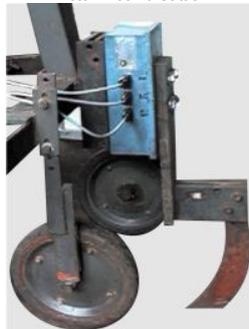


### Efeito de elementos rompedores de solo em semeadoras para plantio direto na resistência do solo à tração mecânica

**Antônio Faganello<sup>1</sup>**  
**José Eloir Denardin<sup>1</sup>**  
**Rainoldo Alberto Kochhann<sup>2</sup>**  
**Arcenio Sattler<sup>2</sup>**

Foto: Arcenio Sattler



**Passo Fundo, RS  
2009**



#### Resumo

O sistema plantio direto, na região subtropical úmida do Brasil, tem apresentado falhas no processo de adoção, com consequente problema de compactação de solo. Considerando que esse sistema, nessa região, ocupa cerca de 10 milhões de hectares, o problema ameaça a sustentabilidade da agricultura. Como solução, tem sido preconizado mobilizações de solo, porém, a duração desse efeito prescinde de tecnologia-solução. O objetivo deste estudo foi comparar semeadora equipada com mecanismo rompedor de solo tipo facão de ação profunda, com semeadora equipada com discos duplos defasados como prática para mitigar a compactação do solo. O ensaio foi conduzido em escala de campo em delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas sub-subdivididas, em seis repetições. Os tratamentos foram constituídos por tempo de adoção do sistema plantio direto, após intervenções com aração + gradagem e escarificação + rolo destorroador, para mitigar a compactação do solo, bem como sistema plantio direto sem mitigação da compactação do solo. Os subtratamentos foram constituídos por semeadora equipada com facões e por semeadora equipada, exclusivamente, com discos duplos desencontrados. Os sub-subtratamentos foram constituídos por faixas com e sem tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Os resultados de esforço de tração

<sup>1</sup> Pesquisador, Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: afaganel@cnpt.embrapa.br; denardin@cnpt.embrapa.br

<sup>2</sup> Pesquisador Embrapa Trigo, aposentado, Passo Fundo, RS. E-mail: rainoldoak@gmail.com

evidenciaram que os tratamentos decorrentes das intervenções aração + gradagem e escarificação + rolo destorroador, perduraram apenas 12 meses. Os menores valores de esforço de tração observados no subtratamento semeadora equipada com elementos rompedores de solo tipo facão de ação profunda, projetado para atuar junto à camada compactada, promoveu mitigação da compactação do solo. Esses resultados foram confirmados pela variação do sistema radicular da cultura de milho. O controle de tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas se manifestou como estratégia eficiente para remediar e prevenir compactação de solo em área manejada sob sistema plantio direto.

**Termos para indexação:** sistema plantio direto, mitigação da compactação, esforço de tração.

## **Effect of Soil Openers of No-Till Seeders on Soil Resistance**

### **Abstract**

No-till system practiced in the humid subtropical region of Brazil has presented failures in the adoption process, and, as a consequence, soil compaction arises as a problem. Considering that the system in that region is used in 10 million hectares, the problem threatens the agriculture sustainability. In order to solve this problem, soil mobilization is recommended, even though the effect seems to be uncertain. The objective of the present study was to compare a no-till seeder equipped with narrow knife for deep operation with another one equipped with offset double disks to mitigate the soil compaction. A field trial under random blocks design with sub-subplots in six replicates was conducted. The treatments were time of no-till system adoption after tilling with disk plow + disk harrowing or after field cultivator + packing roll in order to mitigate soil compaction, as well as continuous no-till system with no intervention. Sub-treatments were seeder equipped with narrow knives and seeder equipped with offset double disks. Sub-sub-treatments were considered areas with traffic and with no traffic of field machinery. Results of traction demand showed that treatments with disk plow + disk harrowing and field cultivator + packing roll lasted for 12 months only. Lower values of traction demand were observed for the no-till seeder equipped with narrow knife to mitigate soil compaction. These results were confirmed by the development of rooting system of maize. The traffic control of agriculture machinery showed to be an efficient strategy to avoid and prevent soil compaction in areas of no-till system.

**Index Terms:** no-till system, soil compaction mitigation, traction demand.

### **Introdução**

O sistema plantio direto, introduzido no Brasil, no fim dos anos 1960, como um simples método alternativo de preparo de solo (Borges, 1993), a partir da década de 1980, passou a ser conceituado como um complexo de processos tecnológicos destinado à exploração agropecuária, contemplando mobilização de solo, apenas na linha de semeadura, manutenção permanente da cobertura do solo e diversificação de espécies, via rotação de culturas (Kochhann & Denardin, 2000). No início dos anos 2000, foi incorporado a este conceito, mais um processo tecnológico, o processo colher-semear, que corresponde à redução ou supressão do intervalo entre colheitas e semeaduras, mediante intensificação da rotação e/ou consorciação de culturas (Denardin et al., 2008b). É essa interação de

processos tecnológicos que é recomendada para a adoção do sistema plantio direto e que apresenta potencial para imprimir caráter de sustentabilidade aos sistemas agrícolas produtivos.

