas superficiais do solo. Nesse sentido, Debiasi & Franchini (2012) observaram que o pastejo intensivo de bovino, em um sistema de integração lavoura-pecuária com soja em sucessão à braquiária, causou aumento da resistência à penetração de 1,72 para 3,48 MPa, na camada de 0,00-0,05 m.

Os estudos sobre a qualidade física do solo evoluíram significativamente nos últimos anos, justificados quase sempre pela necessidade de se avaliar o comportamento de diversos atributos físicos desse, em áreas cultivadas e sob pastagens (Lanzanova et al., 2007; Fidalski et al., 2008; Spera et al., 2009; Sales et al., 2010). Diferentes atributos físicos do solo têm sido utilizados para caracterizar as modificações físicas resultantes da sua compactação, ocasionadas pela pressão exercida

pelo tráfego das máquinas agrícolas, pelo pisoteio dos animais ou, ainda, pelos diferentes sistemas de preparo e manejo. Os mais frequentemente utilizados são a densidade e a porosidade do solo (Flores et al., 2007; Lanzanova et al., 2007), a infiltração de água (Lanzanova et al., 2007) e a resistência do solo à penetração (Albuquerque et al., 2001; Tormena et al., 2002). Em áreas de pastagens, as principais diferenças nos atributos do solo geralmente ocorrem nas camadas superficiais (Beutler & Centurion, 2004).

A compactação superficial reduz drasticamente a infiltração de água no solo (Lanzanova et al., 2007), o que pode reduzir o armazenamento de água no solo e contribuir para o aumento do escoamento superficial. Se concentrado próximo à superfície compactada, o sistema radicular torna a planta mais susceptível ao déficit hídrico, limitando a sua capacidade de absorver nutrientes em camadas subsuperficiais (Rosolem et al., 1994).

Com o passar dos anos, a Ds sob sistema plantio direto (SPD) pode diminuir parcialmente, em consequência do aumento no teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo (Costa et al., 2003). A ausência ou o mínimo revolvimento do solo no SPD proporciona maiores teores de água em relação aos sistemas tradicionais de cultivo, em razão da manutenção dos resíduos culturais, que reduzem as taxas de evaporação e mantêm a temperatura do solo mais amena.

A escarificação é uma das alternativas recomendadas para reduzir a compactação dos solos (Camara & Klein, 2005). Essa prática aumenta a porosidade e reduz a densidade (Reichert et al., 2009a), ao mesmo tempo rompe as camadas compactadas. Em razão disso, a escarificação eleva a taxa de infiltração e capacidade de armazenamento de água (Camara & Klein, 2005), reduz a resistência mecânica do solo à penetração e favorece o desenvolvimento das raízes (Reichert et al., 2009a). Apesar dos benefícios oriundos do sistema plantio direto, pode ocorrer aumento do estado de compactação dos solos submetidos a esse sistema (Klein & Boller, 1995), principalmente em locais onde se efetuam as manobras de máquinas (Silva et al., 2004).

O aumento da compactação e a consequente redução do tamanho dos poros, a ponto de impedir a passagem da raiz principal, são compensados pelo aumento do volume de raízes laterais com diâmetros menores, que formam um sistema radicular muito denso e raso que, no campo, dificilmente sobrevive a condições de déficit hídrico (Camargo & Alleoni, 1997).

A elevada compactação do solo reduz a produtividade dos cultivos. Secco et al. (2009) estudaram o efeito de estados de compactação em Latossolos argilosos manejados sob SPD e verificaram que o estado de compactação com valores de Ds de 1,62 e 1,54 Mg m<sup>-3</sup> e de resistência à penetração de 3,4 e 3,8 MPa proporcionaram decréscimo na produtividade do trigo de 18 e 34 %, respectivamente.

Lanzanova et al. (2007) registraram que a elevação da frequência do pisoteio sobre as pastagens de inverno provoca o aumento da Ds na camada de 0,00-0,10 m, aumentando a resistência à penetração e causando a diminuição da taxa de infiltração de água no solo, bem como interferindo negativamente no rendimento de grãos da soja ou do milho subsequente.

Contudo, outros trabalhos têm indicado que não há efeitos negativos do pisoteio animal sobre as propriedades físicas de solos manejados sob plantio direto (Marchão et al., 2007) e nem há melhoria da qualidade física desse (Aratani et al., 2009). Balbinot Junior et al. (2009b) observaram que o uso do solo no inverno com pastagem anual em sistema integração lavoura-pecuária não influencia no desempenho da cultura do feijão semeada em sucessão, manejada em plantio direto. As diferenças na reposta dependem, portanto, do grau de compactação do solo.

