

Efeito de diferentes coberturas vegetais e sistemas de preparo do solo na produção da cultura da soja

Reny Adilmar Prestes Lopes^{1*}, Raimundo Pinheiro Neto², Alessandro de Lucca e Braccini² e Eduardo Godoy de Souza³

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. ²Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. ³Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: raplopes@uem.br

RESUMO. Este trabalho avaliou o desempenho da soja sob a influência de cobertura vegetal e de manejo do solo em um Latossolo Vermelho distrófico. Utilizaram-se aveia, nabo, ervilhaca, ervilha, milheto e tremoço. Avaliaram-se altura e densidade de plantas, altura de inserção de vagens, número de vagens, produtividade, massa de mil grãos, teor de água, densidade e resistência do solo à penetração. O sistema semeadura direta teve maior altura de inserção de vagens, quantidade de vagens, altura de plantas, teor de água e densidade do solo. Maiores valores de resistência do solo à penetração foram verificados no preparo convencional, porém obteve-se maior produtividade. As coberturas e os sistemas de preparo influenciaram na produtividade das plantas de soja. As coberturas vegetais promoveram melhorias no solo com redução da compactação em algumas camadas do solo. O consórcio aveia/ervilhaca mostrou-se uma técnica de manejo inadequada para as condições às quais o solo foi submetido. O consórcio aveia/milheto mostrou ser uma opção viável de cobertura de solo antecessora à soja. A semeadura direta mostrou ser técnica de manejo adequado para o tipo de solo estudado.

Palavras-chave: rotação de cultura, compactação do solo, manejo do solo.

ABSTRACT. Effect of different vegetal coverings and soil tillage systems on soybean crop production. This study evaluated the performance of the soybean under the influence of vegetal covering and soil management in Red Latosol dystrophic. Oats, turnip, hairy vetch, pea, millet and lupine were used. The study evaluated height and density of plants, height of insertion in string beans, number of string beans, productivity, a thousand grain mass, water content, bulk density and soil resistance to penetration. The no-tillage system had greater height of insertion of string beans, amount of string beans, height of plants, water content and soil bulk density. Greater values of soil resistance to penetration were verified in the tillage, though higher productivity was observed. The coverings and the soil tillage systems influenced the productivity of soybean plants. The vegetal coverings promoted improvement of the ground with reduction of the compactation in some layers of the soil. The oats/millet association is a viable option of soil covering predecessor of soybean. The no-tillage practice showed to be the adequate management technique for the type of soil studied.

Key words: crop rotation, soil compactation, soil management.

Introdução

A exploração de culturas anuais em solos arenosos utilizando sistemas de preparo do solo e com práticas utilizadas em outras classes de solo pode promover a degradação do mesmo. Rotação, sucessão e consórcio entre culturas podem minimizar o efeito degradativo do seu uso. O consórcio permite alternância de gramíneas e de leguminosas, o que proporciona importantes melhorias nas propriedades físicas do solo e na relação C/N intermediária, favorecendo a

mineralização gradativa do nitrogênio. Portanto, uma das possíveis estratégias para aumentar a estabilidade da cobertura morta é o uso da associação ou rotação de diferentes espécies. As coberturas de baixa relação C/N e pouca celulose (leguminosas e crucíferas), quando misturadas com espécies mais fibrosas, tendem a ser mais resistentes ao processo de decomposição (Filho e Muzilli, 1999). De acordo com Calegari *et al.* (1993), Calegari (1998) e Filho e Muzilli (1999), a aveia preta, o nabo forrageiro, a ervilha forrageira, o tremoço branco, a

ervilhaca comum e o milho podem produzir massa seca na quantidade de 7,0; 6,0; 4,5; 5,0; 5,5 e 9,0 t ha⁻¹ ano⁻¹, possuindo uma relação C/N de 20,76; 14,45; 19,02; 14,84; 12,90 e 26,33, respectivamente.

Os diferentes sistemas de preparo do solo têm, como objetivo, oferecer as condições físicas adequadas para o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas. No entanto, dependendo do solo, do clima e da cultura, os sistemas de preparo podem promover a degradação da qualidade física do solo, com reflexos ambientais na produtividade das culturas. Solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, cultivo sucessivo e revolvimento excessivo os predispõem às altas taxas de erosão, à compactação e às perdas de matéria orgânica, resultando na degradação física, química e biológica (Cardoso *et al.*, 1992; Fidalski, 1997). Nesse contexto, estão enquadrados os solos derivados do arenito Caiuá, na região noroeste do Estado do Paraná (Carvalho, 1994).

O uso sistemático da grade aradora nas operações de preparo do solo leva à formação de camada compactada, conhecida como pé de grade, que dificulta a penetração das raízes e a absorção de água e potencializa os riscos da erosão hídrica. Souza (1988) verificou que o uso contínuo de grade aradora provocou degradação nas características físicas do solo, observado pelo acréscimo de densidade e de microporosidade com o tempo de uso do solo, enquanto a porosidade e a macroporosidade diminuíram, com formação de camada compactada na profundidade de 0,10-0,20 m. Centurion e Demattê (1985), estudando os efeitos de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho escuro cultivado com soja, verificaram que os sistemas de preparo reduzido, convencional e superpreparo induziram a formação de camadas compactadas a diferentes profundidades (0,10; 0,20 e 0,20 m, respectivamente).

Oliveira (1998), trabalhando com um Nitossolo Vermelho eutrófico, observou maiores valores de macroporosidade na camada superficial do solo, sob o preparo mínimo e maior resistência à penetração no sistema convencional, nas camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, indicando a formação de camada adensada. Em estudos realizados por Daniel (1984), observou-se que o sistema de semeadura direta determinou, na camada 0,00-0,20 m, maiores valores de resistência do solo à penetração, quando comparado ao sistema convencional.