Contudo, após cerca de 70 safras agrícolas, desde a introdução do sistema plantio direto na região de clima subtropical úmido do Brasil, observa-se que a adoção desse complexo de processos tecnológicos não vem sendo integralmente adotado. Dentre essas falhas destacam-se: incipiente rotação de culturas; manejo inadequado do sistema integração lavoura-pecuária; uso de semeadoras, predominantemente equipadas com discos, como elementos exclusivos para o rompimento de solo no processo de semeadura; ausência de práticas mecânicas para manejo de enxurrada; abandono da semeadura em contorno; escarificações esporádicas de solo sob justificativas mal fundamentadas; e, entre outros, excessivo uso de calcário (Denardin et al., 2008a). Em decorrência dessas inconformidades operacionais denota-se, como problemas de frequência comprometedor da estabilidade da produção agrícola: degradação do solo manifestada pelo aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração; redução da porosidade e da taxa de infiltração de água no solo; deformação morfológica de raízes e concentração de raízes na camada superficial do solo; ocorrência de erosão hídrica, com arraste de nutrientes, fertilizantes e corretivos; e prematura expressão de déficit hídrico, por ocasião de pequenas estiagens (Denardin et al., 2008a; 2008c).

Desses problemas em destaque, a compactação do solo é evidente e as causas podem ser justificadas pelo tráfego abusivo de máquinas e de implementos agrícolas, uso inadequado de pneus e pressão de inflação dos mesmos em máquinas e em implementos agrícolas (Secco, 1994), umidade excessiva no solo no momento das operações de semeadura, de tratos culturais e de colheita, aporte insuficiente de fitomassa ao solo para satisfazer a demanda mínima requerida pela biota edáfica (Bayer et al., 2000), pastejo desregrado, no sistema integração lavoura-pecuária, praticado em condição de solo úmido e com baixa oferta de forragem, ausência de subdivisão da pastagem em glebas ou poteiros e lotação excessiva de animais (Denardin et al., 2008a).

A compactação do solo é apontada como importante entrave ao rendimento das culturas, à produtividade do sistema agrícola produtivo (Torres & Saraiva, 1999; Richart et al., 2005) e à própria manutenção do sistema plantio direto como ferramenta eficiente da agricultura conservacionista (Denardin, 2009), pois afeta a taxa de infiltração de água e a capacidade de retenção, o conteúdo de água disponível às plantas, a aeração do solo, com efeitos deletérios ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas (Denardin, 1992; Barcelos et al., 1999), além de reduzir a disponibilidade de nutrientes às plantas e elevar a resistência do solo à penetração, com conseqüente aumento da demanda de esforço de tração das semeadoras e limitação do pleno desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Gill & Berg, 1967). Considerando que o sistema plantio direto, na região subtropical úmida do Brasil, ocupa, na atualidade, cerca de 10 milhões de hectares, o problema expresso assume relevância, tornando-se uma ameaça à sustentabilidade da agricultura.

Como solução para a descompactação do solo tem sido preconizado o uso de implementos agrícolas com capacidade de operar em profundidade ligeiramente maior do que o limite inferior da camada compactada, associado a práticas culturais complementares, constituídas pelo cultivo imediato de espécies vegetais caracterizadas por elevado aporte de fitomassa ao solo (Kochhann et al., 2000). Nesse contexto, à escarificação é creditado o benefício imediato expresso pela ruptura da camada compactada, que facilita a penetração de raízes e a infiltração de água (Botta et al., 2006). Além desse benefício, Bertol (1995) adiciona a vantagem da redução de perdas de solo por erosão, ao

manter considerável quantidade de restos culturais na superfície do solo e elevar o índice de rugosidade do solo.

A duração dos efeitos da escarificação no solo não são claramente conhecidas. A avaliação da duração desse efeito, mediante a quantificação do esforço requerido para tração de uma haste sulcadora de semeadora, constitui método prático e eficiente. Da Rosa et al. (2008) constataram que a demanda de esforço de tração requerida pela haste sulcadora de uma semeadora aumenta com o tempo transcorrido após a escarificação do solo, sendo não mais perceptível a partir do segundo ano. Nesse sentido, Bortolotto et al. (2006) encontraram, em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, sob sistema plantio direto, esforço de tração equivalente a 2,34 kN, para a velocidade de deslocamento de 4,74 km h<sup>-1</sup>. Em Argissolo Vermelho distrófico, igualmente sob sistema plantio direto a partir de campo nativo, Cepik et al. (2005) encontraram valores expressivamente menores, da ordem de 1,15 kN, para a velocidade de deslocamento de 4,5 km h<sup>-1</sup>. Em um Latossolo Vermelho, sob sistema plantio direto, Secco & Reinert, (1997) observaram que o aumento da porosidade total e a maior rugosidade superficial do solo perdurou por apenas 10 meses. Em um Nitossolo Vermelho, Mahl et al. (2004), constataram que os benefícios da escarificação do solo, avaliados através dos parâmetros força de tração, potência na barra de tração, consumo de combustível e capacidade de campo efetiva, cessaram aos 18 meses.

Considerando que operações mecânicas dessa magnitude contrapõem-se ao princípio fundamental do sistema plantio direto, que preconiza mobilização de solo apenas na linha de semeadura, e que as espécies vegetais normalmente cultivadas com a finalidade de auxiliar na mitigação da compactação do solo não aportam quantidade de fitomassa compatível com o volume de solo mobilizado, evidencia-se a necessidade de inovação tecnológica, diretamente associada ao processo de semeadura e ao possível controle de tráfego de máquinas e de implementos agrícolas na lavoura. Entretanto, o predominante uso de semeadoras equipadas com mecanismos de rompimento de solo, exclusivamente com discos, justificado pelo maior rendimento operacional em relação às semeadoras equipadas com facões, indubitavelmente, não contribui para mitigar a compactação do solo e pode estar, inclusive, contribuindo para o agravamento do problema (Silva, 1992; Richart et al., 2005).

Com base nessas constatações, foi formulada a hipótese de que semeadoras equipadas com elementos rompedores de solo tipo facão, projetados para atuar em profundidade, promove mitigação da compactação do solo. Para comprovar essa hipótese, foi implementado um estudo, em escala de campo, comparando semeadora equipada com mecanismo rompedor de solo tipo facão, de ação profunda, com semeadora equipada com discos duplos defasados e desencontrados, em área sob controle de tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas.