Diante do exposto, pressupõe-se que as áreas submetidas ao pisoteio animal apresentaram valores maiores de densidade e umidade e menores de porosidade total e macroporosidade do solo do que as sem pisoteio animal, condição que pode ser alterada por práticas de revolvimento desse, uma vez que plantas cultivadas em áreas com maior estado de compactação permanecem por períodos mais longos sob condições limitantes ao seu desenvolvimento, refletindo na produtividade.

Este estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo com pisoteio animal sobre seus atributos físico-hídricos e relacioná-los com o desenvolvimento e a produtividade da soja cultivada em sucessão à pastagem de inverno.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no ano de 2007, no município de Ibirubá, estado do Rio Grande do Sul. O clima da região enquadra-se na classificação de Köppen, como Cfa (clima subtropical úmido com verões quentes). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico com textura argilosa (Quadro 1), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

A área onde foi instalado o experimento era utilizada com integração lavoura-pecuária, sob plantio

**Quadro 1. Granulometria do Latossolo Vermelho distrófico típico estudado**

Camada	Areia	Silte	Argila
m	g kg <sup>-1</sup>		
0,00-0,07	220	228	552
0,07-0,15	203	214	583
0,20-0,30	189	191	620

direto (SPD) desde 1998, com milho ou soja sob sistema de semeadura direta, no período primavera/verão, e consórcio aveia + azevém, semeado a lanço e incorporado com grade niveladora, no outono/inverno. Realizava-se o pastejo com os animais quando a pastagem apresentava entre 0,30 e 0,40 m de altura, em sistema de rotação de piquetes.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições, em parcelas com 15 m de comprimento e 7 m de largura (105 m<sup>2</sup>). Os tratamentos foram: semeadura direta sem pastejo (SD/SP), semeadura direta com pastejo (SD/CP) e escarificação (ESC/CP). No tratamento SD/SP, as parcelas foram excluídas de pastejo, enquanto nas parcelas do SD/CP e ESC/CP os animais pastejaram livremente durante todo o período de inverno, em pastoreio rotativo controlado na cultura da aveia em sistema intensivo. A escarificação foi realizada no início de novembro de 2007, com um escarificador de cinco hastas, até profundidade de 0,20 m, e, após, efetuou-se o nivelamento superficial do terreno com o uso de uma grade de 28 discos.

A semeadura da soja, cultivar Codetec 212, foi efetuada no dia 15 novembro de 2007. A densidade populacional da soja foi avaliada 60 dias após a semeadura, pela contagem das plantas contidas em um metro linear, sendo esse procedimento realizado em três posições dentro de cada parcela.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas em anéis volumétricos de 0,06 m de diâmetro e 0,05 m de altura, no centro das camadas de 0,00-0,07; 0,07-0,15; e 0,20-0,30 m, para a determinação da densidade (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT) do solo. As coletas foram feitas em três épocas: antes do pastejo, em agosto de 2007; pós-pastejo (2007), em dezembro de 2007; e após pastejo e colheita da soja, em outubro de 2008.

A resistência do solo à penetração (RP) e a umidade volumétrica do solo ( $\theta$ ) foram avaliadas antes do pastejo e durante o ciclo da soja (30, 72 e 140 dias, após a semeadura - DAS). A RP foi determinada a cada 0,015 m de profundidade, com um penetrômetro digital manual com armazenamento eletrônico dos dados. A haste utilizada contém uma ponta cônica com ângulo de penetração de 30° e base com 12,83 mm de diâmetro. As medidas de RP foram feitas na linha (RPL) e nas entrelinhas (RPEL) de semeadura, em três pontos por parcela.

Nos mesmos dias em que se avaliou a RP, determinou-se a  $\theta$  do solo com reflectômetro de domínio de tempo (*Time Domain Reflectometry* - TDR), em duas camadas (0,00-0,10 e 0,10-0,20 m). Foi gerada uma curva de calibração específica para o solo do experimento. A constante dielétrica ( $k_a$ ) foi fornecida pelo TDR e convertida em conteúdo volumétrico de água, utilizando uma equação polinomial cúbica que relaciona o conteúdo de água no solo com a  $k_a$ .

A precipitação pluvial foi monitorada com um pluviômetro instalado dentro da área experimental.