A resistência do solo à penetração varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água do solo (Busscher *et al.*,

1997). Esse comportamento tem dificultado a interpretação das avaliações de resistência do solo à penetração se esses fatores não forem levados em conta. Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração, decorrente da maior coesão entre partículas, dificultando comparações entre sistemas de manejo (Beltrame *et al.*, 1981); este aspecto é minimizado quando se realizam medições na capacidade de campo do solo (Mata, 1988; Arshad *et al.*, 1996). Em Latossolo Vermelho Escuro, com 0,200 kg kg⁻¹ de argila, Carvalho Jr. *et al.* (1998) verificaram que a densidade do solo acima de 1,60 g cm⁻³ provocou restrições ao crescimento das raízes e diminuição da infiltração de água no solo. Sidiras *et al.* (1984), comparando o sistema de semeadura direta com o preparo convencional, concluíram que a densidade do solo foi afetada pela semeadura direta, que promoveu diminuição do seu gradiente e aumento da retenção de água na sua camada superficial.

As plantas apresentam diferentes respostas à resistência do solo à penetração, variando entre culturas e cultivares. Em condições de restrição, as raízes das plantas enviam sinais à parte aérea, informando que as condições para o desenvolvimento da planta estão se restringindo, sendo necessário reduzir a taxa de crescimento, resultando em menor produção. Por sua vez, foi verificado que solos excessivamente porosos são prejudiciais à absorção de água e de nutrientes pelas raízes, por causa do menor contato solo/raiz, provocando também menor desenvolvimento das plantas (Hakansson *et al.*, 1998). Diversos estudos relacionam resistência do solo à penetração e densidade do solo (Beltrame *et al.*, 1981; Castro, 1995; Borges *et al.*, 1999). Beltrame *et al.* (1981) verificaram que para uma variação de teor de água do solo, ocorre variação no sentido contrário na resistência do solo à penetração, pois o teor de água intervém modificando a coesão entre as partículas do solo. Tormena *et al.* (1998), ao analisar a resistência à penetração de um Latossolo Roxo sob semeadura direta e preparo convencional, observou uma relação inversa entre teor de água do solo e resistência do solo à penetração, ou seja, quanto menor o teor de água, maior a resistência, cujo fato foi atribuído ao menor efeito lubrificante da água ao redor das partículas em solos com menor teor de água. Castro (1995), determinando a resistência do solo à penetração, obteve as mesmas tendências dos dados de densidade do solo em diferentes sistemas de preparo. Tormena *et al.* (2004), em Latossolo Vermelho distrófico, avaliando a resistência do solo à penetração no perfil 0,00-0,40 m, verificaram

maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade no sistema semeadura direta e preparo mínimo, em comparação com o preparo convencional. A resistência do solo à penetração foi maior no sistema semeadura direta, o qual se mostrou restritivo ao desenvolvimento de plantas.

Diante disso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da cultura da soja sob a influência de diferentes coberturas e preparo de solo sobre teor de água, densidade do solo e resistência do solo à penetração.

Material e métodos

O experimento foi realizado no Campus do Arenito da Universidade Estadual de Maringá, situado no município de Cidade Gaúcha, na região noroeste do Estado do Paraná, rodovia PR 482 km 45, no período de março de 2004 a março de 2005. O local está a uma altitude média de 404 m, latitude 23°22'30" Sul e longitude 52°56'00" Oeste, com clima do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura areia franca (Embrapa, 1999). Na Tabela 1 é apresentado o resultado da análise química e granulométrica do solo estudado.

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo na profundidade de 0,00-0,20 m.

PH	Al ⁺³	H ⁺¹	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	SB	CTC	P	C
H ₂ O	CaCl ₂									
cmol _c dm ⁻³ mg dm ⁻³ g dm ⁻³										
6,3	7,1	0,10	1,88	2,33	1,20	0,16	3,69	5,57	8,30	7,11
V	Ca	Mg	K	m	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	K/(√Ca + Mg)	
%										
66,25	41,83	21,54	2,87	2,64	1,94	14,56	7,50	22,06	0,09	
Areia: 830 kg mg ⁻¹			Silte: 10 kg mg ⁻¹			Argila: 160 kg mg ⁻¹				

Análise realizada pelo Laboratório de solos da Universidade Estadual de Maringá, Estado do Paraná.

No dia 20/4/2005, a área sob semeadura direta (SD) foi dessecada com glifosato na quantidade de 3 L ha⁻¹. Na área sob preparo convencional (CO), foi realizada uma aração por grade aradora seguida por uma aração com grade niveladora.

No dia 29/4/2004, realizou-se a semeadura das coberturas de inverno (aveia preta Iapar 61 - 60 kg ha⁻¹, nabo forrageiro cv. Seletina - 20 kg ha⁻¹, ervilhaca comum - 80 kg ha⁻¹, ervilha forrageira Iapar 83 - 90 kg ha⁻¹ e tremoço branco - 140 kg ha⁻¹) a lanço nas duas áreas. A incorporação das sementes em ambas as áreas foi realizada por uma grade niveladora semi-aberta, após serem demarcadas as parcelas experimentais.

No dia 20/8/2004, foi utilizada uma roçadora nas parcelas destinadas a semear o milho (ADR 300 15 kg ha⁻¹), sendo seguida por semeadura a lanço e incorporação das sementes por uma grade niveladora

semi-aberta. No dia 12/11/2004, dessecou-se toda a área sob semeadura direta e realizou-se uma aração com grade aradora seguida por niveladora, incorporou-se como pré-emergente Trifluralina na dose de 4 L ha⁻¹ na área sob preparo convencional.

