

PRODUTIVIDADE DE CULTURAS E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO AFETADOS PELO SISTEMA DE MANEJO

FLÁVIA CARVALHO SILVA FERNANDES¹, MARLENE CRISTINA ALVES² E MONICA MARTINS DA SILVA¹

Depto. de Ciências Exatas -Pavilhão de Engenharia, ESALQ/USP, Av. Pádua Dias 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 - Piracicaba-SP. flcsilva@esalq.usp.br, Autor para correspondência monica_mars@hotmail.com

²Depto de Fitossanidade, Eng. Rural e Solos / UNESP, Avenida Brasil Centro, 56 - Caixa Postal 31, CEP 15385-000 - Ilha Solteira-SP. mcalves@agr.feis.unesp.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.6, n.3, p. 297-308, 2007

RESUMO - O preparo do solo compreende um conjunto de práticas que objetivam a preservação de suas características físicas, químicas e biológicas, oferecendo condições ideais para a semeadura, a germinação e o desenvolvimento das plantas. Este trabalho teve por objetivo avaliar o rendimento de culturas e alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a diferentes sistemas de preparo. O estudo foi desenvolvido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP. O delineamento utilizado foi o completamente casualizado, com três tratamentos e três repetições: preparo convencional; preparo com escarificador e semeadura direta. O experimento foi instalado em 1992 e o presente estudo refere-se ao período de 1996 a 1998. Nos anos de 1996 e 1997, cultivaram-se milho e feijão e em, 1998, soja e aveia-preta. Avaliou-se a macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), densidade do solo em três camadas (0-5, 5-15 e 15-30 cm) e o rendimento das culturas, sob os diferentes tratamentos. Os sistemas de manejo de solo propiciaram alterações nos seus atributos físicos, tanto em profundidade quanto entre épocas. Dessa forma, as alterações nas propriedades físicas do solo causadas pelos sistemas de manejo demonstraram relação com os rendimentos das culturas, os quais foram superiores no sistema de semeadura direta, com exceção do milho, em 1996, quando se obteve a menor produtividade.

Palavras-chave: milho, feijão, soja, aveia-preta, sucessões de cultura.

CROP YIELD AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF AN OXISOL AFFECTED BY THE MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT - Soil management comprises a set of practices to conserve the soil's physical, chemical and biological characteristics by offering good conditions to sowing, germination and plant growth. The objectives were to determine the crop yield and change of the Oxisol physical properties under different soil management systems. The study was carried out at Experimental Station of UNESP - Ilha Solteira campus. The experimental design was entirely randomized, with three repetitions and three treatments: conventional tillage; chisel plowing + leveling disk and no tillage system. The experiment was installed in 1992 and the present study is related to period of 1996 to 1998. The work began in the agricultural year 1996/97 with corn and common bean followed by soybean and black oat in 1998. The following were evaluated: soil macroporosity, soil microporosity, total porosity, soil density in three depths and crop yield

under different treatments. The soil management systems have change the physical characteristics into the depth and seasons. The alterations in the soil physical characteristics caused by soil management demonstrated relation with the crop yield, which have been better in the no tillage, except for the corn, in 1996, when it was obtained the smallest yield.

Key words: maize, beans, soybean, black oat, crops succession.

O preparo do solo compreende um conjunto de práticas que têm como objetivo a preservação de suas características físicas, químicas e biológicas, oferecendo condições ideais para a sementeira, a germinação e o desenvolvimento das plantas. Essa operação é considerada uma das mais importantes no manejo do solo, determinando sua qualidade estrutural.

Os sistemas de preparo do solo promovem modificações nas propriedades físicas, como a agregação (Castro Filho *et al.*, 1998), a densidade e a porosidade (De Maria *et al.*, 1999; Secco *et al.*, 2005). A macroporosidade é drasticamente reduzida com a compactação do solo (Dias Jr. & Pierce, 1996). De forma geral, essas propriedades funcionam como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas. A avaliação das propriedades físicas sob diferentes sistemas de preparo do solo é importante para caracterizar o ambiente físico para o crescimento radicular (Tormena *et al.*, 2002; Secco *et al.*, 2005).