O efeito do pisoteio animal e da escarificação sobre a cultura da soja foi avaliado pela altura das plantas e pelo rendimento de grãos na safra 2007/08. A altura das plantas foi medida mensalmente em três plantas por parcela, enquanto a produtividade da soja foi avaliada efetuando-se a colheita de uma área representativa (7,5 m<sup>2</sup>), em cada parcela experimental. Os resultados de produtividade foram ajustados para umidade de 13 %.

A análise estatística constou de análise de variância e comparações de médias pelo teste DMS (*Least Significant Difference* - LSD) ( $p < 0,05$ ), usando o programa estatístico SAS 9.2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (Ds) (Quadro 2) não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e as camadas estudadas. O valor médio de Ds ultrapassou o valor considerado crítico para o desenvolvimento adequado das plantas. Em Latossolo argiloso, Klein & Camara (2007) encontraram densidade crítica de 1,33 Mg m<sup>-3</sup> pelo método do intervalo hídrico ótimo (IHO), independentemente do sistema de manejo. Reichert et al. (2009b) consideraram que densidades acima de 1,35 Mg m<sup>-3</sup> para solos muito argilosos (62 % de argila) restringem o crescimento radicular das plantas. Principalmente em períodos secos, quando aumenta a resistência do solo à penetração, há deformações morfológicas nas raízes, o que limita o acesso à água e aos nutrientes das camadas mais profundas (Collares et al., 2008).

A porosidade total (PT) do solo (Quadro 2) apresentou valores em torno de 0,46 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e não evidenciou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e as camadas estudadas. Houve apenas um acréscimo da PT na camada de 0,00-0,07 m, onde os valores ficaram em torno de 0,48 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, após o pastejo e a colheita da soja em outubro de 2008. Corretamente manejados e, ou, pastejados, culturas de grãos em rotação com pastagens aumentam a matéria orgânica do solo e melhoram a estrutura física do solo, particularmente o seu espaço poroso (Flores et al., 2007). Conte et al. (2011) avaliaram o efeito das alturas de pastejo e dos sucessivos ciclos de pastejo sobre os atributos físicos do solo, não verificando alterações significativas na densidade e porosidade, após sete anos em ILP, corroborando os resultados verificados neste trabalho.

A microporosidade (Mi) e a macroporosidade (Ma) do solo (Quadro 2) apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas de manejo e as camadas. Os valores de microporosidade permaneceram inalterados nos tratamentos SD/CP e SD/SP, enquanto no tratamento ESC/CP a Mi reduziu logo após a escarificação do solo e retornou aos valores

**Quadro 2. Atributos físicos do solo antes do pastejo e após dois ciclos de pastejo**

Manejo do solo	Antes pastejo 2007				Após pastejo 2007 <sup>(1)</sup>				Após pastejo 2008 <sup>(1)</sup>			
	Camada (m)											
	0,00-0,07	0,07-0,15	0,20-0,30	Média	0,00-0,07	0,07-0,15	0,20-0,30	Média	0,00-0,07	0,07-0,15	0,20-0,30	Média
	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )											
SD/SP	1,48	1,51	1,44	1,48 a	1,47	1,39	1,31	1,39 a	1,46	1,48	1,30	1,41 a
ESC/CP	1,42	1,52	1,42	1,45 a	1,36	1,38	1,40	1,38 a	1,41	1,51	1,31	1,41 a
SD/CP	1,45	1,48	1,43	1,45 a	1,47	1,41	1,35	1,41 a	1,49	1,44	1,36	1,43 a
Média	1,45 A	1,50 A	1,43 A		1,43 A	1,39 A	1,35 A		1,45 A	1,48 A	1,32 A	
	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )											
SD/SP	0,45	0,45	0,46	0,45 a	0,45	0,49	0,50	0,48 a	0,47	0,46	0,52	0,48 a
ESC/CP	0,47	0,44	0,47	0,46 a	0,47	0,47	0,47	0,47 a	0,49	0,45	0,51	0,48 a
SD/CP	0,47	0,45	0,47	0,46 a	0,44	0,46	0,48	0,46 a	0,48	0,45	0,49	0,47 a
Média	0,46 A	0,45 A	0,47 A		0,45 A	0,47 A	0,48 A		0,48 A	0,45 A	0,51 A	
	Microporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )											
SD/SP	0,37	0,38	0,39	0,38a	0,38	0,41	0,40	0,40 a	0,42	0,41	0,43	0,41 a
ESC/CP	0,37	0,35	0,40	0,37a	0,41	0,32	0,33	0,36 b	0,44	0,41	0,38	0,39 b
SD/CP	0,40	0,38	0,37	0,38a	0,38	0,39	0,41	0,39 a	0,44	0,42	0,39	0,41 a
Média	0,38 A	0,37 A	0,39 A		0,39 A	0,37 A	0,38 A		0,43 A	0,38 B	0,40 AB	
	Macroporosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )											
SD/SP	0,08	0,07	0,07	0,07 a	0,07	0,08	0,10	0,08 b	0,05	0,07	0,09	0,07 b
ESC/CP	0,10	0,09	0,07	0,09 a	0,06	0,15	0,14	0,11 a	0,05	0,04	0,13	0,09 a
SD/CP	0,07	0,07	0,10	0,08 a	0,06	0,07	0,07	0,07 b	0,04	0,03	0,10	0,06 b
Média	0,08 A	0,08 A	0,08 A		0,06 AB	0,10 AB	0,10 A		0,05 B	0,07 B	0,11 A	