Na Figura 1, são apresentados valores de precipitação (a), curva de retenção de água no solo (b) e balanço hídrico (c), para o período da semeadura à maturidade fisiológica da soja.

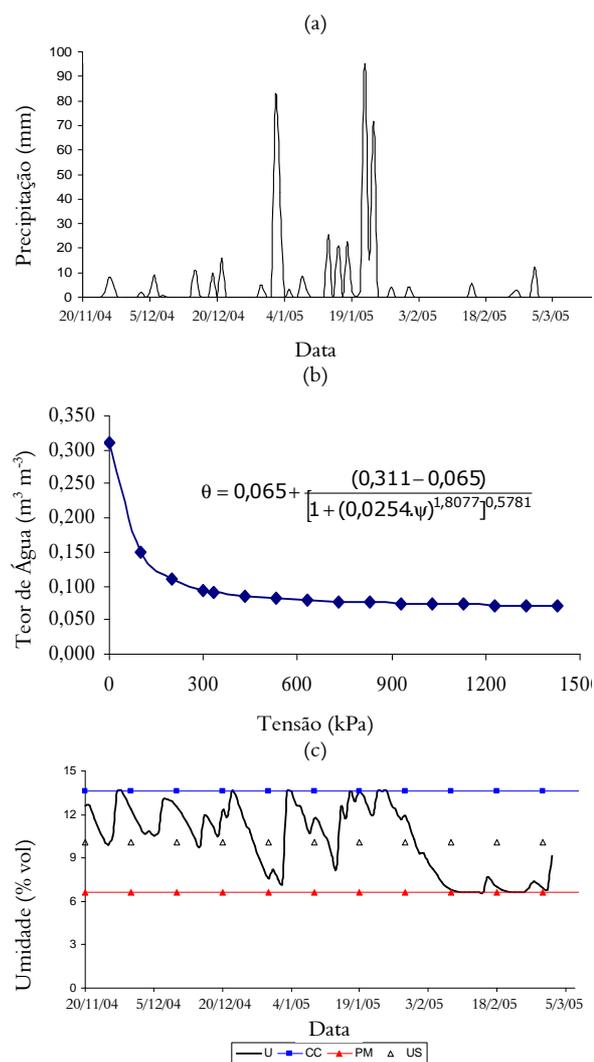


Figura 1. Valores de precipitação (a), curva de retenção de água no solo (b) e balanço hídrico (c) (U = teor de água, CC = Capacidade de Campo, PM = Ponto de murcha permanente e US = teor de água de segurança).

No dia 21/11/2004 realizou-se a semeadura da soja CD 206 sobre as parcelas, outrora ocupadas pelas coberturas vegetais, por meio de um conjunto mecanizado composto por uma semeadora-adubadora marca Marchesan, modelo PST3, e um trator marca Massey Ferguson 283, modelo 4x4 TDA. As sementes foram tratadas com fungicida

(Vitavax+Thiram PM na dose de 250 mL 100 kg⁻¹ de sementes) e inoculante turfoso (500 g 50 kg⁻¹ sementes); foi aplicado adubo formulado equivalente a 300 kg de NPK (4-20-20) h⁻¹ com base na recomendações da Embrapa (2004).

As análises da planta constaram em determinar 10 plantas ao acaso em cada parcela, altura de plantas (distância do nível do solo até o meristema apical na haste principal), inserção das primeiras vagens (distância entre o colo da planta e a inserção das primeiras vagens), número de vagens por planta (vagens destacadas das plantas utilizadas para avaliação de altura de plantas e inserção das primeiras vagens). Em seguida, contaram-se as vagens e determinou-se a média por planta. A densidade final e a produtividade foram avaliadas por meio de amostragens tomadas em um metro quadrado da área útil e os resultados foram expressos em número de plantas por metro quadrado e quilogramas por hectare, respectivamente. As sementes de soja foram avaliadas no ponto de maturidade fisiológica, sendo corrigida para 13% de umidade (método da estufa 105°C ± 1).

A massa de mil sementes foi obtida por meio da pesagem das amostras em laboratório, de acordo com as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992).

A determinação do teor de água e da densidade do solo foi realizada no estádio de florescimento da cultura de soja (15/1/2005), na profundidade de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, seguindo a metodologia descrita por Embrapa (1997) e Kiehl (1979).

A resistência do solo à penetração foi medida conforme Tormena e Roloff (1996), realizando 4 subamostras em cada parcela, em camadas de 0,05 m, no perfil do solo até a profundidade de 0,50 m, utilizando-se um penetrômetro com anel dinamométrico (base do cone de 10 mm), juntamente com as avaliações de teor de água e de densidade do solo.

Os tratamentos constaram de P - Pousio (vegetação natural), Av - Aveia preta (100%), AvEca - Aveia preta (50%)/Ervilhaca comum (50%), AvEva - Aveia preta (50%)/Ervilha forrageira (50%), AvT - Aveia preta (50%)/Tremoço branco (50%), AvN - Aveia preta (50%)/Nabo forrageiro (50%) e AvM - Aveia preta (50%)/Milheto (50%), em 56 parcelas (28 parcelas sob semeadura direta e 28 sob preparo convencional) de 80 m² (5x16 m).

O delineamento experimental foi em parcelas

subdivididas em blocos ao acaso, com 4 repetições, com tratamento principal (sistemas de preparo) e secundário (coberturas vegetais). As medidas de posição ou tendências centrais dos dados, a análise de variância e o desdobramento foram feitos pelo teste de Scott-Knott em nível de 5% de significância, por meio do programa estatístico Sisvar 4.6 (Ferreira, 2000).

Resultados e discussão

Na Tabela 2 são apresentados os valores das características avaliadas para a cultura da soja.