## **Material e Métodos**

O estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área de lavoura manejada sob sistema plantio direto há 96 meses, localizada no município de Coxilha, RS. A região, segundo a classificação de Köppen é enquadrada como zona Cfa, de clima subtropical úmido e caracterizada pela ocorrência de precipitação pluvial mínima de 60 mm mensais, distribuída ao longo de todos os meses do ano (Nimer, 1989).

O ensaio, instalado em 2001, com duração de seis anos, teve delineamento experimental de blocos ao acaso, com parcelas sub-subdivididas, perfazendo 100 tratamentos e seis repetições.

Em escala de parcela, os tratamentos, em número de 25, foram: 24 tratamentos constituídos por períodos de tempo de adoção do sistema plantio direto a partir de intervenções mecânicas, com preparo convencional (arado + grade) e cultivo mínimo (escarificador de hastes equipado com rolo destorroador), para mitigar a compactação do solo; e um tratamento testemunha, constituído pelo sistema plantio direto contínuo, sem mitigação da compactação do solo (Fig. 1). Para viabilizar essa dinâmica experimental, a cada safra, ao longo dos seis anos de duração do ensaio, duas das 25 parcelas de cada repetição, foram submetidas às intervenções mecânicas, preparo convencional e cultivo mínimo. A partir da safra subsequente a essas intervenções, as parcelas voltavam a ser conduzidas sob sistema plantio direto. Assim, o ensaio, ao fim dos seis anos, estava constituído por 25 tratamentos, quais sejam: 12 tratamentos conduzidos sob sistema plantio direto há 72, 66, 60, 54, 48, 42, 36, 30, 24, 18, 12 e 6 meses após mitigação da compactação do solo com aração + gradagem (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11 e A12); 12 tratamentos conduzidos sob sistema plantio direto há 72, 66, 60, 54, 48, 42, 36, 30, 24, 18, 12 e 6 meses após mitigação da compactação do solo com escarificação (E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 e E12); e um tratamento sob sistema plantio direto contínuo há 168 meses (96 + 72 meses), sem mitigação da compactação do solo – tratamento testemunha (T).

BLOCO I							A	Preparo convencional: arado + grade		
							E	Cultivo mínimo: escarificador + rolo destorroador		
							T	Plantio direto: contínuo, sem intervenção mecânica		
							TRATAMENTO			
A8	F	F	F	F	F	F	A1	Inverno 2001	E1	Inverno 2001
	D	D	D	D	D	D	A2	Verão 2001/02	E2	Verão 2001/02
E4	D	D	D	D	D	D	A3	Inverno 2002	E3	Inverno 2002
	F	F	F	F	F	F	A4	Verão 2002/03	E4	Verão 2002/03
A7	D	D	D	D	D	D	A5	Inverno 2003	E5	Inverno 2003
	F	F	F	F	F	F	A6	Verão 2003/04	E6	Verão 2003/04
A2	D	D	D	D	D	D	A7	Inverno 2004	E7	Inverno 2004
	F	F	F	F	F	F	A8	Verão 2004/05	E8	Verão 2004/05
E11	D	D	D	D	D	D	A9	Inverno 2005	E9	Inverno 2005
	F	F	F	F	F	F	A10	Verão 2005/06	E10	Verão 2005/06
	D	D	D	D	D	D	A11	Inverno 2006	E11	Inverno 2006
	F	F	F	F	F	F	A12	Verão 2006/07	E12	Verão 2006/07
	D	D	D	D	D	D	T	Plantio direto contínuo, sem intervenção mecânica		
							SUBPARCELAS			
							F	Semeadora equipada com facões		
	D	Semeadora equipada com discos								
Os blocos II, III, IV, V e VI diferenciam-se do bloco I apenas pela aleatoriedade das parcelas e subparcelas.							SUB-SUBPARCELAS			
							Zonas com e sem tráfego em cada subparcela (Ct e St)			

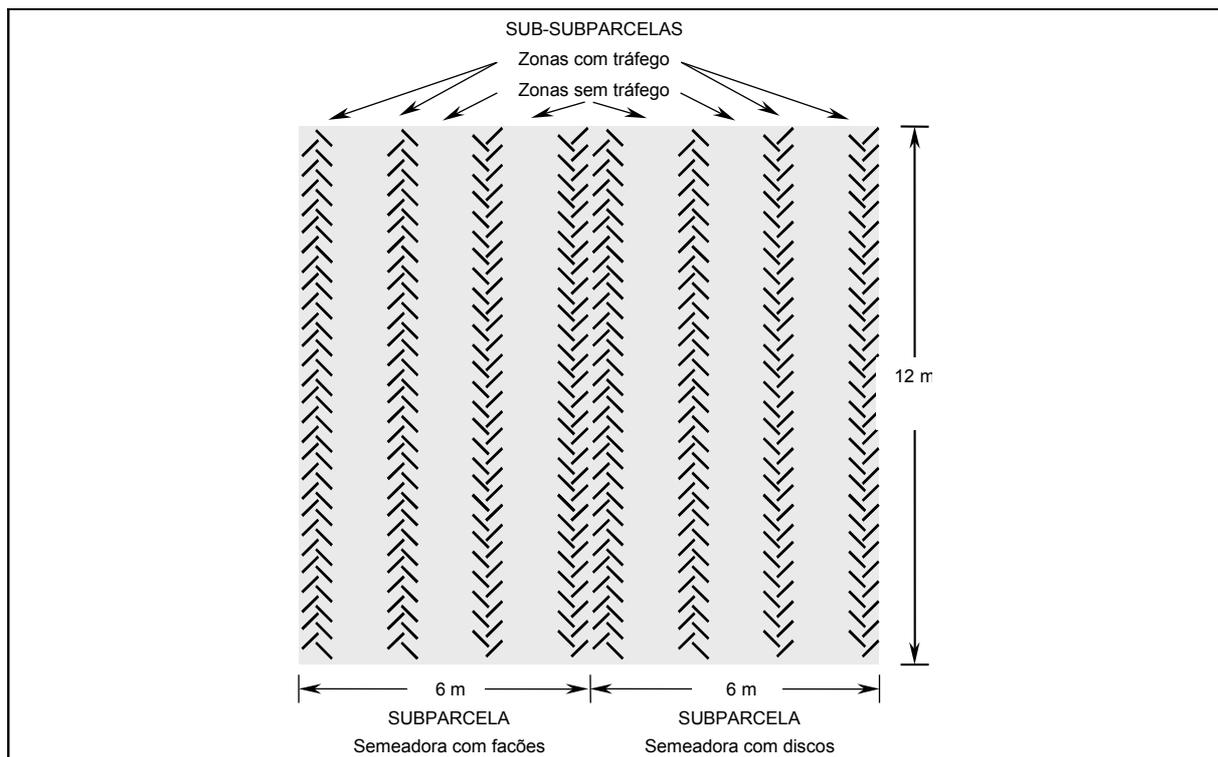
**Fig. 1.** Croqui de ensaio de manejo de solo e de culturas conduzido, por seis anos, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