<sup>(1)</sup> No tratamento SP, as amostras foram retiradas sem pastejo; e, no ESC/CP, coletadas após a escarificação do solo e a semeadura da soja. Médias com letras distintas, minúsculas na coluna e maiúscula na linha, diferem pelo teste DMS (p<0,05).

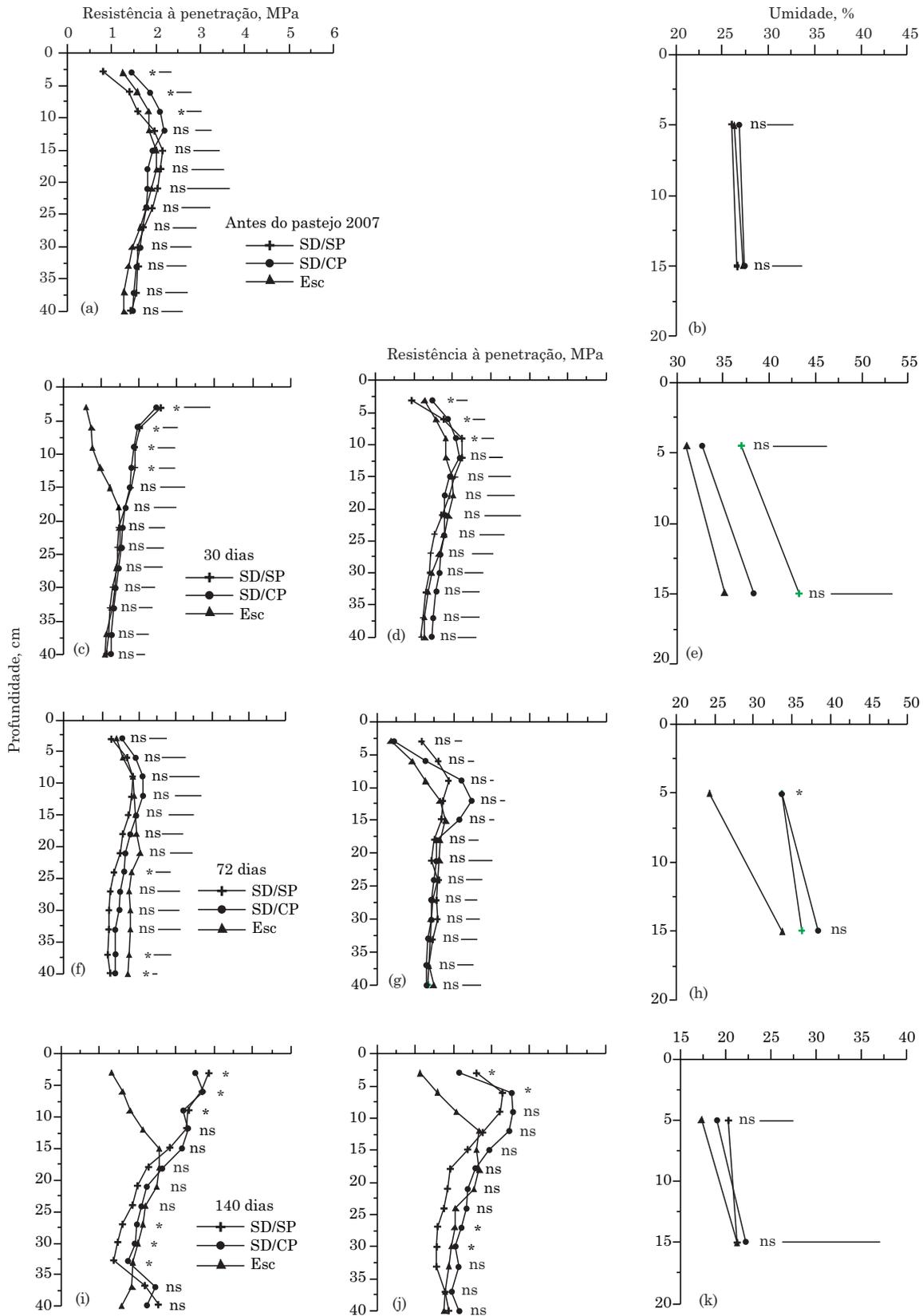
iniciais, após o segundo ano de pastejo. Flores et al. (2007) observaram que a Mi permaneceu praticamente inalterada na comparação dos atributos físicos, após o pastejo e após a soja, em um Latossolo Vermelho distroférico.