A densidade do solo e a porosidade são propriedades freqüentemente utilizadas para caracterizar os efeitos dos sistemas de preparo sobre a estrutura e as propriedades físicas dos solos (Kay & Angers, 2000). Portanto, diferentes operações de preparo podem alterar as propriedades físicas do solo e essas alterações podem afetar a distribuição, a quantidade e a morfologia das raízes, com reflexos no crescimento da parte aérea das plantas e, conseqüentemente, na produtividade das culturas.

Dessa forma, estabelecer sistemas de manejo conservacionistas que objetivam a recuperação e a preservação do solo é de grande interesse (Secco *et al.*, 2005). Ao se analisar resultados relacionados a sistemas de manejo do solo, observa-se diversidade de respostas em um mesmo sistema, por causa de características do solo, da planta e do clima, entre outros (Carvalho *et al.*, 1999, Prado *et al.*, 2002).

O sistema plantio direto, devido à mínima mobilização do solo e à manutenção de resíduos culturais na superfície, diminui significativamente as perdas de solo e de água por erosão hídrica, atendendo ao aspecto conservacionista. Os fatores que determinam a redução da erosão hídrica no sistema plantio direto, podem provocar mudanças na estrutura e na porosidade do solo, quanto à infiltração de água e do crescimento radicular, resultando em condições distintas daquelas apresentadas pelos sistemas convencionais. Porém, cabe lembrar que essas mudanças são lentas e ocorrem gradualmente, visto que a falta de mobilização do solo causa inicialmente diminuição do volume do espaço poroso do solo (Stone; Silveira, 2001; Secco *et al.* 2005). Stone e Silveira (2001) observaram, após três e quatro anos de sistema plantio direto, menores valores de macroporosidade e porosidade total e maiores valores para a microporosidade. Secco *et al.* (2005) obtiveram o mesmo comportamento para os valores de macroporosidade e porosidade total, uma vez que, nos tratamentos que sofreram menor

mobilização do solo, nas três profundidades e nos três anos avaliados, os valores foram inferiores em relação aos demais sistemas de manejo do solo.

A produtividade de uma cultura e sua alta rentabilidade dependem fundamentalmente da capacidade produtiva dos solos. Plantas que têm importância econômica podem ter sua produtividade elevada quando cultivadas sob plantio direto e rotação com plantas de cobertura. Assim, a associação de práticas agrícolas como a calagem, a rotação de culturas e a adubação verde objetiva proporcionar modificações nos teores de nutrientes no solo, na sua estrutura, na porosidade, na agregação, na densidade do solo, na infiltração e na disponibilidade de água, tendo em vista o adequado desenvolvimento radicular da cultura.

Contudo, a máxima produtividade de uma cultura é alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, relacionando-se direta ou indiretamente com a estrutura do solo (Secco et al., 2005).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o rendimento de culturas e alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico típico submetido a diferentes sistemas de preparo.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, localizada no município de Selvíria (MS), cujas coordenadas geográficas são 20°22' de latitude sul e 51°22' de longitude oeste e

aproximadamente 335 m de altitude. O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa, hipodistrófico, álico (Sistema, 1999), cuja caracterização química original, antes da implantação das culturas, está descrita na Tabela 1. O clima da região é classificado como Aw, segundo o sistema de Köppen, apresentando chuvas no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1.300 mm, distribuída de outubro a março, e temperatura média anual de 23,5°C. A vegetação natural predominante na região é o cerrado.

A análise física do solo, efetuada antes da implantação do experimento, nas duas camadas de 0-5 e 5-15 cm, respectivamente, apresentaram os seguintes resultados de densidade do solo, porosidade total, teor de areia, teor de argila e teor de silte: 1,30 e 1,40 kg dm⁻³, 0,50 e 0,44 m⁻³ m⁻³, 460 e 460 g kg⁻¹, 473 e 473 g kg⁻¹ e 67 e 67 g kg⁻¹.