Em escala de subparcela, os tratamentos, em número de dois, foram: semeadora equipada com facões, como elementos destinados ao rompimento de solo e à deposição de fertilizantes na linha de semeadura, associados a discos duplos desencontrados para deposição de sementes (F); e semeadora

equipada exclusivamente, com discos duplos desencontrados, tanto para rompimento de solo e deposição de fertilizantes na linha de semeadura, como para deposição de sementes (D). Os facões foram regulados para operar a 12 cm de profundidade e os discos duplos desencontrados a 5 cm de profundidade. A semeadora equipada com facões era empregada apenas para a semeadura das culturas das safras de verão.

Em escala de sub-subparcela, os tratamentos, em número de dois, foram constituídos por faixas com e sem tráfego de máquinas e implementos agrícolas (Ct e St).

As parcelas mediam 144 m<sup>2</sup> (12 x 12 m), as subparcelas 72 m<sup>2</sup> (6 x 12 m) e as sub-subparcelas limitavam-se às zonas ou faixas com e sem tráfego, ao longo de cada subparcela (Fig. 2). Portanto, a área física de cada repetição era de 3.600 m<sup>2</sup> e a do ensaio, sem considerar os caminhos, 21.600 m<sup>2</sup>.



**Fig. 2.** Croqui da parcela experimental (12 x 12 m), das subparcelas – semeadoras equipadas com facões e discos (6 x 12 m) e das sub-subparcelas – zonas com e sem tráfego de máquinas e implementos agrícolas, de ensaio conduzido por seis anos, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

As espécies cultivadas ao longo dos seis anos de condução do ensaio, seguiu o seguinte modelo de produção: trigo (*Triticum aestivum* (L.))/soja (*Glycine max* (L.)), ervilhaca (*Vicia sativa*)/milho (*Zea mays*) e aveia branca (*Avena stringosa*)/soja.

Os tratos culturais adotados seguiram as indicações específicas para cada cultura componente do modelo de produção.

A caracterização inicial do solo da área experimental em 2001, contemplou análises químicas, envolvendo os parâmetros tradicionalmente empregados para a avaliação da fertilidade do solo, e análises físicas, contemplando densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade

e resistência do solo à penetração. As análises químicas foram processadas em conformidade com as técnicas descritas por Tedesco et al. (1995). As análises dos parâmetros físicos de solo, nas camadas de 0 a 5 cm e 10 a 15 cm de profundidade, seguiram a técnica do anel volumétrico, associado à mesa de tensão, com 60 cm de coluna de água, seguindo as técnicas descritas em Oliveira (1979). A resistência do solo à penetração foi efetuada com o auxílio de penetrômetro de bancada, em amostras acondicionadas em anel volumétrico com umidade padronizada na tensão de 60 cm de coluna de água. Em 2007, o solo mais uma vez foi caracterizado fisicamente, em escala de sub-subparcela, seguindo a mesma técnica descrita em Oliveira (1979).

Ao fim dos seis anos de condução do ensaio, o esforço de tração demandado por uma haste sulcadora de semeadora (Fig. 3) foi avaliado com auxílio de um anel octogonal ligado a um módulo de aquisição de dados, equipado com pontes extensiométricas. Esse equipamento dinamométrico, instalado entre o carro porta-ferramenta e a haste sulcadora, foi configurado para a taxa de aquisição de 22 dados por segundo (20 Hz). A haste sulcadora, com 1,2 cm de espessura, foi ajustada para atuar a 12 cm de profundidade e o trator motriz à velocidade de 3,21 km h<sup>-1</sup>. A avaliação do esforço de tração pelo conjunto, trator, carro porta-ferramenta e dinamômetro, foi processada perpendicularmente às linhas de semeadura das parcelas, obtendo assim, dados resultantes dos tratamentos em escala de parcela, de subparcela e de sub-subparcela.

