

Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado

Monica Martins da Silva¹
Marlene Cristina Alves²
Antônio de Pádua Sousa³
Flávia Carvalho Silva Fernandes⁴

RESUMO

O uso intensivo do solo pode levar à sua rápida degradação, o que leva à busca de técnicas de cultivo mais sustentáveis. Este trabalho objetivou avaliar a influência da semeadura direta e preparo convencional, bem como o uso de cinco tipos de cobertura, nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho argiloso de cerrado, cultivado por cinco anos com milho, no município de Selvíria (MS). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas com parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos tipos de cobertura (*Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e área de pousio) e, as subparcelas, pelos sistemas de preparo (semeadura direta e preparo convencional). Nas profundidades de 0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, foram avaliados a macroporosidade, a microporosidade, a porosidade total, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração e o teor de água no solo. Não se verificou efeito dos tratamentos sobre a macroporosidade do solo, avaliada nas três camadas do perfil, e os valores obtidos de 0 a 20 cm de profundidade estiveram dentro do limite crítico de aeração considerado restritivo ao crescimento das raízes ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). A microporosidade e a porosidade total do solo somente foram afetadas pelo efeito do tipo de cobertura e preparo do solo, respectivamente, ambas em apenas uma das camadas avaliadas. A densidade do solo e resistência à penetração foram afetadas pelo sistema de preparo somente na camada de 0,10-0,20 m, e não apresentaram relação direta, o que foi atribuído às diferenças em termos de umidade. A ausência de efeitos mais marcantes dos tratamentos avaliados sobre a qualidade física do solo, mesmo após cinco anos de uso e manejo, sugerem sua resistência e, ou, resiliência às práticas agrícolas adotadas, bem como efeito positivo das práticas do uso de plantas de cobertura ou pousio.

Palavras chave: resistência à penetração, porosidade do solo, manejo do solo

ABSTRACT

Cover plants and soil management: impacts on “Cerrado” soil physical quality

The intensive use of the soil may lead to its rapid degradation, which is attracting in recent decades a constant search for sustainability of the agriculture. This study intended to verify the influence of tillage systems (no tillage and conventional tillage) and soil cover type (*Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea* and *Cajanus cajan* and spontaneous vegetation) in the physical properties of a “Cerrado” Oxisol, cultivated with maize, in the city of Selvíria (MS). The research began in the agricultural year of 1997/1998. The experiment was set in a completely randomized split-plot design. The plots were constituted by the soil cover type and the subplots were constituted by

Recebido para publicação em agosto de 2005 e aprovado em dezembro de 2008

¹ Prof. Dr. Área de Ciência do solo - UNICASTELO- Descalvado SP monica_mars@hotmail.com

² Prof. Livre Docente, Depto de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – FEIS UNESP Ilha Solteira SP mcalves@agr.feis.unesp.br

³ Prof. Dr. Depto de Engenharia Rural FCA UNESP Botucatu – SP padua@fca.unesp.br

⁴ Eng. Agrônoma, Dr em Solos e Nutrição de Plantas flfernandes@hotmail.com

the tillage system. The soil evaluated attributes were bulk density, macroporosity, microporosity, total porosity, resistance to penetration and soil water content. These characteristics were determined at layers of 0-0,10, 0,10-0,20 and 0,20-0,40 m. There was no effect of treatments on soil macroporosity evaluated in three layers of the profile, and the values from 0 to 0,20 m depth were within the limits of critical aeration considered restrictive to the growth of roots ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). The microporosity and soil porosity were affected only by the effect of cover plants and soil management, respectively, both in only one of the layers evaluated. The bulk density and penetration resistance were affected by the tillage system only in the layer of 0,10-0,20 m, but these data showed no direct relationship, which was attributed to differences in soil water content among the tillage systems. The absence of most striking effects of the treatments evaluated on the soil physical quality, even after five years of use and soil management, suggest its greater resistance, or resilience to agricultural practices adopted as well as positive effect of the practice of using cover plant or fallow.

Key words: resistance to penetration, soil porosity, soil management

INTRODUÇÃO

A exploração agrícola sustentável, buscando alcançar, em especial, a qualidade do solo, tem sido objeto de vários estudos nos últimos anos. Tal busca é motivada pelo uso intensivo desse recurso natural, o que tem levado, em diversas oportunidades e, particularmente, nos países tropicais, à sua rápida degradação. As modificações estruturais causadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo podem resultar em maior ou menor compactação, que poderá interferir na resistência mecânica à penetração, densidade e porosidade do solo, influenciando o crescimento radicular e, por fim, a produtividade das culturas (Freddi *et al.*, 2007). O comportamento das plantas - vegetação natural ou espontânea, ou mesmo as componentes de agroecossistemas, depende de uma série de fatores relacionados com a temperatura, precipitação e solo. A combinação de fatores físicos, como potencial de água no solo, aeração, porosidade, temperatura do solo e resistência do solo à penetração de raízes, define diretamente o crescimento das plantas. Isoladamente tais fatores podem não ser explicativos, uma vez que são influenciados por outras características físicas, tais como: textura, superfície específica, densidade do solo, estrutura e consistência (Alves, 1992; Stone & Silveira, 2001; Secco *et al.*, 2005).