O experimento foi instalado em 1992. Antes da implantação das culturas, aplicou-se calcário em todos os tratamentos, com o objetivo de atingir a saturação por bases em 70%. Os sistemas de manejo do solo foram repetidos na área durante período de cinco anos (1992 a 1996), cultivada no período do verão com milho ou soja e, no inverno, com feijão ou milho. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições e três tratamentos: preparo do solo com grade pesada (30") e grade niveladora (preparo convencional); preparo de solo com arado escarificador e grade niveladora (escarificador) (numa profundidade média

TABELA 1. Caracterização química do solo antes da instalação do sistema de culturas.

Camadas (cm)	pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	P-resina (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg (mmol _c dm ⁻³)	H+Al	Al
0-5	5,4	35	20	4,5	36,9	18,1	28,9	0,0
5-15	5,3	34	16	3,4	33,3	16,1	34,1	0,2
15-30	4,7	23	2	1,5	15,7	12,1	35,5	1,8

de trabalho de 20 cm e espaçamento entre hastes de 50 cm) e sem preparo (implantação do sistema plantio direto ou semeadura direta em ausência de palha).

No ano de 1996, iniciou-se a seqüência rotação de culturas feijão-milho-feijão-milho-aveia preta-soja. Em parcelas de 10 x 20 m, semeou-se o feijão (*Phaseolus vulgaris* L), em 06/1996 e 04/1997. O milho (*Zea mays* L.) foi semeado em 11/1996 e 11/1997, a aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb) em 05/1998 e a soja (*Glycine max* L. Merrill) em 11/1998. O feijão foi colhido em 07/1996 e em 06/1997, o milho em 02/1997 1998. A análise da matéria seca da aveia preta foi realizada em 09/1998 e a de soja, em 04/1999. As culturas de feijão, milho e soja receberam adubação de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10 e foram irrigadas por aspersão, com pivô central, sendo a quantidade e freqüência determinadas em função da leitura de tensiômetros instalados entre as fileiras de plantas. Na área sob semeadura direta, foram usados os herbicidas clomazona (1 l ha⁻¹), glifosato e bentazon (1,5 l ha⁻¹). Para os demais manejos, foram usados alachlor + atrazine (3,84 kg ha⁻¹ do i.a.), em pré-emergência.

A área experimental de cada parcela era de 10x20 m. As determinações físicas do solo foram efetuadas coletando-se amostras indeformadas, em três repetições, em todas as parcelas, nos meses de outubro de 1996 e outubro de 1998, nas camadas de 0-5, 5-15 e 15-30 cm. A porosidade total (PT) foi determinada pela umidade de saturação ou porcentagem de saturação em volume; a microporosidade, pelo método da mesa de tensão e a macroporosidade, pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Kiehl, 1979). Para densidade do solo, adotou-se o método do anel volumétrico (5 cm de altura e volume aproximado de 100 cm³) (Kiehl, 1979). Foi

analisado também o rendimento de milho, soja, feijão e massa seca e verde da aveia-preta, usando uma área útil de 10 m² no centro da parcela.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância e ao teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, para comparação de médias, por meio do programa estatístico SANEST - Sistema de Análises Estatísticas para Microcomputadores.