Analisando a Tabela 2, observa-se que a produtividade diferiu entre os sistemas de cultivo, com melhor resultado no sistema CO (3539 kg ha⁻¹), destacando as parcelas sob P, Av e AvN.

Tabela 2. Resultados de comparação de médias, desdobramentos e coeficiente de variação para produtividade, massa de mil sementes, número de plantas, número de vagens por planta, altura de inserção de vagens e altura de plantas, nas parcelas sob cobertura vegetal (C) nos sistemas de cultivo (S), semeadura direta (SD) e preparo convencional (CO).

Produtividade (kg ha ⁻¹)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	2759Ba	2554Ba	2697Ba	3139Aa	3326Aa	2692Aa	3835Aa	3000 B
CO	3452Aa	3781Aa	3770Aa	3420Aa	3693Aa	2929Aa	3727Aa	3539 A
Médias(C)	3106c	3167c	3233c	3279c	3509b	2810d	3780a	
Coeficiente de Variação: 15,41%								
Massa de Mil Sementes (g)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	135,0Aa	115,0Aa	117,0Aa	121,0Aa	151,0Aa	117,0Aa	140,0Aa	128,0 A
CO	127,0Aa	128,0Aa	122,0Aa	144,0Aa	135,0Aa	107,0Aa	152,0Aa	131,0 A
Médias(C)	131,0b	122,0c	120,0c	133,0b	143,0a	112,0c	146,0a	
Coeficiente de Variação: 24,82%								
Número de Plantas por Metro Quadrado								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	20,0Aa	22,0Ba	24,0Aa	20,0Ba	19,0Aa	22,0Aa	28,0Aa	22,0 A
CO	25,0Aa	30,0Aa	28,0Aa	27,0Aa	24,0Aa	26,0Aa	31,0Aa	27,0 A
Médias(C)	22,0b	26,0a	26,0a	24,0b	21,0b	24,0b	29,0a	
Coeficiente de Variação: 29,79%								
Número de Vagens por Planta								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	110,0Aa	87,0Bb	79,0Bb	79,0Bb	96,0Ba	96,0Ba	77,0Bb	89,0 B
CO	127,0Aa	111,0Aa	109,0Aa	118,0Aa	119,0Aa	134,0Aa	108,0Aa	118,0 A
Médias(C)	118,0a	99,0a	94,0a	98,0a	108,0a	115,0a	92,0a	
Coeficiente de Variação: 21,25%								
Altura de Inserção de Vagens (m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,09Ac	0,12Ab	0,12Ab	0,14Aa	0,10Ac	0,11Ac	0,13Aa	0,11A
CO	0,08Aa	0,07Bb	0,08Ba	0,06Bb	0,06Bb	0,07Bb	0,08Ba	0,07B
Médias(C)	0,09b	0,10a	0,10a	0,10a	0,08b	0,09b	0,11a	
Coeficiente de Variação: 17,56%								
Altura de Plantas (m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,67Ab	0,71Aa	0,72Aa	0,70Aa	0,64Ac	0,70Aa	0,73Aa	0,70 A
CO	0,59Ba	0,57Aa	0,51Bc	0,56Ba	0,54Bb	0,54Bb	0,58Ba	0,55 B
Médias(C)	0,63a	0,64a	0,61a	0,63a	0,59a	0,62a	0,65a	
Coeficiente de Variação: 5,50%								

NOTA: P = pousio, Av = Aveia, AvN = Aveia+Nabo Forrageiro, AvT = Aveia+Tremoço, AvEca = Aveia+Ervilhaca comum, AvEva = Aveia+Ervilha Forrageira e AvM = Aveia+Milheto. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Considerando valores médios, independentemente de cultivo, a parcela AvM apresentou maior valor de produtividade (3780 kg ha^{-1}), diferindo das demais, principalmente da parcela AvEca (2810 kg ha^{-1}). Esse comportamento discorda daqueles obtidos por Kluthcouski *et al.* (2000), os quais verificaram rendimentos equivalentes em ambos os sistemas de manejo do solo. Por outro lado, Ferrera *et al.* (2001) verificaram menor produtividade de soja no sistema semeadura direta, devido à menor porosidade e à maior compactação do solo do que o cultivo mínimo na superfície. É importante salientar que os valores médios obtidos no experimento, principalmente no sistema CO, estão próximos da média obtida na região, 3592 kg ha^{-1} (Oliveira, 2000).

Os valores da massa de mil sementes diferiram estatisticamente somente em valores médios das coberturas, independentemente dos sistemas de cultivo. As parcelas sob Av, AvM e AvT apresentaram os maiores valores, diferindo das demais. Esses resultados discordam dos obtidos por Siqueira (1999) e Yano (2002), os quais não verificaram diferenças significativas na massa de mil sementes.

Para o número de plantas, houve diferenças significativas para as parcelas sob Av, AvN e AvM com valores médios, que diferiram das demais. Analisando dentro dos sistemas de cultivos, somente as parcelas de Av e AvEva diferiram das demais, com vantagem para o sistema CO.

Para a variável número de vagens por planta, o sistema preparo convencional resultou em valor estatisticamente maior quando comparado ao sistema semeadura direta e para as coberturas dentro dos sistemas de cultivo, com exceção de P.

Para a característica altura de inserção de vagens, o sistema de SD apresentou os maiores valores. Observando-se o comportamento das coberturas independentemente do sistema de manejo, os maiores valores foram obtidos pelas parcelas com as coberturas Av, AvN, AvT e AvM. Analisando as coberturas dentro de cada manejo de solo, os melhores resultados foram obtidos pelas coberturas AvEva e AvM, para o sistema SD e P, AvN e AvM para o sistema CO e, considerando as coberturas nos sistemas de cultivo, somente P não diferiu em valores.