Altos índices de produtividade e maior rentabilidade dependem fundamentalmente da capacidade produtiva dos solos, que, por sua vez, é dependente de seu uso e manejo. Nesse sentido, associação de práticas agrícolas que incluam calagem, rotação de culturas e adubação verde podem proporcionar incrementos nos teores disponíveis de nutrientes no solo e melhorias na sua estrutura, tais como: porosidade, agregação, densidade, infiltração e disponibilidade de água, constituindo, dessa forma, um ambiente mais adequado ao crescimento radicular.

As operações de preparo do solo causam alterações nas suas propriedades físicas, afetando a estrutura, porosidade, densidade e, conseqüentemente, atributos físico-hídricos, como infiltração, condutividade hidráulica, armazenamento e distribuição de água no perfil do solo. Alterações na estrutura, normalmente evidenciadas por incrementos nos valores de densidade do solo, afetam sua resistência à penetração, porosidade total, distribuição de diâmetros de poros, armazenagem e disponibilidade de água para as plantas, dinâmica da água na superfície e no perfil, bem como sua consistência e máxima compactabilidade (Klein *et al.*, 1998). Entretanto ainda se desconhecem valores ótimos para os indicadores físicos de qualidade do solo, de forma a garantir incremento de produtividade das culturas aliado à manutenção da qualidade ambiental (Reynolds *et al.*, 2002).

Estudos como o de Souza (2000) destacam o efeito da semeadura direta e preparo convencional sobre as propriedades físicas de solos de cerrado, em comparação com aqueles sob vegetação nativa. Além do efeito direto das práticas agrícolas sobre os indicadores físicos, considerações acerca da matéria orgânica também são relevantes nesse tipo de estudo, já que perdas e acréscimos desse constituinte orgânico podem ser influenciadas pelas práticas de manejo do solo, assim como pela aplicação de fertilizantes e o cultivo de leguminosas e gramíneas (Manna *et al.*, 2005). Nesse sentido, estudos têm mostrado que perdas de matéria orgânica geralmente estão associadas com o declínio da porosidade do solo e estabilidade de agregados e com incrementos nos valores de sua densidade (Skidmore *et al.*, 1986). Nesse contexto, a semeadura direta tem aparecido como alternativa para o uso e manejo do solo. Derpsch *et al.* (1986) condicionam o sucesso do plantio direto ao uso adequado da sucessão de culturas e da cobertura vegetal, que permitem minimizar efeitos da compactação superficial do solo.

Os critérios de seleção de espécies vegetais de cobertura de solo com características adequadas para o plantio direto também merecem destaque. Essas espécies devem proteger o solo e melhorar suas características físicas e químicas, potencialmente incrementando para a cultura subsequente o rendimento de grãos e o suprimento de nitrogênio (Aita, 1997).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência, após cinco anos, da semeadura direta e do preparo convencional, bem como do uso de cinco tipos de cobertura, sobre a qualidade física de um Latossolo Vermelho argiloso de cerrado cultivado com milho.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento

O presente trabalho foi realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa no Município de Selvíria (MS), pertencente à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, localizada nas coordenadas geográficas de referência 51° 22' de longitude Oeste e 20° 22' de latitude Sul, com altitude de 335 metros. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso (Embrapa, 1999). As médias anuais de precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, de 1.370 mm, 23,5 °C, 70-80 %.

Histórico da área experimental

Os primeiros trabalhos na área experimental tiveram início no ano agrícola 1997/1998, tendo continuidade nos anos 1998/1999, 1999/2000, 2000/2001, 2001/2002 e 2002/2003 (Carvalho, 2000, Almeida, 2001, Suzuki, 2002). Os dados do presente estudo referem-se ao último ano agrícola relatado.

Em 1997, o solo foi preparado com uma aração e duas gradagens, seguido do plantio de feijão. Após a colheita (setembro/1997), foi realizado novo preparo do solo, aplicando-se na área destinada à semeadura direta o herbicida glyphosate (dose: 2.400 g ha⁻¹) para a dessecação da vegetação e, na área destinada ao preparo convencional, promovidas uma gradagem pesada e duas gradagens niveladoras. Na sequência, procedeu-se em toda a área a semeadura das plantas de cobertura descritas. Em dezembro do mesmo ano, foi realizado o manejo dessas plantas, sendo que, na área destinada à semeadura direta, promoveu-se a dessecação dos vegetais e, nas áreas de preparo convencional, sua roçagem. Nessa última área, posteriormente, realizou-se uma gradagem pesada e duas niveladoras para a incorporação das plantas roçadas. Na sequência, a semeadura do milho foi efetuada em toda a área. Esse procedimento de manejo do solo vem sendo utilizado desde então, sendo a avaliação deste trabalho referente ao efeito acumulativo de cinco anos de implantação do experimento.