Resultados e Discussão

Em ambos os anos de avaliação, houve diferença entre os sistemas de manejo para a macroporosidade (Tabela 2) somente na camada de 0-5 cm, sendo que, em 1996, o sistema convencional obteve o maior valor, seguido do preparo com escarificador e semeadura direta. No ano de 1998, não houve diferença entre o manejo convencional e o escarificador e a semeadura direta apresentou novamente o menor valor. Entre profundidades, a macroporosidade só não apresentou diferenças para a semeadura direta. Para os demais sistemas de manejo, a camada de 0-5 cm apresentou sempre a maior macroporosidade, evidenciando que os efeitos do revolvimento foram mais importantes na superfície do solo, visto o decréscimo no volume de macroporos em profundidade. Isso ocorreu porque, tanto no preparo convencional como no preparo com escarificador, há mobilização da camada superficial do solo, ao passo que, na semeadura direta, o não revolvimento periódico do solo, bem como o trânsito de máquinas, leva ao adensamento da camada superficial, indicando diminuição da macroporosidade e sendo também evidenciada pelo maior valor da densidade do solo (Tabela 2) (Tormena *et al.*, 2002). Em 1996, na camada de 5-15 cm, houve uma diminuição significativa da macroporosidade em relação à camada de 0-5 cm, no preparo com escarificação e preparo

convencional de solo, respectivamente, indicando que havia uma camada compactada nessa profundidade com valores abaixo dos considerados ideais para um adequado desenvolvimento do sistema radicular, os quais situam-se entre 0,09 e 0,12 m³ m⁻³ (Da Ros et al., 1997). Na semeadura direta, nesse mesmo ano, os valores da macroporosidade também ficaram abaixo dos considerados ideais nas camadas de 0-5 e 5-15 cm. Esses resultados estão coerentes com os encontrados por Pedrotti et al. (2001), que verificaram camadas compactadas de forma mais acentuada na camada intermediária de solo (0,10 – 0,20 m), no preparo convencional do solo. Esse fato se deve à descontinuidade da macroporosidade nos sistemas que envolvem mobilização do solo, possivelmente em virtude do adensamento denominado “pé-de-grade” (Schaefer et al., 2001).

Quando se analisam os efeitos dos tratamentos sobre a macroporosidade no decorrer do tempo (Tabela 2), observa-se que no preparo convencional de solo, houve redução na camada de 0-5 cm. Entretanto, para o preparo com escarificador, houve aumento e, na semeadura direta, manteve-se estável. Na camada de 5-15 cm, a macroporosidade aumentou para todos os tratamentos, porém, para o preparo com escarificador, o aumento foi significativo (de 0,085 para 0,151 m³ m⁻³). Na camada de 15-30 cm, a macroporosidade manteve-se estável para todos os tratamentos, provavelmente pelo fato de que, nessa profundidade, há menor influência tanto do peso das máquinas como do efeito dos implementos, que atingem, em média, 15 cm (Gaggero, 1998; Silva et al., 2000; Mello et al., 2001). Narimatsu (2004), estudando o condicionamento físico do solo por meio de diferentes sistemas de preparo, na integração

lavoura-pecuária, também observou diferenças para a macroporosidade em diferentes épocas de amostragem.

Com relação à microporosidade (Tabela 2), foi verificada diferença significativa entre as camadas dentro de cada ano de avaliação, confirmando os valores obtidos para a macroporosidade. Ainda foi verificado que houve diferença significativa entre tratamentos para o ano de 1996, na camada 0-5 cm, sendo os maiores valores encontrados na semeadura direta e preparo com escarificador. De acordo com Vieira & Muzilli (1984), o solo na semeadura direta geralmente apresenta maiores valores de densidade do solo e microporosidade nas camadas superficiais do perfil, quando comparado a outros modos de preparo convencional do solo, o que concorda com os dados obtidos por Stone & Silveira (2001), que encontraram valores maiores próximo à superfície. Verifica-se, também, que os valores de microporosidade encontrados, em sua maioria, estão acima do valor considerado ideal para o desenvolvimento das plantas (0,33 m³ m⁻³) (Kiehl, 1979). Apesar disso, Lal (1994), avaliando diversos sistemas de preparo do solo, concluiu que, em sistemas nos quais houve mobilização mínima do solo, houve maior armazenagem de água ao longo do ciclo da cultura. Dalmago et al. (2002), estudando a disponibilidade de água no solo em sistemas de plantio direto e semeadura convencional, verificaram que o primeiro mantém por período mais prolongado maior disponibilidade de água no solo, em relação à semeadura convencional. Su et al. (2007), avaliando o armazenamento de água do solo sob diferentes práticas de manejo conservacionista do solo, verificaram que o plantio direto obteve o maior valor de armazenamento de água no solo após seis anos de estudos.