Fotos: Arcenio Sattler



**Fig. 3.** Dinamômetro motomecanizado, constituído por conjunto “carro porta-ferramenta”, anel octogonal e haste sulcadora, destinado à avaliação de esforço de tração, no ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

O sistema radicular da cultura de milho, espécie eleita como indicadora da variação morfológica das raízes, foi avaliado empregando-se o método “placa-de-pregos” (Schurmann & Goedewaagen, 1971; Böhm, 1979), com pregos equidistantes a 2,5 cm. Para a coleta do sistema radicular de milho, a “placa-de-pregos” foi centralizada na linha de semeadura (Fig. 4), coletando-se uma planta por tratamento e por repetição. Cada “placa-de-pregos” continha um monólito de solo + raízes, medindo 30 cm de largura por 20 cm de profundidade e por 7 cm de espessura. No laboratório, o solo dos monólitos foi disperso e as raízes lavadas, secas, fotografadas e pesadas.

Os parâmetros físicos de solo, analisados em 2007, foram submetidos à análise estatística, seguindo o delineamento experimental de parcelas sub-subdivididas.



**Fig. 4.** Aspecto da coleta de monólito de solo, com “placas-de-pregos”, para avaliação da distribuição do sistema radicular da cultura de milho (*Zea mays*), no ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

## Resultados e discussão

A caracterização química e física inicial do solo indicou fertilidade química adequada para o cultivo das espécies anuais comumente cultivadas na região de clima subtropical úmido do Brasil. A presença de solo compactado nas duas camadas amostradas, 0-5 e 10-15 cm de profundidade (tabelas 1 e 2), confirmaram o problema de degradação física do solo decorrente da adoção apenas parcial do complexo de processos tecnológicos preconizados para a condução do sistema plantio direto. Embora os dados químicos de solo denotassem fertilidade química adequada ao cultivo das espécies componentes dos modelos agrícolas produtivos da região, os dados físicos de solo, com ênfase para resistência do solo à penetração e densidade do solo, evidenciavam limitações ao pleno desenvolvimento radicular das plantas. Para solos pertencentes ao grande grupo Latossolo, com textura argilosa, valores de resistência do solo à penetração acima de  $2,1 \text{ kg cm}^{-2}$ , densidade do solo em torno de  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$  e macroporosidade inferior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (De Maria et al., 1999; Torres & Saraiva, 1999) sinalizam degradação estrutural do solo que podem contribuir e agravar perdas de rendimento de culturas diante de adversidades climáticas decorrentes de estiagens.

**Tabela 1.** Valores médios de atributos químicos do solo avaliados nas camadas 0-5, 0-10 e 0-20 cm de profundidade, em 2001, antes da instalação do ensaio, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

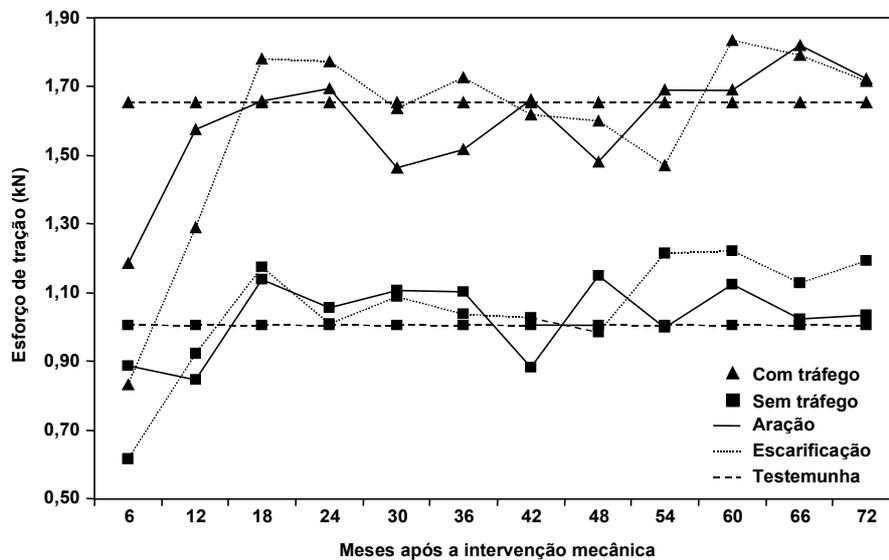
Camada cm	pH	P ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	K ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	CTC <sub>e</sub> ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )	V %	M %	MO %
0-5	6,0	18,2	156	10,2	79	0	4,5
0-10	6,1	13,8	104	10,2	78	0	3,9
0-20	6,1	8,4	79	9,8	78	1	3,5

**Tabela 2.** Valores médios de atributos físicos do solo, avaliados nas camadas 0-5 e 10-15 cm de profundidade, em 2001, antes da instalação do ensaio, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

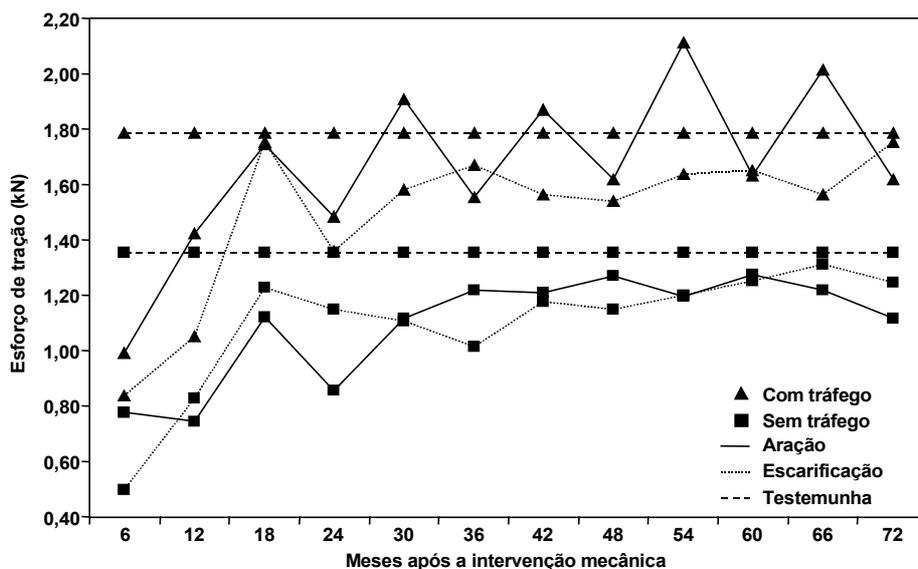
Camada (cm)	Resistência do solo à penetração (kgf cm <sup>-2</sup> )	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Micro-porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Macro-porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
0-5	2,16	1,37	0,49	0,38	0,11
10-15	2,78	1,35	0,50	0,38	0,12