Considerando o momento das avaliações do presente trabalho (ano agrícola 2002/2003), a cultura de inverno (feijão) foi semeada em maio de 2002, as plantas de cobertura em setembro, e a cultura de verão (milho) em dezembro. As culturas de verão e inverno foram irrigadas por aspersão, utilizando-se um sistema autopropelido.

Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro plantas de cobertura e dois sistemas de preparo do solo. As plantas de cobertura utilizadas foram a mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), milheto (*Pennisetum americanum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e guandu (*Cajanus cajan*), além da vegetação espontânea considerada em uma área deixada em pousio. Os sistemas de preparo foram a semeadura direta e convencional, essa última constituída pelo preparo do solo com grade aradora e grade niveladora.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, no esquema em faixas (para facilitar as operações de campo) com parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelas plantas de cobertura e, as subparcelas, pelos sistemas de preparo. Cada subparcela teve a dimensão de sete metros de largura por seis metros de comprimento, e foram espaçadas uma das outras por uma distância de sete metros.

Avaliações:

Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Amostras indeformadas foram coletadas, com quatro repetições, para se determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997), utilizando-se cilindros metálicos de bordos cortantes e de capacidade interna, variando de 97,98 a 100,29 cm³. As amostras foram coletadas no centro das camadas 0 – 0,10 m; 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m de profundidade no perfil do solo.

As mesmas amostras coletadas para a avaliação da densidade do solo foram utilizadas para a determinação da macroporosidade, microporosidade e porosidade total (Embrapa (1997).

Resistência à penetração e teor de água no solo

A resistência à penetração foi avaliada com um penetrógrafo modelo Penetrographer^{pat} SC-60, nas camadas de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m de profundidade, com quatro repetições. Os valores máximos obtidos em cada camada foram classificados segundo proposta de Soil Survey Staff (Arshad *et al.*, 1996).

Por ocasião da avaliação da resistência à penetração, nos mesmos pontos e nas mesmas profundidades, foi determinado o teor de água do solo pelo método termogravimétrico (Embrapa, 1997), com quatro repetições.

Análise estatística

A análise estatística foi efetuada, utilizando-se o procedimento de análise de variância, seguida da aplicação do teste F e a comparação de médias com o teste de Tukey a 5 % de probabilidade. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR 4.3 (Ferreira, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Macroporosidade, microporosidade e porosidade total

Para a macroporosidade do solo não se verificou efeito significativo, em todas as camadas analisadas, do sistema de preparo e do tipo de planta de cobertura (Tabela 1).

Solos manejados intensivamente, ano após ano, inclusive com o uso de máquinas pesadas para o seu preparo, normalmente sofrem modificações em sua estrutura afetando as demais propriedades físicas do solo (De Maria *et al.*, 1999), como a macroporosidade, microporosidade e porosidade total. Entretanto, os resultados obtidos sugerem efeito do sistema radicular das plantas de cobertura utilizadas ou mesmo do simples pousio, indicando o potencial dessas iniciativas para a estabilização da estrutura do solo com o passar do tempo. Por se tratar de um solo argiloso, de mineralogia oxidica e com estrutura em microagregados de grande estabilidade, sua alta resistência e, ou, resiliência às práticas agrícolas não podem ser também desconsideradas.

Apesar de não significativos, pode-se verificar (Tabela 2) que os menores valores absolutos para a macroporosidade estão na camada de 0,10-0,20 m e os maiores na de 0,20-0,40 m para ambos os tipos de preparo e que, esses valores foram sempre menores com semeadura direta quando comparados à convencional. No solo sob semeadura convencional isso pode ser relacionado ao efeito do implemento de preparo do solo que, em geral, atinge a profundidade de 0,20 m, contribuindo com a formação de camada compactada, diminuindo a macroporosidade, o que não ocorre na camada subsequente graças a não influência dos implementos de preparo. Já, no solo sob semeadura direta, observa-se a tendência de menor macroporosidade nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m e maior na camada 0,20-0,40 m, por causa do efeito da compactação superficial do solo sob este sistema de preparo, ou seja, principalmente, pelo não revolvimento do solo.