Entre os anos estudados e na camada de 0-5 cm, a microporosidade (Tabela 2) não apresentou

diferença significativa somente no preparo convencional de solo e, nas camadas 5-15 e 15-30 cm, não foi observada diferença no preparo com escarificador, sendo que, em todas as camadas, na semeadura direta, a microporosidade diminuiu com o ano de avaliação, discordando de Stone & Silveira (2001), os quais observaram maiores valores de microporosidade após três e quatro anos de adoção do sistema plantio direto. Isso pode estar relacionado com o maior rendimento das culturas em 1997 e 1998, na semeadura direta, podendo ser traduzido em melhor desenvolvimento radicular das plantas e, conseqüentemente melhoria no espaço poroso do solo, sendo evidenciado pela estabilidade da macroporosidade e PT (Tabela 2).

Para a PT (Tabela 3), houve diferença significativa entre manejos no ano de 1996, somente na camada 0-5 cm e, em 1998, nas camadas de 0-5 e 5-15 cm, sendo que, nos tratamentos convencional e escarificador, com maior mobilização do solo, a PT foi maior somente em 1996 e, em 1998, o preparo convencional foi igual à semeadura direta. Segundo Secco *et al.* (2005), a mobilização aumenta o volume do espaço poroso do solo, concordando com resultados aqui obtidos. Na Tabela 3, observa-se que houve diferença significativa entre os anos na camada de 0-5 cm somente para o manejo convencional do solo, ocorrendo diminuição do valor desse atributo do solo de 1996 para 1998. Na camada de 5-15 cm, a

TABELA 2. Macroporosidade e microporosidade nos anos de 1996 e 1998, nas camadas de 0-5, 5-15 e 15-30 cm, para os diferentes tratamentos estudados.

Sistema de preparo	Camadas (cm)	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			Microporosidade (m ³ m ⁻³)				
		1996		1998	1996		1998		
Convencional	0-5	0,224 a A	a*	0,183 a B	a	0,323 b A	b	0,336 b A	a
	5-15	0,069 c A	a	0,093 c A	a	0,388 a A	a	0,363 a B	a
	15-30	0,132 b A	a	0,139 b A	a	0,387 a A	a	0,370 a B	b
Escarificador	0-5	0,161 a B	b	0,210 a A	a	0,362 b A	a	0,339 c B	a
	5-15	0,085 b B	a	0,151 b A	a	0,386 a A	a	0,371 b A	a
	15-30	0,114 b A	a	0,109 c A	a	0,399 a A	a	0,401 a A	a
Semeadura direta	0-5	0,090 a A	c	0,109 a A	b	0,380 b A	a	0,355 a B	a
	5-15	0,086 a A	a	0,109 a A	a	0,390 ab A	a	0,358 a B	a
	15-30	0,121 a A	a	0,118 a A	a	0,402 a A	a	0,362 a B	b

Dentro de cada sistema de preparo, médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, comparando respectivamente as profundidades e os anos, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

* Entre sistemas de preparo, médias seguidas por mesma letra correspondentes a uma mesma profundidade dentro de cada ano, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

porosidade total no tratamento com escarificador aumentou de 1996 para o ano de 1998. Já na camada de 15-30 cm, observou-se diferença significativa apenas para a semeadura direta, a qual propiciou a diminuição da porosidade total. As alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciadas por modificações nos valores de densidade, afetam a resistência do solo à penetração, a PT, a distribuição do diâmetro dos poros e a porosidade de aeração, a dinâmica da água na superfície e no seu perfil e, a armazenagem e disponibilidade de água às plantas (Klein et al., 1998), refletindo no rendimento das culturas.