Os resultados relativos ao esforço de tração, proporcionados pelo solo, submetido aos dois subtratamentos, semeadora equipada com facões e com discos em escala de subparcela, e aos dois sub-subtratamentos com tráfego e sem tráfego em escala de sub-subparcela, evidenciaram que as intervenções mecânicas efetuadas em escala de parcela, tanto com aração + gradagem (tratamentos A1 a A12), como com escarificação + rolo destorroador (tratamentos E1 a E12), perduraram apenas 12 meses (Fig. 5 e 6). Esses dados confirmam os resultados observados na literatura (Secco & Reinert, 1997; Mahl et al., 2004; Cepik et al., 2005; Bortolotto et al., 2006; Da Rosa et al., 2008), de que, operações exclusivamente mecânicas, para remediar a compactação do solo, apresentam efeito efêmero. De qualquer modo, analisando o subtratamento semeadora com facões, denota-se que, enquanto na zona com tráfego o esforço médio de tração foi 1,65 kN, na zona sem tráfego o esforço médio de tração foi de apenas 1,00 kN (Fig. 5). No subtratamento semeadora com discos, o esforço médio de tração na zona com tráfego aumentou para 1,78 kN e na zona sem tráfego para 1,35 kN (Fig. 6). Ao comparar os esforços médios de tração dos subtratamentos, semeadora com facões e semeadora com discos, independentemente das zonas com e sem tráfego, observou-se que o subtratamento semeadora equipada com facões gerou valores inferiores ao subtratamento semeadora equipada com discos, ou seja, 1,32 kN contra 1,56 kN, respectivamente. Os valores de esforço de tração obtidos neste estudo situaram-se na mesma faixa de amplitude daqueles observados na literatura (Cepik et al., 2005; Bortolotto et al., 2006). Esses resultados, na zona sem tráfego de equipamentos agrícolas, independentemente do uso de facões ou de discos duplos desconstruídos na semeadora, evidenciaram menor esforço de tração do que na zona com tráfego, inferindo que a racionalização do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas na área de lavoura contribui para prevenir e remediar a compactação do solo em áreas manejadas sob sistema plantio direto.

Os menores valores de esforço de tração obtidos no subtratamento semeadora equipada com facões sustentam a hipótese de que o emprego de elementos rompedores de solo, tipo facão de ação profunda, projetado para atuar junto à camada compactada, em semeadoras para plantio direto, promove mitigação da compactação do solo.