Almeida (2001) verificou na mesma área experimental dessa pesquisa, valores de macroporosidade de 0,09, 0,09 e 0,15 m³ m⁻³ na semeadura direta para as camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, e na semeadura convencional, para as mesmas camadas, verificou valores de 0,19, 0,07 e 0,13 m³ m⁻³. Já, os resultados de

macroporosidade obtidos por Carvalho, (2000) trabalhando na mesma área, foram 0,07, 0,07, 0,12 m³ m⁻³ para semeadura direta nas camadas de 0,00-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, e 0,15, 0,07 e 0,12 m³ m⁻³ para o convencional. Esses resultados mostram os menores valores de macroporosidade na camada superficial do solo sob semeadura direta em relação à convencional. Entretanto, é importante notar que, as diferenças entre os sistemas de preparo diminuíram com o tempo, mostrando a tendência de recuperação da estrutura do solo e por isso a ausência de diferenças significativas.

Negro *et al.* (2000) estudando os efeitos do sistema radicular de plantas leguminosas na recuperação do solo verificaram que a macroporosidade foi menor na camada de 0,10-0,20 m e, na mesma camada a densidade do solo foi maior, porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos, concordando com os resultados obtidos nesta pesquisa.

Os valores de macroporosidade obtidos no presente estudo encontram-se abaixo do limite crítico de aeração sugerido por Grable & Siemer (1968) e Cockroft & Olsson, (1997). Esses autores sugerem que a aeração de um solo agrícola deve ser maior que 0,10 m³ m⁻³, e que valores inferiores a esse limite de aeração seriam impeditivos ao crescimento das raízes das plantas cultivadas.

Ao estudar as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos, Souza (2000) verificou, no primeiro ano de estudos, diferença estatística para a macroporosidade na camada de 0,0-0,10 m entre a condição natural do solo de cerrado (0,26 m³ m⁻³), seguido do preparo convencional (0,18 m³ m⁻³) e semeadura direta (0,11 m³ m⁻³). Nas demais camadas (0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m) verificou diferenças da área sob cerrado com as áreas cultivadas, sendo que a semeadura direta e o preparo convencional não apresentaram diferenças entre si. No segundo ano, na camada de 0,0-0,10 m o valor de macroporosidade do solo sob cerrado (0,26 m³ m⁻³) permaneceu maior em relação aos outros tratamentos, entretanto, verificou-se uma inversão entre os tratamentos semeadura direta (0,17 m³ m⁻³) e preparo convencional (0,12 m³ m⁻³). Nas demais camadas, o resultado foi o mesmo do primeiro ano de avaliação. Esses dados indicam tendência de estabilização estrutural do solo com o tempo quando da implantação da semeadura direta. Esse fato aliado ao efeito do uso de plantas de cobertura ou do simples pousio, parecem explicar as semelhanças obtidas mesmo após cinco anos dos dois sistemas de preparo contrastantes avaliados.

A ausência de diferenças entre os resultados obtidos pelas plantas de cobertura e a área sob pousio (Tabela 2) revelam que ambas as práticas são interessantes no manejo desses solos. Embora não tenha sido objetivo deste

Tabela 1. Valores de F da análise de variância com níveis de significância, e diferença mínima significativa (DMS, pelo Teste Tuckey a 5%) para as características relacionadas com a qualidade física do solo avaliadas em diferentes camadas de um Latossolo sob cerrado

Causas da variação	Valores de F		
	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Macroporosidade			
Preparo (P)	0,5 ^{ns}	4,62 ^{ns}	8,97 ^{ns}
Tipo de cobertura (TC)	1,44 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,66 ^{ns}
P* TC	0,42 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,57 ^{ns}
<i>DMS (m³ m⁻³)</i>			
Preparo (P)	0,05	0,03	0,03
Tipo de cobertura (TC)	0,06	0,04	0,06
P* TC	0,05	0,04	0,06
TC *P	0,08	0,06	0,09
Microporosidade			
Preparo (P)	0,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,75 ^{ns}
Tipo de cobertura (TC)	2,88*	0,51 ^{ns}	0,74 ^{ns}
P* TC	1,82 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,13 ^{ns}
<i>DMS (m³ m⁻³)</i>			
Preparo (P)	0,02	0,02	0,03
Tipo de cobertura (TC)	0,04	0,02	0,03
P* TC	0,04	0,03	0,05
TC *P	0,06	0,04	0,07
Porosidade total			
Preparo (P)	0,35 ^{ns}	3,9 ^{ns}	18,5*
Tipo de cobertura (TC)	0,19 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,15 ^{ns}
P* TC	2,34 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,82 ^{ns}
<i>DMS (m³ m⁻³)</i>			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Tipo de cobertura (TC)	0,04	0,03	0,04
P* TC	0,05	0,03	0,03
TC *P	0,07	0,04	0,05
Densidade do solo			
Preparo (P)	1,52 ^{ns}	11,76*	1,46 ^{ns}
Tipo de cobertura (TC)	0,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,19 ^{ns}
P* TC	2,60 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,0 ^{ns}
<i>DMS (kg dm⁻³)</i>			
Preparo (P)	0,10	0,09	0,07
Tipo de cobertura (TC)	0,11	0,09	0,11
P* TC	0,11	0,09	0,11
TC *P	0,16	0,13	0,15
Resistência à penetração			
Preparo (P)	-	16,34*	0,25 ^{ns}
Tipo de cobertura (TC)	-	0,44 ^{ns}	0,22 ^{ns}
P* TC	-	0,42 ^{ns}	0,77 ^{ns}
<i>DMS (MPa)</i>			
Preparo (P)	-	1,01	1,33
Tipo de cobertura (TC)	-	1,51	1,56
P* TC	-	1,49	1,55
TC *P	-	2,13	2,21
Teor de água no solo			
Preparo (P)	11,86*	12,74*	5,77 ^{ns}
Tipo de cobertura (TC)	0,65 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,88 ^{ns}
P* TC	0,97 ^{ns}	1,41 ^{ns}	0,45 ^{ns}
<i>DMS (m³ m⁻³)</i>			
Preparo (P)	0,04	0,02	0,02
Tipo de cobertura (TC)	0,02	0,02	0,02
P* TC	0,02	0,02	0,02
TC *P	0,03	0,03	0,03