Na densidade do solo (Tabela 3), a diferença significativa entre manejo ocorreu na camada de 0-5 cm, com maior valor para a semeadura direta em ambos os anos de avaliação e, na camada de 5-15 cm, houve diferença apenas em 1998, com maiores valores para a semeadura direta e preparo convencional. A semeadura direta, ao contrário dos outros tratamentos, apresentou camada adensada na camada de 0-5 cm, devido ao não revolvimento do solo, bem como ao trânsito de máquinas na área, concordando com resultados obtidos por Tormena et al. (2002) e Secco et al. (2005).

Na camada de 0-5 cm, houve diferença para a densidade do solo entre 1996 e 1998 somente para o preparo convencional (Tabela 3), o qual apresentou aumento da densidade com o tempo de avaliação. De forma geral, isso pode ser traduzido como degradação física na área com preparo convencional de solo e estabilidade na área sob o preparo com escarificador e semeadura direta. Na camada de 5-15 cm, exceto para o preparo com escarificador, a densidade do solo se apresentou alta, ou seja, acima do valor verificado para as condições desse solo no início do

experimento ($1,40 \text{ kg dm}^{-3}$), demonstrando que realmente há uma camada compactada, vindo confirmar os resultados mostrados para a macroporosidade. A camada de 15-30 cm não apresentou modificações durante o período de estudo e os resultados encontrados estão coerentes com os valores considerados naturais para o solo estudado. Corsini & Ferraldo (1999), trabalhando com o mesmo tipo de solo, encontraram resultados semelhantes.

Entretanto, Secco et al. (2005), ao estudarem a influência de cinco sistemas de manejo, ao longo de três anos, nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico e na produtividade de culturas, não verificaram tendência de adensamento do solo com o tempo, nas três camadas e em todos os sistemas estudados, com exceção da semeadura direta de verão, com escarificação no outono/inverno. Segundo Tormena et al. (2002), a longo prazo, é possível que o acúmulo de matéria orgânica e a redução no tráfego contribuam para reduzir a densidade do solo na semeadura direta.

Para o rendimento do milho, houve diferença significativa entre manejo de solo e entre anos de cultivo (Tabela 4). Em 1996, a semeadura direta foi a que apresentou menor rendimento. Os sistemas de preparo com escarificador e preparo convencional do solo, quando comparados à semeadura direta, provavelmente proporcionaram condições físicas menos restritivas ao crescimento das plantas, em 1996. Entre os anos, a diminuição de rendimento de grãos no preparo convencional e escarificador provavelmente foi devido à degradação das propriedades físicas citadas anteriormente.

TABELA 3. Porosidade total e densidade do solo nos anos de 1996 e 1998, nas camadas de 0-5, 5-15 e 15-30 cm, para os diferentes tratamentos estudados.

Sistema de preparo	Camadas (cm)	Porosidade total (m ³ m ⁻³)			Densidade do solo (kg dm ⁻³)				
		1996		1998	1996		1998		
Convencional	0-5	0,547 a A	a*	0,519 a B	a	1,13 b B	c	1,28 b A	b
	5-15	0,457 b A	a	0,456 b A	b	1,41 a A	a	1,48 a A	a
	15-30	0,521 a A	a	0,508 a A	a	1,21 b A	a	1,29 b A	a
Escarificador	0-5	0,524 a A	a	0,538 a A	a	1,25 b A	b	1,18 b A	c
	5-15	0,471 a B	a	0,512 a A	a	1,39 a A	a	1,31 a B	b
	15-30	0,513 a A	a	0,509 a A	a	1,23 b A	a	1,29 a A	a
Semeadura direta	0-5	0,470 b A	b	0,464 a A	a	1,44 a A	a	1,42 a A	a
	5-15	0,476 a A	a	0,457 a A	b	1,41 a A	a	1,43 a A	a
	15-30	0,524 a A	a	0,480 a B	a	1,23 b A	a	1,32 b A	a

Dentro de cada sistema de preparo, médias seguidas da mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, comparando respectivamente as profundidades e os anos, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.* Entre sistemas de preparo, médias seguidas por mesma letra correspondentes a uma mesma profundidade dentro de cada ano, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

TABELA 4. Rendimento de milho e de feijão nos anos de 1996 e 1997, sob diferentes sistemas de manejo.