A macroporosidade antes do pastejo em 2007 encontrava-se com valor abaixo do nível considerado crítico, inferior a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> (Beltrame et al., 1981), em todos os tratamentos. Essa baixa Ma está associada ao histórico de uso da área com sistema ILP durante 10 anos. No tratamento SD/SP não observou-se alteração na Ma. No tratamento ESC/CP, a escarificação do solo antes da semeadura da soja promoveu pequeno aumento da Ma; entretanto, após o pastejo de 2008, os valores retornaram às condições iniciais do experimento. No tratamento SD/CP, a Ma reduziu em razão do efeito do pastejo, tornando-se mais limitante em relação às condições iniciais do experimento. Após aplicação de elevada taxa de lotação animal em curto período de tempo, Trein et al. (1991) observaram que houve aumento da resistência do solo à penetração mecânica, diminuição da Ma e redução significativa da infiltração de água no solo na camada de 0,00-0,075 m de um Argissolo Vermelho cultivado com pastagens de inverno. Albuquerque et al. (2001) avaliaram os efeitos da integração lavoura-pecuária em sistemas plantio compactado (PC) e plantio direto

(PD) em um Nitossolo Vermelho e observaram drástica redução da Ma, em relação à mata nativa, principalmente na camada de 0,00-0,05 m no PD, com pisoteio durante o inverno.

A SD/CP apresentou maiores valores de Ds e Mi e menores de Ma e PT na camada superficial, quando comparado aos da SD/SP e do ESC/PC. Segundo Pereira et al. (2005), a compactação do solo aumenta sua densidade e a resistência mecânica à penetração, mas diminui a PT, o tamanho e a continuidade dos poros; as reduções significativas ocorrem principalmente no volume dos macroporos, enquanto os microporos permanecem, praticamente, inalterados. Em estudo dos efeitos da presença de animais em oito sistemas de manejo, Marchão et al. (2007) concluíram que sistemas de ILP provocam impacto na qualidade físico-hídrica do solo, apenas na camada de 0,00-0,05 m, em relação à condição original observada no ambiente sob cerrado preservado. Esses impactos podem ser de maior ou menor intensidade, dependendo da textura e das condições de umidade do solo e do tipo de manejo adotado na área.

A resistência do solo à penetração (RP) (Figura 1) foi maior no SD/CP antes do pastejo dos animais (agosto de 2007), até a profundidade de 0,10 m. Essa diferença provavelmente ocorreu em razão da variabilidade espacial da resistência à penetração por



**Figura 1.** Variação da resistência do solo à penetração na linha e entrelinha e da umidade com a profundidade antes do pastejo (a, b), 30 dias (c, d, e), 72 dias (f, g, h) e 140 dias (i, j, k), após a semeadura da soja no manejo escarificado (ESC), semeadura direta sem pisoteio animal (SD/SP) e semeadura direta com pisoteio animal (SD/CP).

causa do histórico de uso da área experimental com o sistema de integração lavoura-pecuária. Nas demais camadas, a RP apresentou comportamento semelhante entre os sistemas e os valores ficaram abaixo de 2,2 MPa (Figura 1a). Esse comportamento diferenciado da RP deve-se à variação na Ds, pois a umidade foi homogênea no perfil em todos os sistemas, ficando em 23 % (Figura 1b), em razão da chuva ocorrida no dia anterior à coleta dos dados (Figura 2).