n.s. não significativo; * significativo a 5% - sem avaliação.

Tabela 2. Valores médios de algumas características relacionadas com a qualidade física do solo avaliadas em diferentes camadas de um Latossolo sob cerrado

	Camadas (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
Preparos de solo	Macroporosidade (m³ m⁻³)		
Semeadura direta	0,08 A	0,07 A	0,11 A
Preparo convencional	0,09 A	0,08 A	0,14 A
Tipo de cobertura			
Milheto	0,08 A	0,07 A	0,11 A
Pousio	0,09 A	0,08 A	0,13 A
Crotalária	0,10 A	0,08 A	0,13 A
Mucuna	0,10 A	0,09 A	0,14 A
Guandu	0,06 A	0,08 A	0,11 A
Preparos de solo	Microporosidade (m³ m⁻³)		
Semeadura direta	0,34 A	0,33 A	0,35 A
Preparo convencional	0,35 A	0,33 A	0,34 A
Tipo de cobertura			
Milheto	0,35 A B	0,33 A	0,36 A
Pousio	0,34 A B	0,32 A	0,34 A
Crotalária	0,33 B	0,33 A	0,34 A
Mucuna	0,33 B	0,33 A	0,33 A
Guandu	0,37 A	0,33 A	0,35 A
Preparos de solo	Porosidade total (m³ m⁻³)		
Semeadura direta	0,43 A	0,40 A	0,46 B
Preparo convencional	0,43 A	0,41 A	0,48 A
Tipo de cobertura			
Milheto	0,42 A	0,39 A	0,48 A
Pousio	0,44 A	0,40 A	0,47 A
Crotalária	0,44 A	0,41 A	0,47 A
Mucuna	0,44 A	0,42 A	0,47 A
Guandu	0,43 A	0,41 A	0,47 A
Preparos de solo	Densidade do solo (kg dm⁻³)		
Semeadura direta	1,45 A	1,47 B	1,32 A
Preparo convencional	1,49 A	1,57 A	1,35 A
Tipo de cobertura			
Milheto	1,47 A	1,54 A	1,33 A
Pousio	1,46 A	1,52 A	1,34 A
Crotalária	1,46 A	1,52 A	1,32 A
Mucuna	1,48 A	1,51 A	1,34 A
Guandu	1,50 A	1,52 A	1,35 A
Preparos de solo	Resistência à penetração (MPa)		
Semeadura direta	nd	3,27 A	2,36 A
Preparo convencional	nd	1,98 B	2,57 A
Tipo de cobertura			
Milheto	nd	2,25 A	2,18 A
Pousio	nd	2,66 A	2,54 A
Crotalária	nd	3,01 A	2,53 A
Mucuna	nd	2,68 A	2,44 A
Guandu	nd	2,53 A	2,64 A
Preparos de solo	Teor de água do solo (m³ m⁻³)		
Semeadura direta	0,15 B	0,16 B	0,19 A
Preparo convencional	0,20 A	0,18 A	0,18 A

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5%. - sem avaliação.

Nd: dados não disponíveis

estudo, o uso das plantas de cobertura, por sua vez, apresenta outros potenciais benefícios para o solo, principalmente no tocante aos incrementos de matéria orgânica e de nutrientes. Ausência de efeito do uso das plantas de cobertura também foram verificados nessa mesma área por Carvalho (2000).