Para altura de plantas, verifica-se que a semeadura direta resultou em maiores valores. Esses resultados corroboram com os obtidos por Prior *et al.* (2001), os quais verificaram maior produtividade no preparo convencional, sendo a altura de plantas maior na área sob semeadura direta, onde a densidade do solo foi menor, no entanto, sem apresentar diferenças significativas entre os sistemas de cultivo. É importante salientar que os

valores médios obtidos para as parcelas com AvT e AvM encontram-se dentro da altura mínima recomendada ($0,13 \text{ m}$) para a realização da colheita mecânica (Queiróz, 1981).

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores dos parâmetros físicos do solo estudado.

Pela Tabela 3, verifica-se, para teor de água, que ocorreram diferenças significativas na camada de solo de $0,00\text{-}0,10 \text{ m}$ de profundidade. O sistema SD apresentou o maior valor médio de teor de água no solo. Analisando as coberturas dentro dos sistemas, com exceção da AvN, todas as coberturas demonstraram maiores valores de teor de água no sistema SD. Na camada de $0,10\text{-}0,20 \text{ m}$, somente as parcelas sob AvM diferiram estatisticamente e o sistema SD mostrou ser mais apto a armazenar água no solo; por outro lado, o sistema CO, por estar menos denso, promove maior infiltração da água no solo. Observa-se também aumento do teor de água do solo com a profundidade. Esses resultados corroboram com os obtidos por Lal (1976) e Salton e Mielniczuk (1995), os quais observaram maiores teores de água nas parcelas onde o solo não foi preparado (revolvido), provavelmente em função da cobertura do solo, que reduziu as perdas por evaporação.

Tabela 3. Resultado de comparação de médias dos valores de teor de água ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) e densidade do solo (mg m^{-3}) nas profundidades $0,00\text{-}0,10 \text{ m}$ e $0,10\text{-}0,20 \text{ m}$, nos sistemas semeadura direta e preparo convencional.

Teor de Água (0,00-0,10 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,139Aa	0,122Aa	0,127Aa	0,126Aa	0,127Aa	0,129Aa	0,135Aa	0,129 A
CO	0,088Ba	0,081Ba	0,111Aa	0,084Ba	0,097Ba	0,084Ba	0,090Ba	0,091 B
Médias(C)	0,114a	0,101a	0,119a	0,105a	0,112a	0,106a	0,112a	
Coeficiente de Variação: 19,47%								
Teor de Água (0,10-0,20 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,135Aa	0,137Aa	0,134Aa	0,138Aa	0,132Aa	0,133Aa	0,144Aa	0,136A
CO	0,125Aa	0,126Aa	0,138Aa	0,121Ba	0,122Aa	0,130Aa	0,128Ba	0,127A
Médias(C)	0,130a	0,131a	0,136a	0,129a	0,127a	0,132a	0,136a	
Coeficiente de Variação: 13,58%								
Densidade do Solo (0,00-0,10 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,63Aa	1,57Aa	1,63Aa	1,61Aa	1,61Aa	1,64Aa	1,59Aa	1,61 A
CO	1,42Bb	1,42Bb	1,48Ba	1,41Bb	1,47Bb	1,55Ba	1,49Ba	1,46 B
Médias(C)	1,53a	1,50a	1,55a	1,51a	1,52a	1,60a	1,54a	
Coeficiente de Variação: 6,39%								
Densidade do Solo (0,10-0,20 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,65Aa	1,67Aa	1,66Aa	1,67Aa	1,69Aa	1,64Aa	1,71Aa	1,67A
CO	1,55Bb	1,60Ab	1,67Aa	1,59Ab	1,59Ab	1,70Aa	1,66Aa	1,62A
Médias(C)	1,60a	1,63a	1,66a	1,63a	1,64a	1,67a	1,68a	
Coeficiente de Variação: 5,26%								

NOTA: P = Pousio; Av = Aveia; AvN = Aveia+Nabo Forrageiro; AvEva = Aveia+Ervilha Forrageira; AvT = Aveia+Tremço; AvEca = Aveia+Ervilhaca comum; AvM = Aveia + Milheto; Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A densidade do solo na camada $0,00\text{-}0,10 \text{ m}$ diferiu estatisticamente nos sistemas de cultivo e nas parcelas sob as coberturas vegetais. O sistema SD apresentou

maior valor médio. Para as coberturas vegetais, no sistema preparo convencional, os maiores valores médios de densidade do solo foram observados para AvEca e AvM, enquanto entre os sistemas todas diferiram estatisticamente. Para camada 0,10-0,20 m, verificaram-se diferenças somente para coberturas no sistema CO, destacando maiores valores de densidade as parcelas sob as coberturas AvN, AvEca e AvM. Analisando o perfil do solo de 0,00-0,20 m, verifica-se que o sistema SD apresentou maiores valores de densidade do solo. Esses resultados corroboram com os verificados por Daniel (1984).

Os valores de teor de água podem ser explicados pelo balanço hídrico, pela precipitação e pela curva de retenção de água no solo (Figura 1), indicando menor teor de água no solo, pois este estava próximo ao ponto de murcha permanente, abaixo da umidade de segurança recomendada para cultura da soja. Estes valores podem refletir maiores valores de resistência à penetração do solo, devido ao menor efeito lubrificante água/solo (Beltrame et al., 1981; Sidiras et al., 1984).