A RP medida na linha de semeadura (RPL) aos 30 DAS da soja (Figura 1d) teve valores semelhantes aos encontrados na primeira coleta de dados (Figura 1a). Esse efeito pode ser atribuído ao efeito do sulcador da semeadora, que rompe as camadas compactadas até a profundidade de 0,07 m. A RP nas entrelinhas da soja foi reduzida significativamente pela escarificação (Figura 1c), cujo efeito foi até a profundidade de 0,20 m. A umidade volumétrica do solo foi inferior ao do escarificado, indicando que houve aumento na quantidade de macroporos, que facilitam a drenagem e contribuem para o armazenamento nas camadas subjacentes do excedente de água que infiltra na camada escarificada.

A RP aos 72 DAS na cultura da soja foi semelhante em todos os manejos, pois a umidade volumétrica (Figura 1h) do solo esteve alta (>35 %) no SD/CP e SD/SP (Figura 1f,g). O tratamento ESC apresentou umidade do solo significativamente menor na camada superficial (<25 %), mas, mesmo assim, a RP não foi significativamente diferente dos outros manejos. Esse comportamento diferenciado da RP decorre da menor densidade do solo escarificado, o que reduz a resistência do solo, mesmo em condições de baixa umidade.

Aos 140 DAS da soja, a RP atingiu os maiores valores durante o período de avaliação (Figura 1i,j), pois a umidade volumétrica do solo ficou abaixo de 20 % (Figura 1k), em razão do período prolongado sem chuva (Figura 2). Valores de RP acima de 2 MPa podem causar deformações morfológicas do sistema radicular das culturas agrícolas (Collares et al., 2008), o que dificulta o acesso à água e aos nutrientes nas camadas mais profundas do perfil. Os valores de RP acima de 2 MPa ocorreram no SD/CP e SD/SP e o maior incremento aconteceu na camada próxima aos

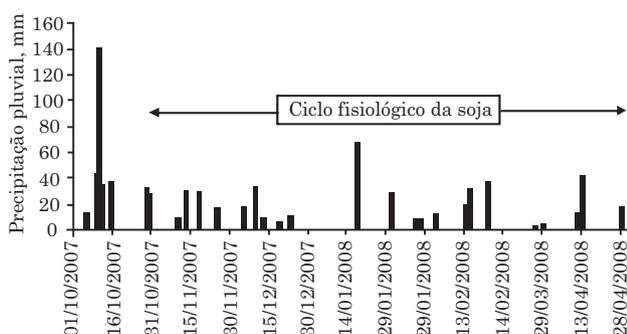


Figura 2. Precipitação pluvial observada durante o ciclo da soja, na safra 2007/08.

0,10 m, onde a Ds foi maior e a Ma menor. A escarificação apresentou menor RP até a profundidade de 0,12 m, onde sucedeu o efeito das hastes no rompimento das camadas compactadas. Tormena et al. (1998) confirmaram que valores de resistência à penetração de 2 MPa começam a provocar redução do crescimento radicular. No entanto, para a cultura da soja, Klein & Vieira (2007) consideraram que a RP de 2 MPa não é limitante para a cultura.

Com a escarificação, houve redução significativa na população de plantas (Quadro 3). Essa redução foi de 25 % no SD/SP, em relação à de 21,7 % no SD/CP. Esse efeito negativo sobre a população de plantas está ligado, possivelmente, ao menor contato entre o solo e a semente na semeadura, o que dificulta a absorção de água pela semente e, ou, leva à desidratação dessa pela alta temperatura que o solo revolvido atinge na superfície. Dessa forma, em sistemas que envolvem o revolvimento excessivo do solo, seria necessário aumentar a densidade de semeadura e realizá-la em condições de solo mais úmido, para evitar a desidratação da semente.

As plantas apresentaram crescimento diferenciado até os 65 DAS entre os manejos adotados, onde a soja apresentou maior altura no SD/SP e menor no ESC/CP (Figura 3). No entanto, no período de floração da soja (78 DAS) a altura das plantas não apresentou diferenças significativas entre os manejos. O solo escarificado proporcionou menor altura de plantas e,

Quadro 3. População e produtividade da soja em três sistemas de manejo do solo

Tratamento	População Produtividade	
	planta ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Semeadura direta com pastejo	217284 a	2152 a
Semeadura direta sem pastejo	229630 a	2048 a
Escarificação	177778 b	1461 b