Os sistemas de preparo não afetaram os valores de microporosidade do solo (Tabela 1). Trabalhando na mesma área e em anos anteriores Carvalho (2000) verificou valores de microporosidade um pouco inferiores que os obtidos no presente estudo, mas semelhantes também entre si para as áreas de semeadura direta e preparo convencional. Geralmente, incrementos de microporosidade são esperados com o tempo de cultivo de solos agrícolas, sendo associados ao uso de implementos e máquinas. Por sua vez, a ausência de diferença significativa entre os preparos pode também ser explicada pelo efeito das plantas de cobertura ou do pousio sobre a reestruturação do solo, bem como pela possível resiliência e, ou, resistência do solo já comentadas.

Efeito das plantas de cobertura sobre a microporosidade do solo somente foi verificado na camada de 0,0-0,10 m de profundidade, para a qual o uso do guandu e milheto, que se assemelharam à área em pousio, proporcionaram maiores valores desse indicador físico quando comparadas com a crotalária e mucuna. Considerando as leguminosas, a baixa produção de massa seca do guandu, tanto na semeadura direta e preparo convencional (1.261 e 1.138 kg ha⁻¹, respectivamente), e a maior produção de massa seca da crotalária (2.998 e 2.669 kg ha⁻¹, respectivamente) e mucuna (1.628 e 1.114 kg ha⁻¹, respectivamente) podem justificar esses resultados. Quanto maior a produção de biomassa das plantas indicadas para a cobertura do solo e para a adubação verde, maior é a adição de matéria orgânica. Incrementos de matéria orgânica são frequentemente relacionados com ganhos de porosidade, principalmente associados com incremento de macroporosidade e redução de microporosidade (Santos, 1992; Nacif, 1994). Entretanto, a redução de microporosidade verificada nos tratamentos com crotalária e mucuna não se refletiram em ganhos significativos de macroporosidade e porosidade total.

Praticamente também não se verificou efeito dos tratamentos sobre os valores de porosidade total obtidos, à exceção do sistema de preparo do solo para a camada de 0,20-0,40 m (Tabela 1), muito embora as médias obtidas para esse caso tenham sido semelhantes numericamente. A ausência de diferenças significativas entre formas de preparo sobre a porosidade total do solo pode ser mais uma vez associada ao uso das plantas de cobertura ou de pousio, que foram eficientes na restauração de possíveis efeitos danosos do manejo do solo.

Os menores valores numéricos de porosidade total estão na camada de 0,10-0,20 m e, na camada de 0,20-0,40 m estão os maiores valores, para ambos os preparos do solo, concordando com os valores da macroporosidade (Tabela 2).

Sasaki *et al.* (1999) estudando o desenvolvimento de espécies usadas para adubação verde e as alterações nas condições de aeração e matéria orgânica do solo, verificaram que a mucuna-preta apresentou-se mais promissora na recuperação do solo em estudo, o que era esperado, porém não ocorreu, no presente estudo. Plantas que produzem raízes profundas, como a mucuna, com crescimento inicial rápido e agressivo, podem recuperar solos fisicamente degradados (Nueremberg *et al.*, 1986).

Densidade do solo

A densidade do solo também foi pouco afetada pelos tratamentos implementados na área, sendo verificado efeito significativo apenas do sistema de preparo do solo e somente na camada de 0,10-0,20 m de profundidade (Tabela 1). Nessa camada a semeadura direta levou à obtenção de valores médios de densidade do solo menores (1,47 kg dm⁻³) que os do preparo convencional (1,57 kg dm⁻³), indicando o efeito da intensificação do tráfego de máquinas e implementos sobre o solo.

A maior densidade do solo obtida na camada de 0,10-0,20 m, em ambos os preparos (Tabela 2), provavelmente está relacionada com menores valores de porosidade total nessa camada, além do pé-de-grade formado na semeadura convencional pela ação do implemento. O efeito do tráfego de máquinas na densidade do solo é acrescido do efeito dos implementos (Andrade *et al.*, 2002). Já, o menor valor de densidade foi obtido na camada de 0,20-0,40 m, onde há maior porosidade total. Urchei & Fietz (2002) estudando a disponibilidade de água de um Latossolo Vermelho em diferentes sistemas de manejo não verificaram diferença estatística para a densidade do solo entre a semeadura direta, convencional e integração agricultura-pecuária.

A ausência de diferenças estatísticas entre valores de densidade do solo nos tratamentos com os diferentes tipos de cobertura avaliadas sugerem o efeito do sistema radicular das plantas, inclusive quando o tratamento foi pousio. De forma semelhante, Negro & Alves (1999), avaliando a produção de matéria seca, o sistema radicular e as influências de quatro espécies de leguminosas sobre as condições físicas do solo, não verificaram diferença significativa nos valores de densidade do solo obtidos. Os dados obtidos para a área em pousio, semelhantes ao uso de plantas de cobertura, também indicam efeito positivo dessa prática sobre os valores de densidade, ainda que se espere no longo prazo, maior efeito dos vegetais manejados.