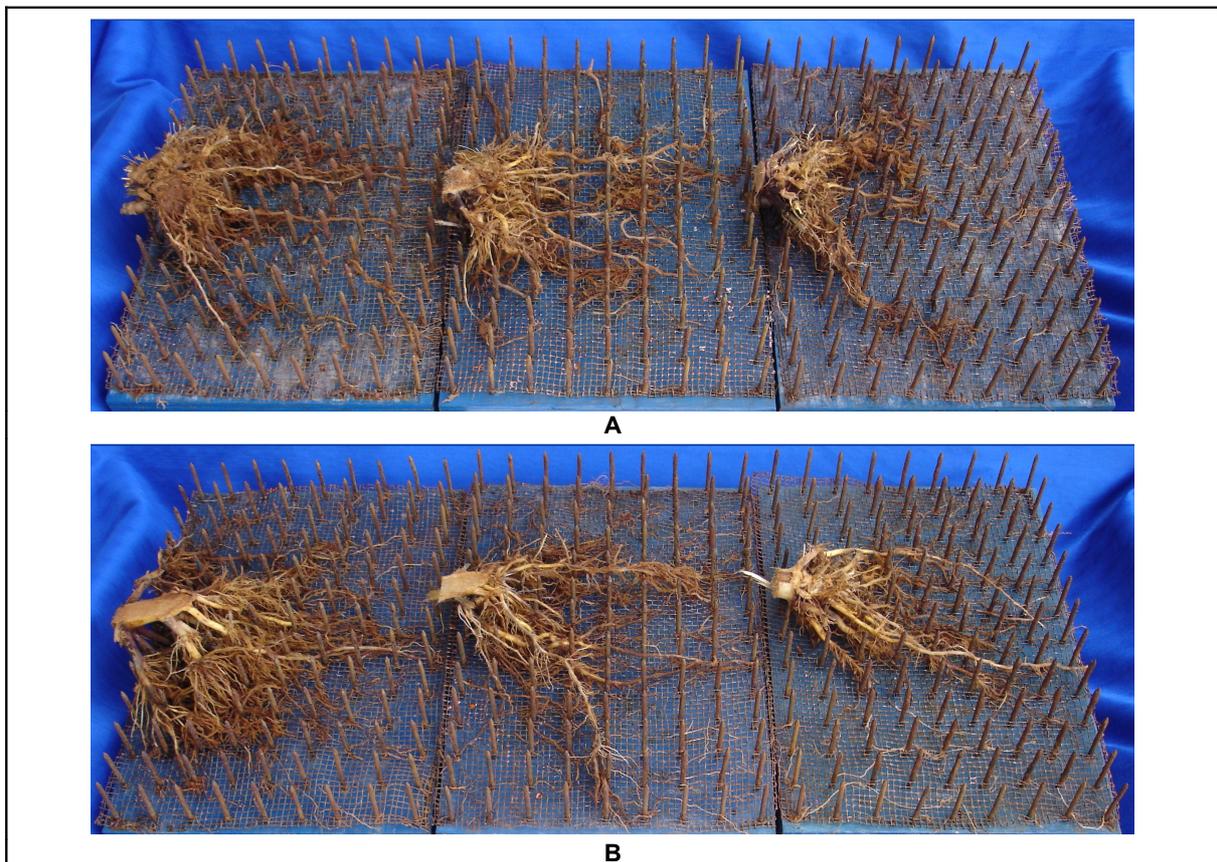


**Fig. 5.** Esforço médio de tração de uma haste sulcadora em semeadoras para plantio direto, operando a 12 cm de profundidade, nas zonas com e sem tráfego de máquinas, do subtratamento semeadora equipada com **facões**, em todos os tratamentos relativos ao tempo decorrido após ou não intervenções mecânicas no solo para remediar a compactação do solo, em ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.



**Fig. 6.** Esforço médio de tração de uma haste sulcadora, em semeadoras para plantio direto, operando a 12 cm de profundidade, nas zonas com e sem tráfego de máquinas, do subtratamento semeadora equipada com **discos**, em todos os tratamentos relativos ao tempo decorrido após ou não intervenções mecânicas no solo para remediar a compactação do solo, em ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

Os resultados de esforço de tração, resultantes dos tratamentos, foram também reproduzidos pela variação do sistema radicular da cultura de milho (Fig. 7). É notório que no subtratamento semeadora equipada com facões, o desenvolvimento radicular das plantas é mais abundante e profundo do que no subtratamento semeadora equipada com discos duplos. Essa observação, mais uma vez confirma o efeito favorável do mecanismo rompedor de solo tipo facão de ação profunda no desenvolvimento radicular das plantas, em relação ao mecanismo tipo discos duplos desencontrados.



**Fig. 7.** Sistema radicular de plantas de milho coletadas em monólitos de solo em “placas-de-prego”, com pregos equidistantes em 2,5 cm, correspondente ao tratamento sistema plantio direto, e ao subtratamento semeadora equipada com discos (A) e semeadora equipada com facões (B), em ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

Em referência às propriedades físicas do solo, denota-se com clareza, que a condução do sistema plantio direto em conformidade à plenitude dos processos tecnológicos preconizados, com ênfase para a rotação de culturas, promoveu sensível melhoria das condições físicas da camada de 0 a 5 cm de profundidade em relação à avaliação inicial (tabelas 2 e 3). Contudo, o efeito do subtratamento sem tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas é evidente na redução da densidade e da resistência do solo à penetração, bem como no aumento da macroporosidade da camada superficial (Tabela 3). Os valores de todos os parâmetros físicos analisados na camada de 10 a 15 cm de profundidade continuaram críticos quando comparados aos da avaliação inicial. O efeito do tráfego de equipamentos agrícolas não foi detectado pelos atributos físicos do solo analisados, exceto pela densidade do solo e microporosidade na camada de 0 a 5 cm de profundidade (Tabela 3).

Esses resultados comprovam a presença de compactação na camada subsuperficial do solo e indicam que o esforço de tração constitui ferramenta mais sensível do que os atributos físicos do solo para detectar as variações induzidas pelo tráfego de máquinas e equipamentos e pelo tipo de elemento rompedor de solo que equipa as semeadoras. Em adição, confirmam a existência do problema que vem sendo constatado em escala de lavoura na região de abrangência do estudo (Denardin et al., 2008a; 2008c).

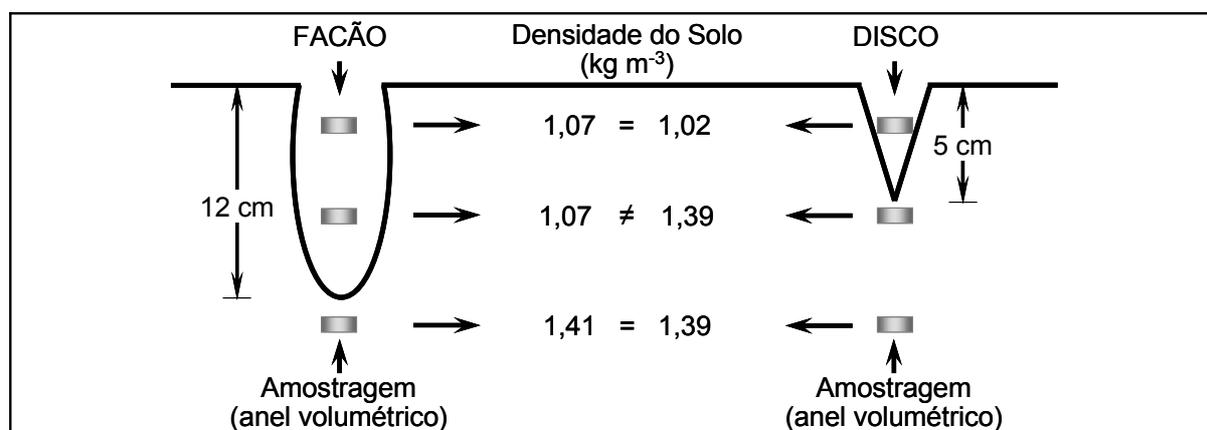
**Tabela 3.** Atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto com e sem tráfego de máquinas, avaliados em 2007, em ensaio instalado, em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