Tratamentos	Ano	
	1996	1997
Rendimento de milho (kg ha⁻¹)		
Convencional	3.867 a A	2.979 b B
Escarificador	3.849 a A	2.504 b B
Semeadura direta	1.263 b B	3.258 a A
Coeficiente de variação: 16,49%		
Rendimento de feijão (kg ha⁻¹)		
Convencional	880 b B	2.765 a A
Escarificador	811 b B	2.500 a B
Semeadura direta	1.525 a A	3.008 a A
Coeficiente de variação: 24,51%		

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Em 1997, tanto o preparo convencional como o preparo com escarificador mostraram menores rendimentos de grãos de milho. No entanto, mesmo a densidade do solo tendo sido maior na semeadura direta (média de 1,42 kg dm⁻³), comparada aos outros sistemas, a cultura obteve aumento no rendimento de grãos de 1996 para 1997. Isso significa que os resultados de maior densidade de solo encontrados nesse solo não comprometeram o crescimento radicular e o conseguinte desenvolvimento das plantas de milho. Ainda pode-se levar em consideração que a máxima produtividade de uma cultura pode ser alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, se relacionando-se direta ou indiretamente com a estrutura do solo (Secco et al., 2005) e, no presente estudo, nota-se que a semeadura direta tem proporcionado estabilidade do solo. Entretanto, Silveira & Stone (2003) e Secco et al. (2005) não encontraram diferença significativa no rendimento de grãos de milho para diferentes sistemas de manejo.

A redução da PT e macroporosidade e o aumento da densidade do solo no sistema convencional podem ter relação com a diminuição do rendimento de grãos de 1996 para 1997, por diminuir a disponibilidade de ar e água para as plantas, bem como dificultar o desenvolvimento radicular (Secco et al., 2005).

Em 1996, a semeadura direta propiciou ao feijoeiro maior rendimento, enquanto os demais manejos do solo apresentaram menor produção (Tabela 4). Em 1997, a semeadura direta e o sistema convencional propiciaram maior rendimento do feijão. Segundo Stone & Moreira (2000), os sistemas de manejo do solo afetam diferentemente a sua densidade e porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil, interferindo diretamente no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Stone & Silveira (1999) também verificaram maior rendimento de grãos de feijão na semeadura direta e atribuíram isso à menor variação do teor de água no solo nesse tipo de manejo do solo, condicionada pela qualidade estrutural do solo.

Em relação à soja, houve maior rendimento na semeadura direta (Tabela 5). Isso pode ser traduzido como uma evolução do sistema de semeadura direta em melhorar a estrutura do solo, gerando melhor aproveitamento tanto de água como de nutrientes, como já mencionado anteriormente. Entretanto, Silveira & Stone (2003) não obtiveram efeito significativo sobre a produtividade da soja nos diferentes sistemas de preparo do solo, em seis anos de pesquisa. Balbino & Oliveira (1992), por sua vez, verificaram que a semeadura direta e o preparo com arado proporcionaram produtividades de soja maiores ou semelhantes às obtidas com o preparo com grade.

TABELA 5. Rendimento de grãos de soja, massa verde e matéria seca da aveia-preta no ano de 1998.

Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)		
	Soja	Aveia-preta (biomassa verde)	Aveia-preta (matéria seca)
Convencional	1.291 B	9.027 A B	3.536 A
Escarificador	1.211 B	10.217 A	3.430 A
Semeadura direta	1.485 A	7.390 B	3.631 A
CV %	14,18	22,51	29,83

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna, para cada cultura, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Para a cultura de aveia-preta, implantada com o objetivo de produzir cobertura vegetal (Tabela 5), o preparo de solo com escarificador proporcionou maior produção de biomassa verde, não diferindo, porém, do preparo convencional e, este, por sua vez, não diferindo da semeadura direta. Já para a matéria seca da aveia-preta, não houve diferença entre os preparos.