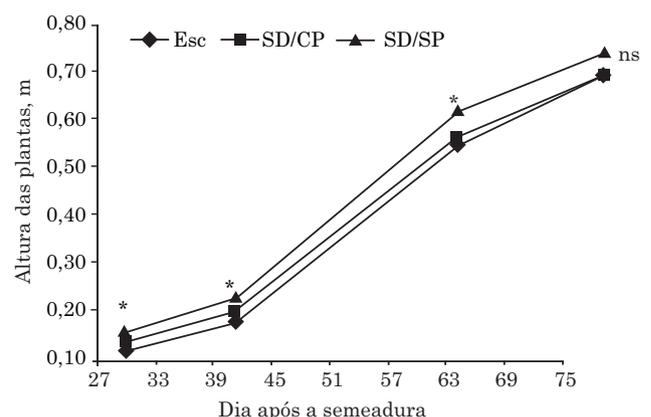


Figura 3. Variação da altura das plantas de soja ao longo do ciclo no manejo escarificado (ESC), na semeadura direta sem (SD/SP) e com pisoteio animal (SD/CP).

consequentemente, menor produção de grãos por hectare (Quadro 3). O SD/SP teve produtividade 32 % maior e o SD/CP 29 % maior, em relação ao manejo escarificado. Dessa forma, a menor RP e o crescimento radicular mais vigoroso não contribuíram para o aumento da produtividade da soja. Esse efeito deve-se à menor retenção de água no manejo escarificado. Em vista disso, ocorreu maior efeito do estresse hídrico durante o período de floração e enchimento de grãos, onde as chuvas foram menos frequentes (Figura 2). A chuva acumulada na safra de soja 2007/2008, em Ibirubá, no período de emergência da planta até a maturação fisiológica da soja, foi de aproximadamente 500 mm, enquanto a média de chuva anual da safra de soja 2006/2007 foi superior em 40 %, de acordo com Defesa Civil/RS (2006).

Na busca de uma solução rápida para a compactação, os produtores escarificam as áreas consideradas compactadas. Com a escarificação ocorre aumento na taxa de infiltração de água e da condutividade hidráulica do solo saturado (Klein & Vieira, 2007). Veiga et al. (2008) comentaram que o preparo do solo aumenta a PT e a Ma e reduz a Ds da camada superficial (0,00-0,05 m), porém esse efeito diminui com o tempo após as operações de preparo, em razão da reconsolidação natural do solo.

A escarificação promoveu alterações nos atributos físicos, as quais interferiram principalmente na população das plantas e, como reflexo final e direto, ocorreu decréscimo da produção de grãos de soja. Entretanto, alguns pesquisadores obtiveram resultados contrários aos deste experimento, como o trabalho de Câmara & Klein (2005), em que a escarificação proporcionou condições físicas e hídricas favoráveis ao desenvolvimento das plantas. Portanto, a necessidade de escarificação de solos sob sistema de semeadura direta é tema ainda controverso.

A maior diferença encontrada entre semeadura direta com e sem pisoteio animal, em relação ao escarificado, foi no conteúdo de água no perfil do solo. O solo sob semeadura direta reteve de 36 a 45 % mais água, em relação ao solo escarificado (Figura 1h). A maior armazenagem da água na SD/SP pode ser atribuída ao revolvimento restrito à linha de semeadura, interferindo menos na distribuição de poros e reduzindo também as perdas por evaporação, pois com a escarificação uma parte da palhada superficial é perdida. Por causa da drenagem da água e do aumento da evapotranspiração, ocorreu baixa disponibilidade hídrica para as raízes no solo escarificado, podendo ser considerado um dos motivos para menor altura e produção das plantas no escarificado, em relação ao SD/CP e SD/SP. Em experimento de Collares et al. (2008), a escarificação do solo não promoveu o aumento da produtividade do feijoeiro e tampouco melhorou suas variáveis de crescimento, mas se evidenciou eficaz em diminuir os efeitos da compactação desse, principalmente na redução da resistência à penetração.

A precipitação pluvial não foi satisfatória durante todo o ciclo da cultura, provocando estresse hídrico na planta. Esse pode ser considerado um dos diferenciais para este experimento, pois a precipitação ocorrida durante o ciclo fisiológico da planta foi de 388 mm de chuva na safra 2007/08, contribuindo, dessa forma, para a permanência da planta no solo por maior parte do tempo sob deficiência hídrica. Com isso, o efeito negativo da escarificação foi maximizado em razão da menor cobertura do solo por resíduos.

## CONCLUSÕES

1. A escarificação não foi uma prática eficaz para reduzir o efeito da compactação do solo em estudo, onde a produção de soja foi inferior ao tratamento com pisoteio animal e sem pisoteio.