Camada (cm)	Tráfego	Resistência do solo à penetração (kgf cm <sup>-2</sup> )	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	Porosidade total (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Micro-porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Macro-porosidade (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
0 - 5	Sem	0,89 a B	1,16 b B	0,58 a A	0,43 a A	0,15 a A
	Com	1,18 a B	1,27 a B	0,54 a A	0,37 b A	0,15 a A
10 - 15	Sem	2,17 a A	1,54 a A	0,45 a B	0,40 a B	0,05 a B
	Com	3,21 a A	1,60 a A	0,45 a B	0,39 a A	0,06 a B

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, dentro da mesma camada, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical, entre as camadas e no mesmo tratamento, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os efeitos induzidos pelos subtratamentos, semeadoras equipadas com facões e semeadoras equipadas com discos duplos desencontrados, foram detectados pela densidade do solo a partir de amostragens específicas, posicionadas ao longo das linhas de semeadura (Fig. 8). Pelos dados obtidos, observa-se que o mecanismo rompedor de solo, tipo facão, mobilizou solo até 12 cm de profundidade, e o disco duplo desencontrado até 5 cm de profundidade. Destaca-se nessas percepções que a baixa densidade do solo observada na camada de 0 a 5 cm de profundidade, na média de todos os tratamentos do ensaio (Tabela 3), é estendida até 12 cm de profundidade na linha de semeadura do subtratamento semeadora equipada com facões. Esse resultado solidifica a hipótese de que o emprego de elementos rompedores de solo, em semeadoras para plantio direto, com potencial para atuar na camada compactada, promove mitigação da compactação do solo.



**Fig. 8.** Influência do posicionamento da amostragem de solo para análises físicas de solo, em área manejada sob sistema plantio direto, mediante emprego de semeadoras equipadas com facões e com discos duplos desencontrados, atuando a 12 cm e 5 cm de profundidade, respectivamente, em ensaio instalado em Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), em área localizada no município de Coxilha, RS.

## Conclusões

Semeadora equipada com elemento rompedor de solo tipo facão, projetado para atuar em profundidade na camada compactada, promove mitigação da compactação do solo.

O controle de tráfego constitui estratégia para remediar e prevenir compactação de solo em áreas manejadas sob sistema plantio direto.

## Referências Bibliográficas

BARCELOS, A. A., CASSOL, E. A., DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um Latossolo Vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.

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

BERTOL, I. **Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo**. 1995. 185 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer, 1979. 188 p.

BORGES, G. de O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. 166 p. Editado por: EMBRAPA-CNPT, FUNDACEP-FECOTRIGO, Fundação ABC. p. 13-17.

BORTOLOTTI, V. C.; PINHEIRO NETO, R.; BORTOLOTTI, M. C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 26, p. 122-130, 2006.

BOTTA, G. F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R.; RESSIA, M.; FERRERO, C.; ROSATTO, H.; TOURN, M. Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 1, n. 1, p. 164-172, 2006.

CEPIK, C. T. C.; TREIN, C. R.; LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 25, p. 447-457, 2005.

DA ROSA, D. P.; REICHERT, J. R.; SATTLER, A.; REINERT, D. J.; MENTGES, M. I.; VIEIRA, D. A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 3, p. 395-400, 2008.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 703-709, 1999.

DENARDIN, J. E. Mecanização do sistema plantio direto para emergência de fertilidade no solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro. **Anais...** Juazeiro: CONBEA, 2009. 7 p. 1 CD ROM.

DENARDIN, J. E. Solo: constituição e degradação. In: MARCANTONIO, G. (Org.). **Solos e irrigação**. Porto Alegre: UFRGS: FEDERACITE, 1992. p.13-28.

DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam à degradação do solo. **Boletim Informativo Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, Ponta Grossa, v. 34, p. 5, out./dez. 2008a.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; BACALTCHUK, B.; SATTTLER, A.; DENARDIN, N. D.; FAGANELLO, A.; WIETHOLTER, S. **Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira**. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Org.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008b. v. 1, part. 15, cap. 1, p. 1251-1273.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTTLER, A.; MANHAGO, D. D. "Vertical mulching" como prática conservacionista para manejo de enxurrada em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 2847-2852, 2008c. Número especial.

GILL, W. R.; BERG, G. E. V. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1967. 511 p.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20).

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20).

MAHL, D.; GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, A. R. B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 150-157, 2004.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442 p.

OLIVEIRA, L. B. de (Coord.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1979. Não paginado.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; RODRIGUES, B. O.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

SCHURMANN, J. J.; GOEDEWAAGEN, M. A. J. **Methods for the examination of root systems and roots**. 2. ed. Wageningen: Pudoc, 1971. 86 p.

SECCO, D. **Eficiência e efeito residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto**. 1994. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SECCO, D.; REINERT, D. J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 16, n. 3, p. 52-61, 1997.

SILVA, J. G. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1992. 180 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento mecânico do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 23).



**Boletim de Pesquisa e  
Desenvolvimento Online, 69**

Embrapa Trigo  
Caixa Postal, 451, CEP 99001-970  
Passo Fundo, RS  
Fone: (54) 3316 5800  
Fax: (54) 3316 5802  
E-mail: sac@cnpt.embrapa.br

**Expediente**

Comitê de Publicações

Presidente: **Leandro Vargas**

Anderson Santi, Antônio Faganello, Casiane Salete Tibola,  
Leila Maria Costamilan, Lisandra Lunardi, Maria Regina  
Cunha Martins, Sandra Maria Mansur Scagliusi, Sandro  
Bonow

Referências bibliográficas: Maria Regina Martins  
Editoração eletrônica: Márcia Barrocas Moreira Pimentel

FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SATTTLER, A. **Efeito de elementos rompedores de solo em semeadoras para plantio direto na resistência do solo à tração mecânica**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 21 p. html. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 69). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p\\_bp69.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp69.htm)>.