De forma geral, ao se relacionar os resultados de rendimento das culturas com os obtidos para as propriedades físicas do solo, percebe-se que o cultivo da aveia-preta pode ter relação com os melhores resultados para as características físicas estudadas (Tabelas 2 e 3). Segundo Paula, Assis e Bahia (1998), as gramíneas, que possuem um sistema radicular mais denso, provocam normalmente uma melhoria nas propriedades físicas do solo, como aumento da macroporosidade, da agregação e estabilidade dos agregados, da friabilidade do solo e da retenção de água.

Conclusões

Destacam-se as seguintes conclusões:

a) os sistemas de manejo propiciaram alterações nos atributos físicos do solo, tanto em camada quanto entre anos de avaliação. Entretanto, essas mudanças ocorrem ao longo do tempo, sendo interessante um monitoramento contínuo, principalmente na semeadura direta, para se obter resultados mais significativos;

b) o rendimento de grãos de milho foi menor no primeiro ano de avaliação e maior no ano seguinte, na semeadura direta, podendo estar relacionado diretamente às alterações nas propriedades físicas do solo, as quais também podem ter interferido no rendimento das demais culturas avaliadas.

Literatura Citada

BALBINO, L. C.; OLIVEIRA, E. F. de. Efeito do sistema de preparo do solo no rendimento de grãos de trigo, soja e milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: SBEA, 1992. v. 2, p.1354-1360.

CALEGARI, A. Rotação de culturas e uso de plantas de cobertura. **Agroecologia**, v. 14, p. 14-19, 2002.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 257-65, 1999.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

CORSINI, P. C.; FERRALDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, p. 289-298, 1999.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; SANTOS, A. P.; HECKLER, B. M. M. Alterações na disponibilidade de água no solo em sistemas de semeadura direta e convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 47.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL

- DO SORGO,30.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO FEIJÃO, 35., 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Emater-RS: FEPAGRO, 2003. v. 1. p. 1-3.
- Da ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 241-247, 1997.
- 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**, Viçosa, v. 23, p. 703-709, 1999.
- DEMATTE, J. L. I. **Levantamento detalhado dos solos do “Campus experimental de Ilha Solteira”**. Piracicaba: Departamento de Solos, Geologia e Fertilidade, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1980. 119p.
- DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 2 p.175-182, 1996.
- GAGGERO, M. R. **Alterações das propriedades físicas e mecânicas do solo sob sistemas de preparo e pastejo**. 1998. 125 f. Tese (Doutorado em Mecânica dos Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil structure. In: SUMMER, M.E. (Ed). **Handbook of soil science**. New York: CRC Press, 2000. p. A229- A275.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, p. 45-54, 1998.
- KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.
- LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 30, p. 169-185, June 1994.
- MELLO, L. M. M. **Integração agricultura-pecuária em plantio direto: atributos físicos e cobertura residual do solo, produção de forragem e desempenho econômico**. 2001. 72 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- NARIMATSU, K. C. P. **Plantio direto de soja sobre brachiaria brizantha no sistema integração agricultura-pecuária**. 2004. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 1795-1801, 2002.
- PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.;

- GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS, F. J.; VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p.765-769, 2001.
- SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.
- 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 191-199, 2000.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Sistemas de preparo do solo e rotação de culturas na produtividade de milho, soja e trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 240-244, 2003.
- SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 835-841, 2000.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999.
- SU, Z.; ZHANG, J.; WU, W.; CAI, D.; LU, J.; JIANG, G.; HUANG, J.; GAO, J.; HARTMANN, R.; GABRIELS, D. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 87, p.307-314, Feb. 2007.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S.; GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p.795-801, 2002.
- VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 873-882, 1984.