Em estudo prévio na mesma região, Souza (2000) obteve valores de densidade do solo sob cerrado (vegetação nativa) de 1,16, 1,31 e 1,25 kg dm⁻³, nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Com base nesses dados, os sistemas de semeadura estudados na área experimental apresentam valores de densidade incrementados em relação ao ambiente natural, denotando clara influência do manejo. Incrementos de densidade do solo em área de semeadura direta são esperados, principalmente, em condições superficiais. Isso tem sido relatado nos primeiros anos do sistema, graças ao arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer a manipulação mecânica. Entretanto, com o passar dos anos, espera-se que a densidade diminua, por causa do aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo assim a estruturação do solo.

Resistência à penetração e umidade do solo

O sistema de preparo influenciou os valores de resistência à penetração do solo (Tabela 1) apenas na camada de 0,10-0,20 m de profundidade, para a qual maior resistência foi verificada na área submetida à semeadura direta.

A ausência de revolvimento do solo na semeadura direta freqüentemente promove maior compactação do solo em superfície, principalmente em solos com elevados teores de argila (Secco *et al.*, 2000), como o do presente estudo. Os menores e maiores valores de resistência à penetração verificados, respectivamente, na área de semeadura direta e de preparo convencional, na camada de 0,20-0,40m, ainda que não tenham sido objeto de análise estatística, sugerem diminuição e incremento respectivos dessa característica com a profundidade do solo. Na semeadura direta, pela mencionada ausência de revolvimento do solo e, no preparo convencional, pela realização dessa prática na aração.

A maior resistência do solo à penetração na semeadura direta também pode ser justificada pela menor umidade verificada nessa área, em comparação com a do preparo convencional. Idealmente é sugerido que a avaliação de resistência à penetração seja efetuada quando as áreas estejam com o mesmo teor de água, mas em experimentos de campo isto quase nunca é possível.

Os resultados obtidos de resistência à penetração nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 são considerados como altos, para a área de semeadura direta, e moderados e altos, para a área de preparo convencional, conforme classificação de Soil Survey Staff (Arshad *et al.*, 1996).

Considerando apenas o conteúdo de água no solo no momento da coleta das amostras verifica-se efeito significativo do sistema de preparo nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m. As diferentes plantas de cobertura e o pousio não foram capazes de alterar significativamente essa característica do solo.

A maior umidade do solo proporcionada pelo preparo convencional (Tabela 2) costuma ser relacionada com o maior armazenamento de água que se verifica em tais sistemas com o incremento de microporosidade (Silva *et al.*, 1986). Entretanto, não se verificaram diferenças entre microporosidade no presente estudo, o que compromete qualquer avaliação nesse sentido.

O uso de plantas de cobertura não afetou significativamente os valores de resistência à penetração do solo (Tabela 1), sendo semelhantes os resultados obtidos entre espécies e entre essas e a área deixada em pousio. O uso da sucessão de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca tem sido indicado para a melhoria das propriedades físicas do solo (Nueremberg *et al.* 1986; Stone & Silveira, 2001). Entretanto, tal situação não se verificou na área da presente pesquisa.

CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo foram pouco afetadas após cinco anos de implantação de diferentes sistemas de preparo e manejo do solo com plantas de cobertura e pousio.

A ausência de efeitos mais marcantes dos tratamentos avaliados sobre a qualidade física do solo sugerem sua maior resistência e, ou, resiliência às práticas agrícolas adotadas, bem como efeito positivo das práticas do uso de plantas de cobertura ou do pousio.

REFERÊNCIAS

- Aita C (1997) Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: Fries, MR & Dalmolin, RSD (Coord.). Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Pallotti, p.76-111.
- Almeida VP (2001) Sucessão de culturas em preparo convencional e plantio direto em Latossolo Vermelho sob vegetação de cerrado. Dissertação de mestrado. Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 71p.
- Alves MC (1992) Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo: Efeito nas propriedades físicas e químicas. Tese de doutorado. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 173p.
- Andrade CLT, Alvarenga RC & Freitas, KED (2002) Impacto do manejo em alguns atributos e na dinâmica da água no solo. In: 24º Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis, Resumos, Multimídia Prox. CD-ROM.
- Arshad MA, Lowery B & Grossman B (1996) Physical tests for monitoring soil quality. In: Doran, JW & Jones, AJ (Eds). Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America. p.123-141. (SSSA Special publication, 49).
- Carvalho MAC (2000) Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS. Tese de Doutorado. Jaboticabal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. 189p.