Pela Tabela 4, observa-se que na camada 0,00-0,05 m o sistema SD apresentou maior valor médio de resistência. As parcelas com as coberturas vegetais AvT e AvEca diferiram das demais em maior valor médio. Dentro dos sistemas de cultivo, as parcelas sob Av, AvT, AvEca e AvM diferiram das demais em maiores valores para o sistema SD. No sistema SD, os maiores valores de resistência foram observados nas parcelas AvT e AvEca e, no sistema CO, as parcelas sob a cobertura AvT.

Na Camada 0,05-0,10 m, o sistema CO apresentou maior valor médio de resistência. As coberturas P, Av e AvT diferiram das demais com maiores valores. No sistema de cultivo SD, os maiores valores de resistência foram nas parcelas sob as coberturas Av, AvN, AvEva e AvM e, no sistema CO, as parcelas sob a cobertura Av e P.

Na camada 0,10-0,15 m, o sistema CO apresentou maior valor médio de resistência. As parcelas sob P, Av e AvEca diferiram das demais com maiores valores. As parcelas sob P diferiram estatisticamente com maior valor no sistema CO.

Na camada 0,15-0,20 m, o preparo convencional apresentou maior valor de resistência. Dentro dos sistemas de cultivo, as parcelas sob AvN e AvEva não diferiram estatisticamente, o mesmo ocorrendo para as coberturas nos sistemas SD e CO.

Na camada 0,20-0,25 m, o preparo convencional apresentou maior valor médio de resistência. Dentro dos sistemas de cultivo, todas as parcelas, com exceção de AvN, diferiram estatisticamente entre si.

Na camada 0,25-0,30 m, o preparo convencional apresentou maior valor de resistência do solo à

penetração. Dentro dos sistemas de cultivo para as coberturas do solo, somente as parcelas sob AvN e

Tabela 4. Resultados de desdobramento, coeficiente de variação e valores médios de resistência do solo à penetração (MPa) no perfil de solo de 0,00-0,50 m, nas parcelas sob preparo convencional (CO) e semeadura direta (SD).

RP5 (0,00-0,05 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,33Ac	0,50Ab	0,33Ac	0,35Ac	0,62Aa	0,68Aa	0,45Ab	0,47A
CO	0,29Ab	0,33Bb	0,31Ab	0,34Ab	0,50Ba	0,25Bb	0,27Bb	0,33B
Médias(C)	0,31b	0,42b	0,32b	0,36b	0,56a	0,46 ^a	0,36b	
Coeficiente de Variação: 22,18%								
RP10 (0,05-0,10 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,79Bb	1,25Ba	1,23Aa	1,31Aa	0,97Bb	0,99Ab	1,17Aa	1,10B
CO	1,99Aa	1,74Aa	0,88Ac	1,36Ab	1,41Ab	1,07Ac	1,15Ac	1,37A
Médias(C)	1,39a	1,49a	1,05a	1,33a	1,19a	1,03 ^a	1,16a	
Coeficiente de Variação: 19,02%								
RP15 (0,10-0,15 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,39Ba	1,61Ba	1,99Aa	1,94Aa	1,72Aa	1,63Ba	1,75Aa	1,72B
CO	2,88Aa	2,36Ab	1,65Ad	2,05Ac	2,07Ac	2,22Ac	1,73Ad	2,13A
Médias(C)	2,14a	1,99a	1,83a	1,99a	1,89a	1,93a	1,74a	
Coeficiente de Variação: 14,95%								
RP20 (0,15-0,20 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,66Ba	1,95Ba	2,18Aa	2,20Aa	1,88Ba	2,00Ba	1,88Ba	1,97B
CO	3,16Aa	3,14Aa	2,05Aa	2,79Aa	2,55Aa	3,17Aa	2,58Aa	2,78A
Médias(C)	2,41a	2,54a	2,12a	2,49a	2,20a	2,59a	2,23a	
Coeficiente de Variação: 32,40%								
RP25 (0,20-0,25 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,85Ba	2,34Ba	2,47Aa	2,11Ba	2,51Ba	2,27Ba	2,03Ba	2,23B
CO	3,67Aa	3,59Aa	2,38Aa	3,21Aa	3,21Aa	3,86Aa	3,18Aa	3,30A
Médias(C)	2,76a	2,97a	2,43a	2,66a	2,86a	3,07 ^a	2,60a	
Coeficiente de Variação: 27,04%								
RP30 (0,25-0,30 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,74Bb	2,04Ba	2,13Aa	2,29Aa	2,40Ba	1,74Bb	1,62Bb	1,99B
CO	3,22Ab	2,79Ab	2,04Ac	2,42Ac	3,00Ab	3,71Aa	3,05Ab	2,89A
Médias(C)	2,48a	2,42a	2,09a	2,35a	2,70a	2,72a	2,34a	
Coeficiente de Variação: 17,71%								
RP35 (0,30-0,35 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,59Ba	2,07Aa	2,29Aa	2,50Aa	2,08Aa	1,65Ba	1,54Ba	1,97A
CO	2,59Aa	2,43Aa	1,93Aa	1,82Aa	2,68Aa	3,24Aa	2,62Aa	2,47A
Médias(C)	2,14a	2,25a	2,11a	2,16a	2,38a	2,44a	2,08a	
Coeficiente de Variação: 37,52%								
RP40 (0,35-0,40 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,58Ab	1,52Ab	2,21Aa	1,90Aa	1,63Bb	1,62Bb	1,96Aa	1,77A
CO	1,74Ab	1,94Ab	1,80Ab	1,22Bc	2,56Aa	2,65Aa	1,98Ab	1,98A
Médias(C)	1,66a	1,73a	2,00a	1,56a	2,09a	2,13 ^a	1,97a	
Coeficiente de Variação: 23,25%								
RP45 (0,40-0,45 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	1,13Ab	1,21Ab	1,85Aa	1,60Aa	1,39Bb	1,30Bb	2,00Aa	1,50A
CO	1,04Ab	1,48Aa	1,26Ab	0,94Bb	1,92Aa	1,65Aa	1,54Ba	1,40A
Médias(C)	1,08a	1,34a	1,56a	1,27a	1,66a	1,47 ^a	1,77a	
Coeficiente de Variação: 28,90%								
RP50 (0,45-0,50 m)								
S/C	P	Av	AvN	AvEva	AvT	AvEca	AvM	Médias(S)
SD	0,96Aa	0,99Aa	1,22Aa	0,98Aa	1,15Aa	0,91Ba	1,50Aa	1,10A
CO	0,94Aa	0,87Aa	1,11Aa	0,96Aa	1,30Aa	1,15Aa	1,06Ba	1,06A
Médias(C)	0,95b	0,94b	1,17a	0,97b	1,22a	1,03b	1,28a	
Coeficiente de Variação: 24,64%								