2. A densidade e porosidade do solo no sistema de integração lavoura-pecuária não tiveram alterações significativas, o que evidencia que o pastejo em sistema rotativo teve pequeno impacto na sua compactação.

3. A escarificação de solo manejado sob integração lavoura-pecuária em semeadura direta, em ano com déficit hídrico, proporcionou condições físico-hídricas do solo menos favoráveis ao desenvolvimento das plantas, pois nesse caso ocorreu diminuição na altura e, consequentemente, menor produção de grãos.

## LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F. & ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 33:677-687, 2009.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A. & DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. Ci. Rural, 39:1925-1933, 2009a.
- BALBINOT JUNIOR, A.A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. & CARVALHO, P.C.F. Desempenho da cultura do feijão após diferentes formas de uso do solo no inverno. Ci. Rural, 39:2340-2346, 2009b.
- BELTRAME, L.F.S.; GONDIM, L.A.P. & TAYLOR, J.C. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, 5:145-149, 1981.
- BEUTLER, A.N. & CENTURION, J.F. Resistência à penetração em Latossolos: Valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. Ci. Rural, 34:793-1800, 2004.

- CAMARA, R.K. & KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. R. Bras. Ci. Solo, 29:789-796, 2005.
- CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. R. Bras. Ci. Solo, 32:933-942, 2008.
- COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura: pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. Ci. Rural, 41:246-250, 2011.
- CONTE, O.; FLORES, J.P.C.; CASSOL, L.C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; LEVIEN, R. & WESP, C.L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura pecuária. Pesq. Agropec. Bras., 46:1301-1309, 2011.
- CORREA, J.C. & REICHARDT, K. Efeito do tempo de uso das pastagens sobre as propriedades de um Latossolo Amarelo da Amazônia Central. Pesq. Agropec. Bras., 30:107-114, 1995.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FOUTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. R. Bras. Ci. Solo, 7:527-535, 2003.
- DEBIASI, H. & FRANCHINI, J.C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. Ci. Rural, 42:1180-1186, 2012.
- DEFESA CIVIL/RS - BRIGADA MILITAR. Rio Grande do Sul, 2006. Disponível em: <[http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro\\_consulta.asp](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta.asp)>. Acesso em: 04 maio 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Produção de Informação, 2006. 306p.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; CECATO, U.; BARBERO, L.M.; LUGÃO, S.M.B. & COSTA, M.A.T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. Pesq. Agropec. Bras., 43:1583-1590, 2008.
- FLORES, J.P.C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L.C.; CARVALHO, P.C.F.; LEITE, J.G.B. & FRAGA, T.I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. R. Bras. Ci. Solo, 31:771-780, 2007.
- KLEIN, V.A. & BOLLER, W. Avaliação de diferentes manejos de solo e métodos de semeadura em áreas sob sistema de plantio direto. Ci. Rural, 25:395-398, 1995.
- KLEIN, V.A. & CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. R. Bras. Ci. Solo, 31:221-227, 2007.
- KLEIN, V.A. & VIEIRA, M.L. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 31:1271-1280, 2007.
- LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. & REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 31:1131-1140, 2007.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. R. Bras. Ci. Solo, 28:415-423, 2004.
- MARCHÃO, R.L.; BALBINO, L.C.; SILVA, E.M.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SÁ, M.A.C.; VILELA, L. & BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 42:873-882, 2007.
- PEREIRA, J.O.; BENEZ, S.H.; SILVA, S.L.; TABILE, R.A. & TOLEDO, A. Comportamento compressivo de um solo Nitossolo: Efeito do tamanho de agregados, do teor de água e da pressão aplicada. R. Eng. Agríc., 25:749-756, 2005.
- REICHERT, J.M.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J. & RIQUELME, F.B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. Pesq. Agropec. Bras., 44:310-319, 2009a.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. Soil Till. Res., 102:242-254, 2009b.
- ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S. & SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. Bragantia, 53:259-266, 1994.
- SALES, L.E.O.; CARNEIRO, M.A.C.; SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C. & FERREIRA, M.M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. Ci. Agropec., 34:667-674, 2010.
- SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. Ci. Rural, 39:58-64, 2009.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. Ci. Rural, 34:399-406, 2004.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & 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.
- SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S. & TOMM, G.O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 33:129-136, 2009.

- TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. & GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. *Sci. Agric.*, 59:795-801, 2002.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:573-581, 1998.
- TREIN, C.; COGO, N. & 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.
- VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Short and long term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a southern Brazilian Hapludox. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1437-1446, 2008.