- Cockroft B & Olsson KA (1997) Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: Gregorich, EG & Carter, MR (Eds.) *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Developments in Soil Science, 25. New York, Elsevier, p.339- 50.
- Dam RF, Mehdi BB, Burgess MSE, Mandramootoo CA, Mehuys GR & Callum IR (2005) Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil and Tillage Research*, 84:41-53.
- De Maria IC, Castro OM & Souza Dias H (1999) 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*, 23:703-709.
- Derpsch R, Sidiras N & Roth CH (1986) Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 8:253-263.
- Embrapa (1997) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa. 212p.
- Embrapa (1999) Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa. 412 p.
- Ferreira DF (2000) Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas. Lavras, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, 66p.
- Freddi OS, Centurion JF, Beutler AN, Aratani RG & Leonel CL (2007) Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:627-636.
- Grable AR & Siemer EF (1968) Effects of bulk density, aggregate size and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. *Soil Science Society of American Journal*, 32:180-186.
- Klein VA, Libardi PL & Silva AP (1998) Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. *Engenharia Agrícola*, 18:45-54.
- Manna MC, Swarup A, Wanjari RH, Ravankar HN, Mishra B, Saha MN, Singh YVS, Sahi DK & Sarap PA (2005) Long-term effect of fertilizer and manure application on soil organic carbon storage, soil quality and yield sustainability under sub-humid and semi-arid tropical India *Field Crops Research*, 93:264-280.
- Nacif PGS (1994) Efeito da subsolagem em propriedades físico – hídricas de um latossolo amarelo álico coeso, representativo do Recôncavo baiano. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 75p.
- Negro SRL & Alves MC (1999) Sistema radicular de leguminosas: produção de matéria seca e efeitos nas propriedades físicas do solo, na região de cerrado. In: 11º Congresso de Iniciação Científica da UNESP, Botucatu. Resumos, Reitoria da UNESP. p.198.
- Negro SRL, Alves MC, Delavale FG & Campos, DTS (2000) Comportamento de leguminosas e seus efeitos no cultivo consorciado com milho para silagem, na região do cerrado em Selvíria (MS). In: 24ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 8ª Reunião Brasileira sobre Micorrizas, 6º Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 3ª Reunião Brasileira de Biologia do Solo, Santa Maria. Resumos, Universidade Federal de Santa Maria. CD-ROM.
- Nuerenberg NJ, Stammel JG & Cabeda MSV (1986) Efeito de sucessão de culturas e tipos de adubação em características físicas de um solo da encosta basáltica sul-rio-grandense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:185-190.
- Reynolds WD, Bowman BT, Drury CF, Tan CS & Lu, X (2002) Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110:131– 146.
- Santos DMB (1992) Efeito da subsolagem mecânica sobre a estrutura de um solo de “tabuleiro” (Latosolo Amarelo álico coeso) no Município de Cruz das Almas – Bahia (Caso 2). Salvador, IG/UFBA, 87p.
- Sassaki N, Silva MM, Domingues, MR & Alves MC (1999) Adubação verde na recuperação de um Latossolo Vermelho-Escuro: Efeitos na macroporosidade e matéria orgânica. In: 11º Congresso de Iniciação Científica da UNESP, Botucatu. Resumos, Reitoria da UNESP, p.198.
- Secco D, Da Ros CO, Secco JK & Fiorin JE (2005) Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:407-414.
- Secco D, Silva VR, Rubin RB, Junior SAG, Reinert DJ & Reichert JM (2000) Efeitos da compactação nos atributos físicos do solo e na produtividade da cultura do trigo, em Latossolo Vermelho-Escuro sob sistema plantio direto. In: 13ª Reunião Brasileira de Manejo e conservação do Solo e da Água, Ilhéus. Resumos, Universidade Federal da Bahia. CD-ROM.
- Silva AP da, Libardi PL & Camargo OA (1986) Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:91-95.
- Skidmore EL, Layton JB, Armbrust BV & Hooker ML (1986) Soil physical properties as influenced by cropping and residue management. *Soil Science Society of American Journal*, 50:415-416.
- Souza ZM (2000) Propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro de Selvíria-MS sob diferentes usos e manejos. Ilha Solteira, Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 126p.
- Stone LF & Silveira PM (2001) Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:395-401.
- Suzuki LEAS (2002) Influência de adubos verdes na recuperação de propriedades físicas de um latossolo vermelho de cerrado. Trabalho de Graduação. Ilha Solteira, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. 74p.
- Urchei MA & Fietz CR (2002) Disponibilidade de água de um Latossolo Vermelho aluminoférrico típico em diferentes sistemas de manejo. In: 31º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Salvador Resumos, Universidade Federal da Bahia. CD-ROM