NOTA: P = Pousio; Av = Aveia; AvN = Aveia + Nabo Forrageiro; AvEva = Aveia + Ervilha Forrageira; AvT = Aveia + Tremoço Branco; AvEca = Aveia + Ervilha comum; AvM = Aveia + Milheto; Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

AvEva não diferiram estatisticamente. As parcelas sob Av, AvN, AvEva e AvT apresentaram maiores valores no sistema SD e, no sistema CO, as parcelas sob AvEca apresentaram os maiores valores de resistência.

Na camada 0,30-0,35 m, houve diferenças significativas para os valores de resistência do solo nas parcelas sob as coberturas vegetais. Dentro dos sistemas de cultivo, as parcelas sob P, AvEca e AvM diferiram estatisticamente em maiores valores no sistema CO.

Na camada 0,35-0,40 m, houve diferença significativa para os valores de resistência do solo para as coberturas vegetais. Dentro dos sistemas de cultivo, as coberturas AvEva, AvT, AvEca diferiram em maiores valores. No sistema SD, as parcelas sob as coberturas AvN, AvEva e AvM apresentaram os maiores valores de resistência e, no sistema CO, os maiores valores de resistência do solo foram observados nas parcelas sob as coberturas AvT e AvEca.

Na camada 0,40-0,45 m, as parcelas sob AvT, AvEva, AvEca e AvM diferiram estatisticamente. No sistema SD, os maiores valores de resistência foram observados nas parcelas sob as coberturas AvN, AvEva e AvM e, no sistema CO, os maiores valores de resistência foram observados nas parcelas sob as coberturas vegetais Av, AvT, AvEca e AvM.

Na camada 0,45-0,50 m, houve diferenças significativas nos valores médios de resistência do solo para cobertura vegetal. Foram obtidos maiores valores médios de resistência nas parcelas sob AvN, AvT e AvM. Dentro dos sistemas de cultivo, maiores valores de resistência foram obtidos nas parcelas sob AvM no sistema SD e AvEca no sistema CO.

Na Figura 2, são apresentados os valores de resistência do solo à penetração no perfil do solo nos sistemas semeadura direta e preparo convencional.

Analisando a Figura 2, observa-se que, no preparo convencional, todas as coberturas vegetais apresentaram valores de resistência do solo à penetração maiores que o restritivo (2,0 MPa) estabelecido por Beutler e Centurion (2003) e por Tormena *et al.* (2004), com destaque para as parcelas sob AvEca. Isso indica possibilidade de presença de camada adensada e evidencia que a rotação de culturas não conseguiu executar a escarificação biológica do solo, comprovada pela magnitude de resistência, demonstrando a necessidade de controle mecânico da compactação do solo. Esses resultados corroboram com os de Beutler (1999), o qual verificou máxima resistência do solo à penetração na profundidade de 0,20-0,30 m em preparo convencional. De acordo com Sarvasi (1994), é comum encontrar solos com uma

camada compactada no fundo dos sulcos de aração e de gradagem. Vieira *et al.* (1989) denominam essa camada de “pé de arado” ou “pé de grade” e atribuem sua formação ao uso de quase todos os implementos agrícolas, quando operados em condições de solo úmido. Deve-se considerar que os valores de resistência foram observados no período em que a planta estava na fase de enchimento de grãos, porém, nessa fase, as condições do solo não eram as ideais para a realização das amostragens. Os altos valores de resistência podem ser minimizados quando realizados com solo em capacidade de campo, como afirmado por Mata (1988) e Arshad *et al.* (1996). Outra observação diz respeito à densidade do solo, que apresentou uma relação direta com os valores de resistência do solo à penetração, corroborando com resultados obtidos por Busscher *et al.* (1997).

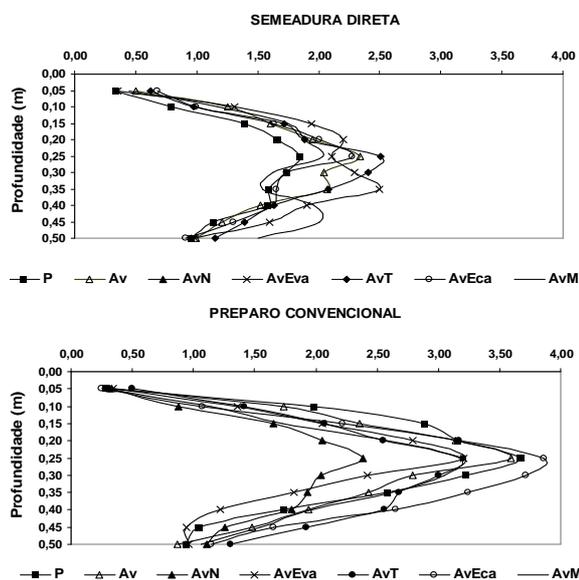


Figura 2. Valores de resistência do solo à penetração de diferentes coberturas vegetais nas parcelas sob o sistema de cultivo semeadura direta e preparo convencional, no perfil do solo.

Conclusão

Nas condições em que o experimento foi conduzido, conclui-se que as coberturas e os sistemas de cultivo influenciaram na produtividade das plantas de soja. As coberturas vegetais promoveram melhorias no solo com redução da compactação em algumas de suas camadas. O consórcio aveia/ervilhaca mostrou-se uma técnica de manejo inadequada para as condições às quais o solo foi submetido. O consórcio aveia preta/milheto mostrou ser uma opção viável de cobertura de solo antecessora à soja. A semeadura direta mostrou ser técnica de manejo adequada para o tipo de solo estudado.

Referências

- ARSHAD, M.A. et al. Physical tests for monitoring soil quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 49, p. 123-141, 1996.
- BELTRAME, L.F.S. et al. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BEUTLER, A.N. *Produtividade de culturas e atributos físicos de Latossolo Vermelho escuro fase cerrado sob diferentes sistemas de manejo*. 1999. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 38, n. 7, p. 849-856, 2003.
- BORGES, A.L. et al. Alteração de propriedades físicas e atividade microbiana de um Latossolo Amarelo álico após cultivo com fruteiras perenes e mandioca. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 23, p. 1019-25, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Regras para análise de sementes*. Brasília: DNDV/SNAD/CLAV, 1992.
- BUSSCHER, W.J. et al. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v. 43, p. 205-217, 1997.
- CALEGARI, A. et al. *Adução verde no Sul do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993.
- CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: *Plantio direto - Pequena propriedade sustentável*. Londrina: Iapar, 1998. (Circular técnica, 80).
- CARDOSO, A. et al. Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no noroeste do Estado do Paraná. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 27, p. 349-353, 1992.
- CARVALHO, A.P. Solos do arenito caiuí. In: PEREIRA, P.P. et al. (Ed.). *Solos altamente susceptíveis à erosão*. Jaboticabal: Unesp/SBCS, 1994. cap. 2, p. 39-49.
- CARVALHO JUNIOR, I.A. et al. Modificações causadas pelo uso e a formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro Textura média, na região de cerrado. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 22, p. 505-514, 1998.
- CASTRO, O.M. *Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (Zea mays L.)*. 1995. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 9, p. 263-266, 1985.
- DANIEL, L.A. *Efeito do sistema de plantio do milho (Zea mays L.) e da rotação com a soja sobre algumas características físicas do solo e comportamento da cultura*. 1984. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. (Documentos, 1).
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa/CNPS, 1999.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. *Tecnologia de produção de soja - Paraná 2005*. Londrina: Embrapa Soja/CNPS, 2004.
- FERREIRA, D.F. *Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.
- FERRERA, L.A. et al. Parâmetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 1, p. 161-170, 2001.
- FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região Noroeste do Paraná. *Rev. Unimar, Maringá*, v. 19, p. 853-861, 1997.
- FILHO, C.C.; MUZILLI, O. *Uso e manejo dos solos de baixa aptidão agrícola*. Londrina: Iapar, 1999. (Circular técnica, 108).
- HAKANSSON, I. et al. Long term experiments with different depths of mouldboard plough in Sweden. *Soil Till. Res.*, Amsterdam, v. 46, p. 209-223, 1998.
- KIEHL, E.J.L. *Manual de edafologia*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979.
- KLUTHCOUSKI, J. et al. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. *Scientia Agrícola*, Londrina, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Madson, v. 40, p. 762-768, 1976.
- MATA, J.D.V. *Relações entre as características físicas e os níveis de compactação de alguns Latossolos Paranaenses*. 1988. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- OLIVEIRA, J.O.A.P. *Efeito de sistemas de preparo em algumas propriedades do solo e na cultura da mandioca. (Manihot esculenta, Crantz)*. 1998. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998.
- OLIVEIRA, E. *Recuperação de pastagens no noroeste do Paraná: bases para plantio direto e integração lavoura e pecuária*. Londrina: Iapar, 2000. (Informe de pesquisa, 134).
- PRIOR, M. et al. Caracterização física de um solo sob dois sistemas de cultivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Conbea, 2001. 1 CD-Rom.
- QUEIRÓZ, F.F. et al. Recomendações técnicas para a colheita mecânica. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). *A soja no Brasil*. Campinas: Ital, 1981. p. 701-710.
- SALTON, J.C.; MIELNIZUK, J.C. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 19, p. 313-319, 1995.
- SARVASI, F.O.C. *Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo*. 1994. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.
- SIDIRAS, N. et al. Determinação de algumas

características físicas de um Latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 8, p. 265-268, 1984.

SIQUEIRA, R. *Sistemas de preparo em diferentes tipos de coberturas vegetais do solo*. 1999. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

SOUZA, C.M. *Efeito do uso contínuo de grade pesada sobre algumas características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Fase Cerrado, e sobre o desenvolvimento das plantas e absorção de nutrientes pela cultura da soja*. 1998. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 20, p. 333-339, 1996.

TORMENA, C.A. *et al.* Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto.

Rev. Bras. Cienc. Solo, Campinas, v. 22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C.A. *et al.* Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.

VIEIRA, S.R. *et al.* Dinâmica da água no solo em função do manejo. In: FANCELLI, A.L. (Coord.). *Plantio direto no Estado de São Paulo*. Piracicaba: Fezlo/Esalq/USP, 1989. p. 103-106.

YANO, E.H. *Sistemas integrados de produção: manejo do solo, culturas de inverno e verão*. 2002. Monografia (Especialização em Sistema de Produção)-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

Received on March 09, 2006.

Accepted on March 16, 2007.